

05

Impacto ambiental de la explotación de los recursos no convencionales

Autor: Dr. Ramiro Sarandón

Introducción

La situación energética de la Argentina, tal como se ha desarrollado en los capítulos precedentes, se encuentra al final de un ciclo basado en el uso de recursos hidrocarburíferos (petróleo y gas) provenientes de reservorios convencionales (HCC), y la posibilidad de iniciar una nueva etapa basada en recursos hidrocarburíferos de reservorios no convencionales (HCNC) (Cap. 1). Esta nueva etapa implica un cambio paradigmático, ya que utiliza una tecnología más compleja, con inversiones iniciales más importantes y un esquema de producción y de negocio diferente. Si bien la tecnología no es nueva, ya que se viene desarrollando desde hace décadas, sí lo son, para la R. Argentina, la intensidad y magnitud de su utilización en esta nueva etapa. Pareciera existir consenso sobre la importancia que estos recursos HCNC tienen para el futuro del país, constituyendo una oportunidad y un desafío, ya que según el modo como se aprovechen estos recursos, podrían convertirse en el eje del futuro desarrollo argentino (Cap. 3).

Ante la inminencia de decisiones políticas y estratégicas, que se orientan hacia un nuevo esquema energético, y ante el inicio de la explotación de HCNC, basado en un cambio de recursos y tecnología, se plantea la necesidad de realizar un análisis conceptual e integral del mismo, que ayude a comprender las oportunidades y las opciones con las que se enfrentan los decisores, los formadores de opinión pública y la sociedad en su conjunto, a través de la elaboración de documentos que integren, sintetizen y analicen la información existente sobre los HCNC.

Varios aspectos necesitan ser contemplados y analizados; algunos ya han sido abordados en los capítulos previos, tales como cuestiones geológicas, tecnológicas o económicas. El reconocimiento de las consecuencias ambientales que tienen las actividades humanas ha planteado la necesidad de incorporar un capítulo en donde se analicen las cuestiones ambientales referidas al aprovechamiento de los recursos de HCNC.

A continuación, se presenta una evaluación ambiental del desarrollo de los HCNC, elaborada con un enfoque estratégico y sectorial, considerando una escala regional y de largo plazo (10 a 20 años), e incluyendo los aspectos institucionales, tanto nacionales como regionales (provinciales). El contexto esencial del análisis es comparativo respecto de lo que actualmente significa la explotación de los HCC. Asimismo, y tomando en consideración el público destinatario de este documento, se ha evitado abundar en tecnicismos o formatos específicos de informes profesionales, a lo largo de todo el capítulo, utilizándose en la medida de lo posible conceptos y términos más adecuados para una audiencia amplia. Los aspectos relativos a la gestión ambiental de las operaciones, así como la información y comunicación, el control

estatal y el involucramiento de la sociedad son aspectos críticos en el análisis de factibilidad integral de la propuesta.

Este capítulo se acompaña con un Anexo elaborado por el Dr. Pigretti, en el que se identifican los principales aspectos normativos referidos a los recursos hidrocarburíferos no convencionales. En el mismo se incluye la normativa ambiental existente, así como las leyes ambientales vinculadas a los presupuestos mínimos ambientales.

Objetivos y alcances

El objetivo de este capítulo es realizar una evaluación ambiental estratégica de la explotación de recursos hidrocarburíferos no convencionales (HCNC), implicando el análisis de impactos y riesgos ambientales (sobre el medio natural y social), en un contexto regional, sectorial y a largo plazo, considerando el marco institucional vigente.

El área de estudio del presente informe es la denominada técnicamente Bloque Loma Campana (Formación Vaca Muerta), ubicado en la provincia del Neuquén (R. República Argentina; ver Fig. 5.8). Algunos resultados son de aplicación a otras zonas y provincias, en las cuales se encuentran o podrían desarrollarse los recursos HCNC.

Primeramente, se incorporan conceptos básicos sobre gestión ambiental, a los que se hará referencia en el desarrollo del capítulo, a continuación, se analizan las actividades con potenciales consecuencias ambientales, posteriormente se identifican los impactos y riesgos ambientales, así como las medidas de mitigación (genéricas, estratégicas, regionales). El capítulo se completa con recomendaciones de estrategias para la factibilidad integral del proyecto de HCNC, una síntesis y conclusiones.

Este capítulo no intenta ser el Estudio de Impacto Ambiental (EslA) del proyecto de explotación de HCNC en la Fm. Vaca Muerta, para ser utilizado en el marco de una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Ese tipo de EslA deberá ser realizado por las empresas, para ser revisado y eventualmente aprobado por la autoridad de aplicación en relación con una tecnología específica y para un sitio definido. En este documento se adopta una posición de observador externo, desvinculado de los principales actores locales, desde donde se analiza la situación de los HCNC sobre la base de información referida a las tecnologías utilizadas, en el contexto regional del área de estudio. Constituye, por lo tanto, un análisis conceptual, general e integral, realizado a una escala regional, enfocado a las potenciales consecuencias ambientales, así como a las medidas estratégicas tendientes a mitigar los efectos negativos y potenciar los beneficios del desarrollo de los HCNC en el área de estudio.

A lo largo de este capítulo se han utilizado tres fuentes de información:

- a) Trabajos genéricos o especializados referidos a las prácticas y técnicas aplicadas a la explotación de HCNC, provenientes de la propia industria (informes internos de YPF, López, A. *et al.*, 2013; IAPG, 2012) y de revistas especializadas del sector (King, 2012). Esto garantiza el análisis de tecnologías actuales, utilizadas por la industria en la región bajo estudio. Sin embargo, es necesario remarcar el carácter dinámico del desarrollo tecnológico, que condiciona cambios en los equipos y procesos, así como la acumulación de experiencia local e internacional asociada a la aplicación de estas tecnologías, y los cuidados ambientales adoptados.

- b) Trabajos genéricos sobre evaluación ambiental y otras herramientas de gerenciamiento ambiental, que describen los instrumentos aplicables, sus objetivos, alcances y utilidad; y
- c) Trabajos científicos y técnicos específicos que analizan desde una óptica ambiental (ecológica, salud, etc.) las consecuencias de la explotación de HCNC en el mundo y en la región, elaborados por investigadores independientes, organismos públicos (USEPA) u organizaciones no gubernamentales (RS & RAE, 2012; ANI, 2013; Hoffman *et al.*, 2014) nacionales o internacionales.

En este documento no se profundiza el tema del cambio climático, ya que el mismo estaría asociado a un análisis de las fuentes alternativas de energía (carbón, gas, petróleo, eólica, solar, hidráulica, biomasa, etc.), que parcialmente se ha analizado en el Capítulo 1, y que no es el objetivo del presente capítulo. Sin embargo, se hará referencia a ese tema específicamente como un aspecto más de las eventuales consecuencias que puede tener el desarrollo de los HCNC.

Enfoque y alcance de las evaluaciones ambientales

Naturaleza de las cuestiones ambientales

Uno de los mayores desafíos que enfrenta actualmente la humanidad es el progresivo deterioro ambiental, que ocurre tanto a una escala local como regional y global. Este deterioro se asocia o vincula a las distintas actividades que los seres humanos desarrollamos en el planeta Tierra, y que tienen por función proveer los bienes y servicios que requerimos (Lubchenco *et al.*, 1991; ME, 2003 y 2005) (Fig. 5.1).

De este modo, realizamos ganadería, agricultura o pesca con el objeto de proveer de los recursos alimenticios a la población que mayoritariamente vive en las ciudades que se han convertido en grandes centros de consumo. La forestación provee de materiales para la construcción o carpintería (madera), y los insumos básicos para elaborar el papel y el cartón. Las obras hidráulicas modifican el régimen de los cursos de agua con el fin de proveer agua para consumo humano o industrial, para riego y para generar energía hidroeléctrica. La minería produce infinidad de materiales necesarios para la construcción de viviendas o edificios, automóviles, maquinaria industrial, equipos pesados, artefactos para el hogar, equipos electrónicos, etc. La actividad petrolera extrae los recursos necesarios para un número importante de industrias (química, farmacéutica, alimentaria, petroquímica, textil, fertilizantes, etc.), y provee de la fuente de energía (gas y petróleo) para la mayoría de las industrias, el agro, el transporte público o privado (marino, aéreo o terrestre), para generar electricidad o para calefaccionar o cocinar en nuestros hogares, y para una infinidad de subproductos de uso en el agro, el hogar la salud, educación, industria, etc.

Si bien las actividades se desarrollan con el fin primordial de producir los bienes y servicios deseados, existen ciertas consecuencias o subproductos que causan o determinan el deterioro de las condiciones ambientales reinantes (características del medio físico, biótico o socioeconómico del área de influencia), y que en conjunto pueden denominarse costos ambientales (“externalidades negativas” en términos económicos). La alteración de las condiciones del ecosistema en el que se inserta un proyecto o se desarrolla una actividad puede repercutir negativamente en su capacidad o aptitud potencial para generar los recursos naturales u otros beneficios que se derivan de ellos. Algunas consecuencias de las actividades

que determinan una pérdida de la “calidad del ambiente” son la deforestación, desertificación o pérdida de especies y de la biodiversidad en el área de desarrollo, por ejemplo, de una actividad productiva. Del mismo modo, la contaminación, polución o eutrofización de los cuerpos de agua adyacentes a emprendimientos productivos, industriales o centros urbanos, determina la pérdida de aptitud del cuerpo para suministrar otros beneficios como fuente de agua potable o como sitio de recreación, generando, eventualmente, un riesgo para la salud de la población cercana o que consume de esa fuente. Existen algunos costos ambientales que son regionales (lluvia ácida) o globales (deterioro de la capa de ozono, cambio climático), y que se vinculan con distintas actividades que se realizan en otras regiones o en varias partes del planeta. Estas últimas, son más complejas de comprender, analizar o controlar, ya que requieren de convenios regionales o mundiales que logren un control o regulación de ciertas actividades.



Fig. 5.1 Beneficios y costos ambientales asociadas a las actividades humanas.
Fuente: Elaboración propia basada en Lubchenco, 1991.

El conjunto de bienes y servicios que necesitamos, utilizamos, consumimos, elegimos, deseamos, etc., depende de nuestro concepto de calidad de vida, que es variable según patrones culturales, la situación personal, el contexto socioeconómico, el entorno social, las creencias religiosas, etc. Es así que demandamos ciertos tipos de alimentos según la modalidad de alimentación y costumbres, que está claramente influida por nuestro entorno, nuestras creencias, los costos de los alimentos, su disponibilidad geográfica, etc. Por ejemplo, si todos nos alimentáramos exclusivamente de vegetales (“vegetarianos”) no habría necesidad de criar ganado vacuno, lo que disminuiría la deforestación para ampliar espacios de pasturas, con menores riesgos de erosión y desertificación, y menor alteración de ecosistemas nativos con cubierta vegetal de leñosas (bosques, selvas, matorrales).

Lo mismo ocurriría si modificáramos nuestros patrones de demanda o consumo de agua potable o energía (disminuyendo su consumo per cápita), materiales para vivienda o vestimenta (modificando la demanda de materiales, minerales, fibras sintéticas o naturales, etc.). En gran medida, los programas de educación ambiental que apuntan a la población en general condicionan cambios en los patrones de consumo que pueden generar variaciones en la demanda de ciertos productos, con cambios tecnológicos y eventualmente la modificación de aquellas actividades que los producen o generan. Las prácticas de consumo responsable, y su contracara, la producción limpia o la ecoeficiencia, son tendencias necesarias de cambios socioculturales en los patrones de producción y consumo que ponen en evidencia la importancia creciente que la población, las empresas y los gobiernos le están dando a la cuestión ambiental.

La preocupación por el medio ambiente se relaciona por la importancia creciente que la población reconoce a la “calidad ambiental” como componente de su “calidad de vida”. La demanda de espacios verdes en las ciudades, aire puro y bajos niveles de ruido, o por acceso a agua potable, alimentos sanos o áreas de esparcimiento, son algunos ejemplos de la necesidad de mejor calidad ambiental como parte esencial de la calidad de vida.

Concepto de sistema ambiental

La calidad ambiental es una propiedad del sistema ambiental (Fig. 5.2), que determina la disponibilidad actual o futura de beneficios, recursos o servicios y su permanencia (sustentabilidad) en el tiempo. El sistema ambiental es un entramado de elementos del medio natural o artificial (humano o antrópico) que interactúan a través de numerosas relaciones y determinan sus propiedades, su dinámica y su estabilidad. Podemos reconocer un subsistema natural (sistema ecológico o ecosistema) y un subsistema antrópico o humano. En el sistema natural identificamos elementos y procesos naturales asociados al clima, a la geomorfología o la hidrología (medio físico), así como a los componentes y procesos bióticos (especies de la flora y fauna y sus interacciones ecológicas). Por su lado, en el subsistema antrópico identificamos aspectos referidos a la población (demografía, crecimiento), economía, instituciones o patrones culturales que definen a la sociedad o grupo humano en estrecha relación de interdependencia que habita un área dada. Este sistema ambiental puede tener límites definidos naturalmente (como una isla) o corresponder a un área natural protegida (Parque Nacional), un municipio, una provincia, un país o una región (Mercosur, Sudamérica). En todos los casos existe un “medio externo” (que no pertenece o se incluye en el sistema), pero que lo influye o condiciona (en mayor o menor medida). Este condicionamiento puede darse a través de normas (las leyes provinciales que regulan la actividad de un municipio); relaciones comerciales o políticas (entre los países miembros de un mercado común), o naturales (pertenencia a una misma cuenca hidrográfica, como la cuenca del Río de la Plata).



Fig. 5.2 Esquema de sistema ambiental indicando los subsistemas natural y antrópico.
Fuente: Elaboración propia basada en Solbrig, 1991.

El concepto de “Ecosistema” ha sido usualmente definido como un complejo dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y su ambiente abiótico que interactúa como una unidad funcional (EM, 2005). Para remarcar la pertenencia de los seres humanos en el mismo, suele hablarse de “Ecosistema ampliado” o simplemente aclararse que los seres humanos forman parte del mismo. A fin de poner en relevancia la importancia relativa de las características del subsistema antrópico como parte esencial del sistema se ha optado por utilizar el concepto de “Sistema ambiental”. A diferencia de los sistemas naturales o

ecosistemas, el sistema ambiental no puede comprenderse sin hacer referencia explícita a lo que hacen los seres humanos, es decir que los procesos antrópicos condicionan, determinan o explican en gran medida lo que ocurre en el sistema ambiental. Actualmente, incluso aquellas áreas que muestran más naturalidad es debido a que existen normativas que las protegen, como son los parques o reservas naturales o el continente Antártico. Esto no significa, sin embargo, que los procesos naturales se hayan inhibido. Incluso en áreas muy antropizadas, como las grandes urbes, los procesos del medio físico (precipitaciones, inundaciones, deslizamiento de laderas) o ecológicos (abundancia de animales plaga o indeseables, vectores, parásitos, microorganismos) están presentes y condicionan la vida en la ciudad.

El hecho de que los seres humanos tengamos la capacidad de moldear los sistemas naturales y transformarlos en sistemas ambientales, con mayor o menor grado de artificialización, es lo que pone en nuestras manos la responsabilidad de su cuidado o preservación.

Concepto de servicios ecosistémicos

Podemos preguntarnos, entonces, qué consecuencias tendría un progresivo deterioro del sistema ambiental (a escala local, regional o global); o lo que es lo mismo, qué importancia tiene que un ecosistema se encuentre o se mantenga en un buen estado de conservación y funcionamiento.

Los seres humanos obtenemos diversos beneficios de los ecosistemas naturales (Fig. 5.3), algunos de los cuales tradicionalmente se han denominado “bienes o recursos naturales”. Éstos son aquellos elementos o procesos naturales que obtenemos, utilizamos o aprovechamos para nuestro beneficio (actual o potencial). Algunos ejemplos clásicos de recursos naturales son el agua (recurso natural renovable por excelencia) o los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), que son recursos naturales no renovables. También se incluyen en este concepto elementos específicos, como los alimentos minerales (sal de mesa), las plantas (comestibles, medicinales) o la fauna silvestre, así como los materiales de construcción (arena, cal, rocas de aplicación como el granito o el mármol), los metales (hierro, oro, plata), la madera de distintas especies forestales, etc. En general, estos recursos naturales se consumen y comercializan cotidianamente, por lo que tenemos conciencia de su utilidad, su valor y su escasez relativa.

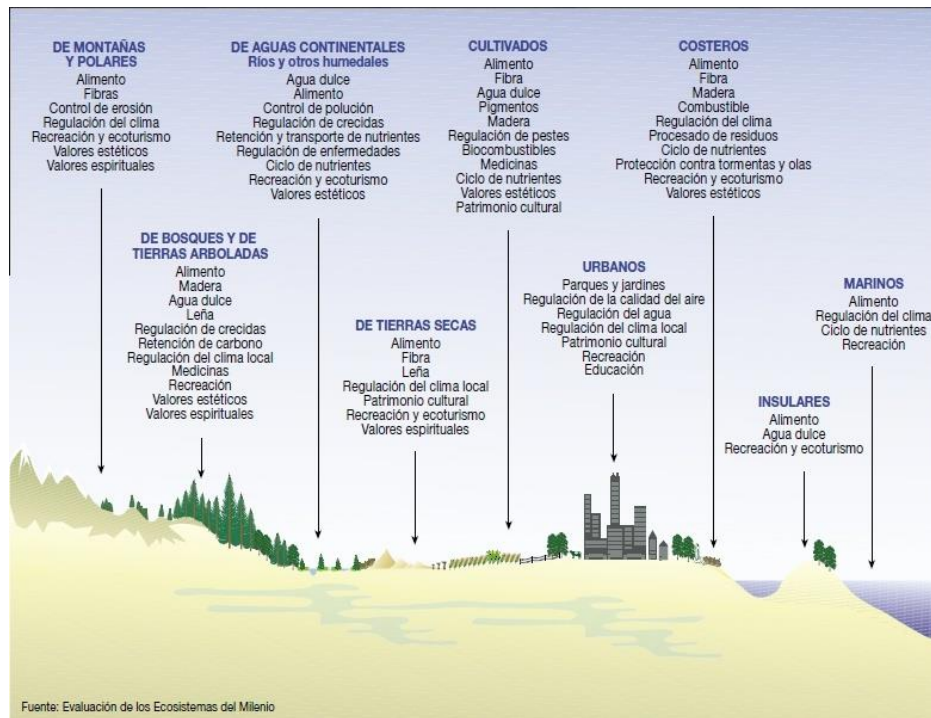


Fig. 5.3 Beneficios provenientes de los ecosistemas.
Fuente: EM, 2005.

Existen otros recursos naturales que han requerido un desarrollo tecnológico para ser aprovechados, ya sea porque precisan cierto proceso de transformación (cemento), o porque son fruto de un largo proceso de experimentación biotecnológica (microorganismos utilizados en la elaboración del vino, la cerveza o el queso), o porque han sido modificados a través de siglos de experimentación (especies domesticadas de plantas y animales), o porque requieren cierto nivel tecnológico para su aprovechamiento, como es el caso de los genes silvestres (la ingeniería genética permite actualmente transferir genes de una especie a otra), o el de varias de las fuentes de energía (hidromotriz, eólica o solar), siendo el caso extremo el de la energía nuclear, que requiere un alto nivel tecnológico para su aprovechamiento.

Existen aún otros beneficios que obtenemos de la naturaleza, como es el mantenimiento del ciclo hidrológico y la regulación del clima, sin lo cual no podríamos haber desarrollado la agricultura que dio paso a las grandes civilizaciones. Del mismo modo, podemos mencionar a la purificación del agua y del aire, al mantenimiento de la composición de la atmósfera, a la absorción y descomposición de contaminantes, a la formación y mantenimiento del suelo, a la polinización de cultivos, a la reserva y ciclaje de nutrientes y a la provisión de sitios para turismo, recreación, investigación e inspiración artística (Fig. 5.3). Todos ellos son resultado de la dinámica natural de los ecosistemas (a una escala local o regional), y a una escala global, son producto o resultado de la interacción entre la hidrosfera, la atmósfera, la litosfera y la biosfera, que conforman el sistema ambiental mundial (Fig. 5.4).

A pesar de la importancia de algunos de estos procesos, no siempre nos percatamos de sus beneficios, por lo que nos cuesta reconocer su utilidad, no los valoramos adecuadamente, no los protegemos y eventualmente los degradamos o destruimos. La humanidad advierte su importancia cuando empiezan a observarse las consecuencias de su deterioro, como es el caso de la destrucción de la capa de ozono en relación con los riesgos para la salud, o el cambio climático global y su relación con los desastres naturales.

Desde hace unos años se utiliza el concepto de “Servicios Ecosistémicos o Ambientales” (Samper, 2003; EM, 2005; Montes, 2007; Montes y Sala, 2007) para referirse a todos los recursos o procesos de los ecosistemas naturales que benefician a la humanidad (Fig. 5.3). Este concepto se formalizó en el marco del proyecto Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, organizado por las Naciones Unidas en 2005, que involucró a 1360 científicos del mundo entero. Esta iniciativa tuvo por objeto evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas sobre el bienestar humano, y las bases científicas para las acciones que se necesita emprender a fin de reforzar la conservación y el uso sostenible de esos sistemas y su contribución al bienestar humano (EM, 2005).

En este contexto, se agruparon los servicios de los ecosistemas en cuatro categorías y se identificó su importancia para el bienestar de la humanidad (Fig. 5.4):

- Servicios de aprovisionamiento: producción de agua y de alimentos.
- Servicios de regulación: control del clima y de las enfermedades.
- Servicios de apoyo (a los dos anteriores): los ciclos de nutrientes y la polinización de cultivos.
- Servicios culturales: beneficios espirituales y recreativos.

Este proyecto elaboró un marco conceptual (EM, 2003) en el que se puntualizan cuatro conceptos básicos:

1. Los ecosistemas proveen una amplia variedad de servicios.
2. Estos servicios son la base para el bienestar humano y la reducción de la pobreza.
3. Las actividades humanas son generadoras de una serie de cambios indirectos.
4. Estos cambios indirectos determinan una serie de cambios directos, que a su vez tienen impactos en los ecosistemas.

Algunas de las conclusiones de este proyecto (EM, 2005), pertinentes en el contexto de este documento, fueron las siguientes:

- Todas las personas del mundo dependen de la naturaleza y de los servicios de los ecosistemas para poder llevar una vida decorosa, saludable y segura.
- Los seres humanos han introducido cambios que han ayudado a mejorar la vida de miles de millones de personas, pero al mismo tiempo han debilitado la capacidad de la naturaleza para brindar ciertos servicios ecosistémicos clave. La pérdida de los servicios derivados de los ecosistemas constituye una barrera importante para reducir la pobreza, el hambre y las enfermedades.
- Las presiones globales sobre los ecosistemas van a aumentar en las próximas décadas, salvo que cambien las actitudes y acciones humanas.
- Con la tecnología y el conocimiento disponibles ya se puede reducir considerablemente el impacto de los seres humanos sobre los ecosistemas. Pero es improbable que aquéllos se utilicen plenamente mientras se perciba a los servicios de los ecosistemas como gratuitos e ilimitados, y su valor total no sea tomado en consideración.
- Para una mejor protección del capital natural se requerirán esfuerzos coordinados entre todos los sectores de los gobiernos, las empresas y las instituciones internacionales. La productividad de los ecosistemas depende de las políticas que se apliquen, incluidas las relativas a inversiones, comercio, subsidios, impuestos y regulación.



Fig. 5.4 Relación entre los servicios ecosistémicos y el bienestar humano.
Fuente: EM, 2005.

Desarrollo sostenible y gestión ambiental

La importancia por los temas ambientales, así como la responsabilidad del ser humano en relación con ellos, se ha expresado en el concepto de “Desarrollo Sostenible” (“Sustainable Development”; WCED, 1987), en el que se considera que el modelo de desarrollo deseable “debe asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”. Si bien ha sido criticado por ser demasiado abstracto y poco operativo, el concepto implica reconocer al menos tres requisitos o componentes para que un modelo o proyecto de desarrollo sea sostenible: crecimiento económico, equidad social y sustentabilidad ecológica (Fig. 5.5). Algunos cuestionamientos apuntan a la incertidumbre respecto de la sostenibilidad a través del tiempo (¿cómo sabemos que vamos bien orientados?), a la irreversibilidad de algunas consecuencias (pérdida de patrimonio natural o cultural), o a la escala espacial y temporal (¿qué superficie o territorio considerar, y durante cuántos años?). El concepto no es absoluto, sino relativo, permitiendo orientar el análisis comparativo entre alternativas de proyecto de inversión o desarrollo.

De un modo u otro, es claro en este concepto de desarrollo sostenible la necesidad de considerar las cuestiones de sustentabilidad ecológica y equidad social en un proceso de desarrollo. Tomando de referencia lo presentado en la sección anterior, respecto del concepto de “Sistema ambiental”, en este trabajo el concepto “ambiental” incluye al subsistema natural (ecológico o biofísico) y al antrópico (socioeconómico y cultural). En algunos documentos se utiliza el vocablo “socioambiental” para resaltar que se incluye a lo social como parte del análisis ambiental.

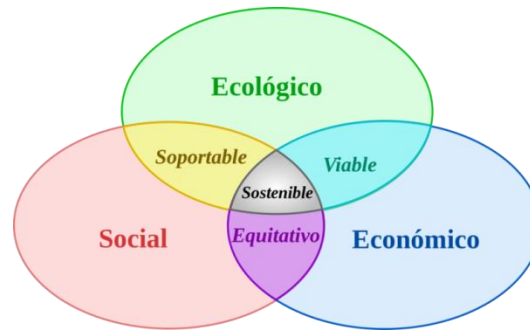


Fig. 5.5 Componentes del desarrollo sostenible.
Fuente: <http://www.cons-dev.org/elearning>

Coincidiendo con la visión de los servicios ecosistémicos, es necesario incorporar los aspectos ambientales en los procesos de toma de decisiones respecto de inversiones y actividades productivas en el marco del desarrollo sostenible. A ese fin apunta el denominado “Gerenciamiento o gestión ambiental”, que puede visualizarse como el conjunto de instrumentos, normas, organizaciones, operaciones, procesos, planes, controles que procuran la defensa, conservación y mejoramiento de la calidad ambiental y el usufructo de los bienes y servicios del medio, sin desmedro de su potencial como legado intergeneracional (Buroz, C., 1997).

La gestión ambiental ha evolucionado en los últimos años, inicialmente enfocada a las cuestiones propias del entorno natural o rural (“agenda verde”), en donde los temas prioritarios son la conservación de la flora y fauna, los bosques y el suelo; ha ampliado su interés y ha incorporado los conflictos ambientales en entornos más antropizados (la denominada “agenda marrón”), en la cual los temas prioritarios suelen ser el acceso al agua potable y cloacas, la contaminación del aire y sonora, gestión de residuos sólidos urbanos, la industria, el transporte y la energía, etc.

Un aspecto a resaltar es el enfoque creciente de “gerenciamiento ambiental” incorporando las tareas de planificación, acción y control para verificar la efectividad de la toma de decisiones. Esto se vincula con las nuevas normativas específicas y sectoriales y con una mayor profesionalización en el sector, lo que ha dado lugar a nuevas oportunidades laborales y empresariales. Igualmente, merece mencionarse la creciente importancia a la participación, educación e información pública derivada de las nuevas normas nacionales o provinciales.

La Constitución Nacional (1994) de la República Argentina incorpora explícitamente el derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para las actividades productivas en un marco claramente relacionado con el desarrollo sostenible (ver Anexo I). Leyes ambientales, tanto nacionales como provinciales, han incorporado principios, criterios e instrumentos de gestión ambiental (Anexo I). Numerosos municipios han incluido los aspectos ambientales en la gestión de su territorio, tanto en los códigos urbanos como en la provisión de servicios públicos básicos (residuos urbanos). Estas normas generales han sido acompañadas por normas específicas en distintos sectores (energía, transporte, vialidad, obras hidráulicas, radicación industrial, etc.) que han requerido la conformación de unidades de gestión en distintas reparticiones nacionales o provinciales. Asimismo, se han organizado unidades de gestión ambiental, con rango de Secretaría o Dirección, que son las encargadas de la gestión ambiental en el territorio provincial o municipal.

En el contexto internacional, la gestión ambiental suele aplicarse en el ámbito privado (empresarial) en el marco de los procesos de certificación de los “Sistemas de Gestión

Ambiental (SGA)” (“Environmental Management System”; ISO 14.001). Los SGA son herramientas que proveen a las organizaciones con un procedimiento metodológico que permite el manejo sistemático de las cuestiones empresariales, tendiente a una mejora en el desempeño ambiental de sus procesos productivos, colaborando con el cumplimiento de las obligaciones ambientales y objetivos de desempeño empresarial (Hunt & Johnson, 1996). La ISO (International Standards Organisation) define a los SGA como parte de un sistema de gestión integral que incluye una estructura organizacional, la planificación de actividades, responsabilidades, prácticas, procedimientos, procesos y recursos para desarrollar, implementar, alcanzar, revisar y mantener la política ambiental. Los SGA tienen principios operativos en común asociados al ciclo Planificar-Hacer-Revisar-Corregir (Fig. 5.6; PDCA: Plan-Do-Check-Act Cycle).



Fig. 5.6 Modelo de gerenciamiento ambiental.

Fuente: modificado de <http://ec.europa.eu/environment/emas>

La Fig. 5.6 muestra el círculo virtuoso de la gestión ambiental en el marco de la mejora continua del desempeño ambiental, de aplicación cada vez más frecuente en el ámbito privado, incluyendo diversas experiencias en el ámbito nacional; cada etapa apunta a acciones concretas y específicas:

- Plan (Planificar): establece la política ambiental incluyendo los objetivos y metas (plazos).
- Hacer (Ejecutar, Gestionar): implementa la estructura organizacional, dispone los recursos y asigna responsabilidades para alcanzar los objetivos y metas planteados, estableciendo los procedimientos de entrenamiento y comunicación interna a fin de implementar los objetivos exitosamente.
- Revisar (Evaluar, Chequear): recopila, analiza, monitorea y procesa la información y los resultados contrastándolos con los objetivos y metas planteados, revisando los resultados a través de auditorías ambientales.
- Corregir (Actuar, Ajustar): evalúa el desempeño ambiental, corrige o mejora la política ambiental incluyendo objetivos y metas, así como la estructura organizacional, los procedimientos y los procesos a fin de lograr una mejora continua en el desempeño ambiental.

Es de destacar que los SGA son voluntarios, e implican un proceso continuo tendiente a reducir los impactos ambientales y mejorar el desempeño ambiental de la organización, empresa o

corporación. Los SGA requieren de una evaluación externa e independiente, con procesos registrables y verificables, lo que asegura la credibilidad y confiabilidad del sistema, tanto hacia la propia organización como hacia la población a través de su difusión. El suministro de información al público respecto del desempeño ambiental de la organización es un aspecto importante del SGA, tanto para lograr el compromiso e involucramiento de los propios empleados como para informar al potencial cliente o consumidor del compromiso empresarial de mejora continua del desempeño ambiental de la organización.

Finalmente, es de mencionar la existencia de guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad, que han sido elaboradas por organismos multilaterales (Banco Mundial, Banco Interamericano de Desarrollo) y que constituyen documentos de referencia técnica de “Buenas Prácticas” para la industria (CFI, 2007.a) y que ofrecen orientación a los usuarios sobre cuestiones relativas al desempeño ambiental en distintos sectores industriales. En ellas se detallan las tecnologías disponibles, así como los estándares de calidad ambiental (emisiones gaseosas, vuelco de efluentes, eficiencia energética, etc.) aprobados por organismos internacionales (como la Organización Mundial para la Salud). Algunas guías son específicas para ciertas actividades, como el desarrollo de petróleo y gas en tierra o costa afuera (“onshore” y “offshore”; CFI, 2007b y 2007c).

Existen, además, otras organizaciones de referencia en la industria, como el Consejo Mundial de la Energía (World Energy Council; WEC); la Asociación Mundial de Gas LP (World LP Gas Association; WLPGA) y el Consejo Mundial de Negocios para el Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development; WBCSD). En este contexto, es de interés mencionar a IPIECA (International Petroleum Industry Environmental and Conservation Association, ver www.iecea.org), que es la asociación mundial del sector del petróleo y el gas especializada en cuestiones ambientales y sociales. Esta organización ha elaborado más de 50 documentos e informes sobre buenas prácticas para el sector del petróleo y el gas. De este modo, la industria misma, como en otros sectores, explicita los estándares ambientales y sociales que regulan su desempeño en estas cuestiones, contribuyendo de este modo a mejorar el desempeño ambiental y social del sector del petróleo y el gas mediante la adopción de medidas que se refieren al desarrollo, intercambio y promoción de buenas prácticas y soluciones, entre otras funciones. Estos compromisos voluntarios, que forman parte de lo que se denomina Responsabilidad Social Empresarial (RSE), constituyen valores intangibles de las empresas que están expuestos a la opinión pública global.

Complementariamente, y desde hace unos años (EP, 2013), los grandes grupos financieros mundiales han adoptado los denominados “Principios de Ecuador” (ver <http://www.equator-principles.com>), que constituyen un esquema de manejo de riesgo para determinar, evaluar y manejar los riesgos ambientales y sociales de proyectos con la intención de suministrar un mínimo estándar para el cumplimiento de obligaciones y brindar fundamentos para la toma de decisiones responsables sobre los proyectos. De este modo, prácticamente todos los proyectos estatales o privados que soliciten financiamiento deben cumplir con buenas prácticas internacionales que, en general, suelen constituir estándares muy superiores a los de algunos países en vías de desarrollo. De este modo, la gestión ambiental de grandes proyectos se incorpora a la lógica de la mejora continua en el desempeño ambiental de las actividades humanas a una escala planetaria.

La evaluación ambiental como herramienta de gestión

Existen numerosas herramientas e instrumentos de gestión ambiental que se aplican según el objetivo y contexto de gestión (Buroz, 1998; Gaviño & Sarandón, 2002; 2010). Las más importantes, por ser las más frecuentemente utilizadas, son las siguientes:

- Indicadores de sustentabilidad: herramienta de seguimiento y control del estado y tendencia del ambiente. Útil para monitoreo a mediano y largo plazo de ciertas variables ambientales seleccionadas. Aplicable a Estados, provincias, municipios o unidades de manejo especial (Áreas Naturales Protegidas, ANP).
- Ordenamiento ambiental: herramienta de planificación estratégica para la toma de decisiones sobre localización de actividades en el espacio geográfico o ámbito físico de un territorio. Útil para decisiones a mediano y largo plazo del conjunto de actividades. Aplicable a municipios o provincias y a unidades de manejo especial (ANP).
- Evaluación de Impactos Ambientales (EIA): herramienta de toma de decisiones puntuales para proyectos específicos. Se basa en un cuidadoso análisis de la actividad proyectada y del ambiente en donde se insertará, tendientes a identificar, minimizar o eliminar las consecuencias ambientales negativas de una intervención antes de su inicio (es de carácter preventivo).
- Evaluación Ambiental Estratégica (EAE): herramienta de toma de decisiones sobre políticas, planes o programas a escala regional y largo plazo (impactos indirectos, acumulativos, sinérgicos). Aplicables a cuestiones sectoriales (energía, transporte), de escala regional y a largo plazo (10 a 20 años).
- Gestión integral de residuos: estrategia de gerenciamiento permanente (control, manejo, disposición) de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos de una actividad (industria) o territorio (municipio) tendientes a disminuir volúmenes, costos, daños ambientales y riesgos a la salud de la población.
- Otras herramientas de aplicación específicas son el análisis de riesgo, las auditorías ambientales o el análisis del ciclo de vida de un producto.

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta preventiva de gestión ambiental, ya que se utiliza en forma previa al desarrollo de una actividad, con el fin de que su implementación sea autorizada por parte de la autoridad de aplicación, en el marco de un procedimiento administrativo definido por el marco legal vigente (Wathern, 1988; Conesa Fdez.-Vitora, 1997; USEPA, 1998; Canter, 1998). Una EIA se basa en un cuidadoso análisis de la actividad proyectada, así como del ambiente en donde se desarrollará, con el fin de identificar las consecuencias (impactos) ambientales de la actividad, y elaborar medidas tendientes a evitar o minimizar las consecuencias negativas y potenciar las positivas. Se requiere o aplica a proyectos de intervención que constituyen un conjunto de actividades a ser ejecutadas en un determinado lugar, con un objetivo definido, un presupuesto y un cronograma.

El procedimiento de EIA se inicia cuando un proponente (sea público o privado) solicita la autorización para la ejecución de un proyecto o actividad a la autoridad de aplicación respectiva, para lo cual debe presentar la documentación referida al proyecto y un Estudio o Informe de Impacto Ambiental (EsIA). Este informe técnico lo elabora o subcontrata el proponente según las especificaciones técnicas vigentes en el marco normativo y de acuerdo con los criterios o exigencias de la autoridad de aplicación. El EsIA debe contener una descripción detallada del proyecto y de las actividades (incluyendo las fases de planificación, construcción, operación y cierre o abandono), un diagnóstico ambiental (del medio natural y socioeconómico), la identificación y valoración de impactos y riesgos ambientales, la identificación de medidas de prevención, mitigación, control o compensación, y un Plan de Gestión Ambiental (PGA) del proyecto. La autoridad de aplicación analiza el EsIA (eventualmente puede solicitar apoyo a centros de investigación o expertos externos), realiza

una consulta pública (que puede tener distintas modalidades) y, finalmente, emite un dictamen (que suele denominarse Declaratoria de Impacto Ambiental, DIA), en el cual puede: i) autorizar la implementación del proyecto, ii) autorizarlo con ajustes o modificaciones, o iii) rechazarlo. Los ajustes o modificaciones pueden incluir cambios tecnológicos, estudios previos específicos complementarios del diagnóstico ambiental local, restricciones de uso de recursos naturales locales, análisis de riesgo ambiental o social, y todo otro requisito que la autoridad ambiental considere necesario realizar dependiendo de las características del proyecto, de las condiciones ambientales locales y/o de los impactos y riesgos asociados.

Las actividades propuestas en el marco de un proyecto (construcción de un camino o carretera, tendido de un poliducto, perforación de un pozo de HCNC, etc.) consisten en un conjunto de acciones que implica generalmente la intervención de maquinarias y equipos pesados, el movimiento de operadores y técnicos, la utilización de recursos naturales (agua, energía, áridos), insumos (cañerías, componentes, etc.), y la consecuente generación de desechos. Estas acciones pueden generar cambios en las características físicas del terreno, modificaciones en el entorno biológico y/o alteraciones en el sistema económico, social o cultural en una cierta área (“efectos”; Fig. 5.7). En la medida en que estos efectos alteren la calidad del ambiente, ya sea por afectar los recursos naturales, la salud de la población o el patrimonio cultural de un área, podrán considerarse “impactos ambientales” (Fig. 5.7). Cuando la acción surge como consecuencia de un accidente y tiene consecuencias ambientales, se denomina riesgo o contingencia ambiental.

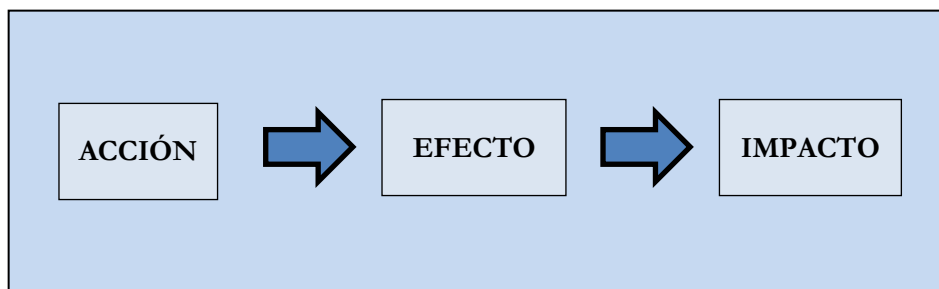


Fig. 5.7 Gráfico conceptual de acción, efecto e impacto ambiental.
Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, el movimiento de tierra (“acción”) necesario para el tendido de una tubería, realizado en cercanías de un cuerpo de agua (lago, arroyo) puede generar incremento de la turbiedad del cuerpo de agua (“efecto”), repercutiendo negativamente en las características del agua para uso humano (necesidad de mayor tratamiento para su potabilización) y generando disminución de la productividad del fitoplancton con deterioro de la alimentación de ciertas especies de peces (“impactos”). Los efectos e impactos ambientales son consecuencia directa o indirecta de acciones específicas generalmente realizadas en el marco de una actividad, por lo que su importancia dependerá de la intensidad, duración, extensión o reversibilidad del efecto, lo que a su vez es consecuencia del modo como se realiza una acción.

A fin de evaluar las consecuencias ambientales de un proyecto, se analizan detalladamente las actividades y acciones (previstas y eventuales), luego se identifican los efectos y se valoran los impactos, para finalmente plantear medidas ambientales. Las medidas puede ser de naturaleza preventiva (evitan la ocurrencia del impacto), mitigadoras (ya sea que minimizan o controlan el impacto) o compensadoras. Las medidas suelen apuntar al modo como se realiza la acción, con el fin de que se realicen bajo ciertas condiciones que eviten o mitiguen los efectos ambientales negativos. Por ejemplo, pueden tomarse recaudos para evitar que,

durante el movimiento de tierra, lleguen partículas de tierra al cuerpo de agua utilizando zanjas o recintos que contengan el material removido.

El conjunto de medidas y recaudos ambientales se incorporan al EsIA como parte del “Plan de Gestión Ambiental” (PGA) del proyecto o actividad. En un PGA se especifican las medidas ambientales durante la fase de construcción, operación o cierre; especificando dónde y cuándo se deben aplicar, así como los responsables de su aplicación. La aplicación de medidas ambientales en el desarrollo de una actividad, evita o minimiza la ocurrencia de efectos e impactos ambientales, constituyendo lo que se denominan “Buenas Prácticas Disponibles” para la actividad. La verificación de cumplimiento y uso de buenas prácticas suele ser parte de los procesos de certificación ambiental, mejorando el desempeño ambiental de la actividad en su conjunto.

Cuando lo que se evalúa no es un proyecto definido, sino una política, un plan o un programa, que se refiere a un sector (energía, transporte, saneamiento), y se desarrollan en una región (sin especificaciones respecto a la localización de las distintas actividades), no es posible efectuar una EIA. En estos casos se requiere realizar una “Evaluación Ambiental Estratégica” (EAE), que constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones en la fase de planificación e implementación de políticas, planes o programas, a una escala regional y de largo plazo, enfocándose en aquellos impactos indirectos y acumulativos.

Este es el caso para el desarrollo de HCNC en el área de estudio, debido a que se prevé el desarrollo de numerosos pozos de exploración y explotación, llevados adelante por distintas compañías, durante un período suficientemente extenso como para dar lugar a importantes cambios tecnológicos. Además, si bien cada compañía deberá cumplir con los procedimientos de EIA de sus actividades, varios de los efectos indirectos y acumulativos del conjunto de las actividades no serán evaluados en esa instancia. Entre ellos pueden mencionarse los trastornos en el sistema de movilidad terrestre (rutas y caminos), la demanda de infraestructura y de servicios públicos, los cambios en la ocupación y uso del territorio o la demanda de controles por parte de la autoridad de aplicación ambiental. En este caso, se hace necesario aplicar un enfoque estratégico para la evaluación ambiental, tomando como referencia los objetivos y alcances de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) (Partidario, 2010; 2011; 2012). A diferencia de la EIA, que se realiza para proyectos específicos (Banco Mundial, 1991; Canter, 1998; Conesa Fdez.-Vitora, 1997; Gómez Orea, 1994; Morris & Therivel, 1995; Porter & Fittipaldi, 1998; Treweek, 1999), la EAE se aplica a planes y programas de intervención, por lo que suele adoptar el siguiente enfoque:

- Consideración de un Sistema Ambiental Integral, incorporando tanto elementos del medio biofísico como socioeconómico.
- Consideración de una escala espacial regional, adoptando como marco de referencia a la totalidad de la zona de estudio correspondiente a la explotación de la FM Vaca Muerta (provincia del Neuquén, República Argentina).
- Consideración de una escala temporal de largo y mediano plazo (con un horizonte de referencia de 5 a 20 años).
- Incorporación de los aspectos institucionales y legales en el análisis, a fin de identificar la necesidad de implementar medidas tendientes al fortalecimiento del área.

Análisis ambiental de la explotación de recursos no convencionales

Importancia de los HCNC en la República Argentina

Tal como se detalla en los Caps. 1, 2 y 3, el aprovechamiento de los HCNC constituye una nueva etapa en el desarrollo tecnológico de la exploración y explotación de hidrocarburos en la R. Argentina. La situación especial de los reservorios encontrados hasta este momento, así como las perspectivas futuras, indican que la R. Argentina (en distintas regiones o provincias) podría tener reservas de importancia global, siendo de una magnitud tal que representen una oportunidad histórica que permitiría realizar un aporte significativo y sustentable para lograr un autoabastecimiento de hidrocarburos, y constituirse en el eje de un proceso de desarrollo nacional (Galeazzi *et al.*, 2014). De todas maneras, estas proyecciones son aún preliminares y dependerá de cómo se desarrolle el proyecto. Los escenarios de explotación de HCNC en la zona de estudio, planteados y evaluados desde un punto de vista técnico y económico (ver Caps. 1 y 3), sugieren al menos prudencia respecto de la potencialidad de esta fuente de recursos energéticos.

Tal como se describe en el Capítulo 1, puede considerarse a este recurso natural no renovable como uno de transición hacia recursos naturales renovables, lo que necesariamente deberá ocurrir en las próximas décadas (ANI, 2013; Villalonga, 2013). Dada la magnitud de los recursos de HCNC existentes, la importancia del gas natural en el futuro energético es reconocida para el caso de la Argentina (ANI, 2013).

El aprovechamiento de los HCNC constituye un desafío mayúsculo para la Argentina, no sólo en lo que innovaciones tecnológicas implica, sino también en lo referido a la gestión de los aspectos ambientales y sociales. Esto involucra tanto al gobierno nacional como al provincial y local (municipal), ya que las consecuencias ambientales pueden repercutir sobre otros recursos naturales y sobre los servicios ecosistémicos, y constituirse, de este modo, en condicionantes ambientales para el desarrollo integral, tal como se expone y analiza en las secciones siguientes de este capítulo.

Actividades asociadas al desarrollo de HCNC

Los HCNC son recursos (petróleo y gas) que se encuentran atrapados en la “roca generadora” cuya escasa permeabilidad imposibilita su migración y concentración en formaciones libres e independientes (“reservorios convencionales”), quedando retenidos en los intersticios de la propia roca (conformando los recursos denominados shale gas” o shale oil”, respectivamente) (ver desarrollo específico en los Caps. 2 y 3).

A fin de extraer esos recursos Hidrocarburíferos, se hace necesario proceder a generar una red de canalículos dentro de la roca, que incrementen la permeabilidad, permitiendo o facilitando el movimiento del gas y del petróleo hacia ese sistema de canales y, por la tubería, hacia la superficie. Eso explica que la tecnología clave para la explotación de los HCNC sea la estimulación o fracturación hidráulica (*fracking*), que tiene por objeto generar fisuras que se interconecten y den lugar a la red de canales por los cuales puedan fluir el petróleo y el gas. La descripción detallada de las técnicas se ha brindado en el Capítulo 3, en el presente capítulo se sintetizan y detallan aquellas características más importantes desde un punto de vista ambiental, con la intención de identificar acciones potencialmente impactantes. En este contexto, también han sido de utilidad los informes internos de YPF.

Las primeras experiencias de fracturación hidráulica datan del año 1947, siendo aceptado comercialmente en 1950, mientras que la primera perforación horizontal data del año 1930, por lo que ambas tecnologías no son herramientas nuevas ni experimentales en la industria del gas y petróleo (King, 2013). Según ANI (2013), la perforación de pozos de hidrocarburos con tecnología de fracturación horizontal en la R. Argentina se inicia en el año 1975, habiéndose generalizado en 1988. En los últimos 60 años, se ha aplicado esta tecnología de facturación hidráulica más de 2,5 millones de veces, y se han realizado decenas de miles de pozos horizontales (King, 2013). Actualmente, la producción de gas con esta tecnología alcanza el 25% de la de EE.UU., con claros beneficios sociales y ambientales (reducción del precio del gas, incremento de la producción industrial, incremento en el empleo, reducción de emisiones de CO₂) (ANI, 2013).

Existe una vasta literatura técnica que describe y analiza la perforación horizontal y la fracturación hidráulica adaptadas al desarrollo de HCNC, ya sean shale gas o petróleo en los últimos 30 años (King, 2013). En informes recientes (USEPA, 2014; ANI, 2013; López y col., 2013; King, 2013), se realiza una descripción del proceso y la tecnología de extracción de HCNC (gas o petróleo), que constituye un esquema básico del modo en que se operará en la región. Debe quedar claro, sin embargo, que la tecnología, los equipos y las actividades que se realicen en cada pozo perforado van cambiando y ajustándose en función de las características del reservorio y la naturaleza de los problemas técnicos que se encuentren en cada caso. De todas maneras, en esta sección se seguirán los lineamientos de King (2013) y lo desarrollado en el Capítulo 3, para describir y analizar las distintas etapas y actividades asociadas a la explotación de HCNC.

En el análisis de las etapas y actividades inherentes a la explotación de los HCNC se ha considerado especialmente la información detallada en informes internos de YPF que abarcan diagnósticos de cuestiones ambientales, sociales y de salud asociados a la explotación de hidrocarburos no convencionales (HCNC) en la provincia del Neuquén. Estos estudios describen las actividades y operaciones correspondientes a la etapa de perforación (15 años) y producción (35 años) en el área denominada Bloque Loma Campana (Fm. Vaca Muerta), localizada en la provincia del Neuquén (R. Argentina; Fig. 5.8). Esta región, que se ha tomado de referencia para definir el área de estudio del presente documento, incluye las siguientes unidades operativas:

- Loma Campana: Loma La Lata Norte (LLLN; gas), Loma Campana (LC; petróleo), inicia desarrollo masivo en 2014 con más de 1600 pozos a perforar en los próximos 15 años,
- El Orejano (EO; gas): 58 pozos a perforar, y
- Rincón del Mangrullo (RDM; gas): 227 pozos a perforar.

El esquema de desarrollo en LC en la etapa de Perforación, prevé dos fases, una fase Piloto (20 km²; 115 pozos; 14 equipos; 1 año); y una fase de Desarrollo Masivo (270 km²; 1.073 pozos verticales y 489 horizontales; 19 equipos; 14 años). Según los informes de YPF, ya se encontrarían operando 19 equipos de perforación en Loma Campana, 2 equipos en RDM y 2 equipos en EO.

Según esta fuente, la Fm. Vaca Muerta en el sector correspondiente al área de estudio presenta una profundidad de 2700 a 3200 m; un espesor entre 150 y 280 m (para toda la Formación es de 25 a 450 m, ver Cap. 2); porosidad media 8-10%; contenido orgánico total 2-6% (para toda la Fm. es de 3% a 8%, ver Cap. 2); Sw promedio 25%; Bo 1,3-2,5; Viscosidad crudo 0,2-1 cp; y Presión del reservorio 550-600 kg/cm². En la formación se encuentran

distintos hidrocarburos: gas y condensado; petróleo volátil (+50 API) y petróleo negro (37 API), lo que depende de la madurez de la roca generadora.

Análisis ambiental de las actividades asociadas a los HCNC

En esta sección se analizan, desde una perspectiva ambiental, las actividades involucradas en la explotación de HCNC, utilizando como fuente de información la que ha generado la propia industria, ya que el tipo de actividad y el modo como se ejecuta es muy importante para evaluar las consecuencias e impactos de las mismas.

A fin de efectuar un análisis preliminar de los aspectos ambientales de las actividades de exploración y producción de HCNC, se utilizará un esquema basado en definir cada etapa, describir las actividades inherentes a la misma, identificar aquellos aspectos ambientales relevantes y algunas medidas o cuidados ambientales necesarios para evitar o minimizar las consecuencias negativas de las mismas. Vale resaltar que la mayoría de las medidas o cuidados que se plantean suelen aplicarse de modo rutinario, o debieran aplicarse como parte de los compromisos asumidos por las empresas ante la Autoridad de Aplicación, ya que varias de ellas están incorporadas a la normativa vigente a escala regional (ver Anexo I).

ecología (fauna silvestre), etc., lo que puede tomar desde unos pocos meses a varios años (King, 2013). Esta etapa puede incluir también la evaluación de la infraestructura disponible (caminos, energía, agua) y la identificación de la necesidad de elaborar los correspondientes proyectos de ingeniería (con su tarea de permisos, etc., incluida) para el desarrollo de infraestructura.

Los aspectos ambientales relevantes en esta etapa se relacionan con la elaboración de los estudios de evaluación ambiental (factibilidad ambiental, social), la elaboración de la Línea de Base Ambiental (LBA) a escala regional, la obtención de permisos y certificados específicos.

Los cuidados ambientales que debieran tenerse en cuenta se relacionan con la necesidad de planificar aspectos ambientales y sociales (priorizar), relevar las normas ambientales, identificar áreas sensibles, los elementos naturales y los grupos humanos vulnerables. Es el momento de socializar y comunicar el proyecto con información precisa evitando que se difunda información malintencionada. Se inician los contactos con la autoridad local, con pobladores y con referentes de grupos de opinión. El objetivo debiera ser identificar lo más tempranamente posible los eventuales conflictos con el fin de elaborar las medidas necesarias para evitar o mitigar los impactos y riesgos ambientales negativos.

Varios temas críticos deben abordarse en esta etapa de preparación, los que pueden implicar alguna adecuación en la ubicación o localización geográfica de equipamiento, tendido de infraestructura (canales, ductos, líneas de tensión), el desarrollo de infraestructura o eventuales ajustes en el diseño de algunos componentes o procesos (evaluación ambiental de alternativas). Uno de los aspectos críticos a ser definidos en esta fase implica la necesidad de ciertas instalaciones de superficie (plantas de tratamiento, tomas de agua, ductos, repositorios, etc.).

Exploración de HCNC

Se refiere al conjunto de actividades que tienen por función localizar potenciales sitios con recursos hidrocarburíferos. Incluye estudios geológicos, interpretación sísmica y evaluación petrofísica. Se realiza por medio del relevamiento sísmico utilizando equipos que se movilizan en camiones (18 a 36 t) y que generan vibraciones que son captadas por equipos (geófonos) y que permiten caracterizar y mapear las estructuras rocosas subterráneas con el fin de definir el sitio de la perforación.

Las actividades involucradas en esta etapa son el movimiento de maquinaria, equipos y personal, y la alteración temporaria del entorno ecológico (natural), productivo (usos del suelo) y social (costumbres, tradiciones). Los cuidados ambientales apuntan a minimizar la alteración ecosistema (vegetación, fauna, paisaje) y usos actuales (productivas, recreativas, comunitarias), y controlar los ruidos, realizar una gestión integral de residuos, así como el tratamiento de los efluentes líquidos.

Desarrollo de infraestructura

Al inicio de las actividades (fase piloto), se hace necesario desarrollar la infraestructura regional tendiente a posibilitar las operaciones durante la fase de explotación y producción de los HC. Esta actividad incluye diversos aspectos asociados a la adecuación (planificación, construcción y operación) de la infraestructura regional (rutas, caminos internos, acueductos, energía eléctrica, plantas de tratamiento, etc.). Durante la misma se deben mantener los cuidados ambientales, tanto durante la construcción como en la operación de los distintos

proyectos. Se incluyen también todos los estudios y requisitos para la obtención de los correspondientes permisos sectoriales y ambientales, así como la información a propietarios (permiso de servidumbre, expropiación, etc.), incluidos dentro del análisis de factibilidad ambiental y social de todos y cada uno de los proyectos.

Al respecto, el proyecto de explotación de HCNC en Loma Campana (Fm. Vaca Muerta) incluye diversas instalaciones en superficie para el tratamiento y transporte de los hidrocarburos producidos, así como las instalaciones para el tratamiento de residuos sólidos (residuos de perforación) y líquidos asociados (aguas de retorno). En los estudios ambientales consultados, se identifican las siguientes instalaciones en superficie: Petróleo; Agua para fractura; Agua de retorno (*flowback*); Gas; Energía eléctrica, y Tratamiento de residuos (sólidos).

- **Infraestructura de petróleo**

Incluye los ductos para el transporte de HC desde las locaciones, pasando por los colectores y concentradores, hasta las instalaciones primarias (EPF o *Early Production Facilities*). Se prevé al menos 7 EPFs en la región de Loma Campana, algunas se encuentran actualmente operativas, mientras que otras están en proceso de planificación. En las distintas EPFs se efectúa la separación de los HC (gas, petróleo, agua), ya sea la que llega por ductos como la que es transportada por camiones, continuando de allí a los centros de consumo. Algunos ductos ya se encuentran operativos, como por ejemplo el oleoducto Loma La Lata-Centenario (83 km), que atraviesa territorios con asentamientos mapuches y finaliza en la localidad de Centenario.

El proyecto identifica varias instalaciones necesarias para acompañar el desarrollo del plan de producción de HCNC, incluyendo: ampliación de la Batería 3; adecuación cabecera de bombeo (LLL); Planta de Tratamiento de Crudo (PTC) y oleoducto de despacho. El trazado y tendido de las líneas de conducción requiere de estudios ambientales con el fin de minimizar el impacto sobre hábitats naturales no intervenidos y la población. El tendido de los mismos requiere movimiento de equipos, camiones y trabajadores, así como materiales (tubos de acero, de 3" y 6"). Las tareas incluyen transporte de cañerías, excavación, armado y soldado de la tubería, equipamiento accesorio (concentradores, etc.), pruebas técnicas y enterramiento. La producción bruta será enviada a la PTC, de la cual el agua de retorno se enviará a una Planta de Tratamiento (PT) para la remoción de sólidos y cationes (Ca, Mg, Ba) y su eventual reutilización.

- **Infraestructura de agua para fractura**

Actualmente, el agua para fractura se obtiene del río Neuquén (Foto 5.1; ver descripción en Cap. 4), mediante tres pozos (Toma N° 1: 10.000 m³/d), y de allí por un ducto de 10 km (10") hasta LC, el agua se deriva a una pilera de 10.000 m³ de capacidad, de donde cargan camiones (35 m³) que la distribuyen a las locaciones que cuentan con tanques móviles (80 m³). Se utilizan diariamente unos 3000 m³ de agua (durante los dos o tres días de operación), contando con unos 150 camiones que se movilizan diariamente hacia las locaciones. Los nuevos proyectos incluyen: toma agua N° 2 (17.000 m³/d), acueducto y pileta Loma Campana (20.000 m³); Pileta adicional LLLN y Red de distribución de agua para fractura.



Foto 5.1 Planta de abastecimiento de agua para HCNC del río Neuquén.
Foto: Sarandón, 2014.

- **Infraestructura de agua de retorno**

La separación de petróleo y agua se realiza actualmente en la Batería 3, en donde es transferida a un tanque (160 m³) de donde se la envía a la Planta de Inyección de Agua 2 (PIA 2). Allí se separa el petróleo que regresa a la Batería, mientras que el agua es reinyectada en dos pozos profundos (LLL-141 y LL-22), siendo el exceso derivado al pozo sumidero LLL-74. Las obras previstas incluyen conversión a operación trifásica de EPF 1 y 2; Acueducto LLN-LLL 74; EPF trifásica LC, LLLN y Planta de Tratamiento de agua de retorno (*Flowback*) (2000 m³/d; tanque: 3800 m³).

- **Infraestructura de gas**

El gas separado en cada EPF es conducido a las UPS (Unidades de Separación Primarias), en donde es comprimido y despachado hacia la planta de MEGA, en donde es tratado y reenviado a los ductos nacionales. Las mejoras proyectadas incluyen: anillo de baja presión (vinculación PSP 14 con el resto) y ampliación de compresión USP14.

- **Infraestructura de energía eléctrica**

Actualmente se compra energía a la EPEN (Empresa Provincial de Energía del Neuquén), que alimenta en 33 kV al Centro de Distribución (CD-LLN), del cual se desprenden distintos tramos distribuidores que alimentan distintos equipamientos (USP, plantas, pozos) y familias de comunidades mapuches. Los proyectos de mejora incluyen el montaje de una central de motogeneración, el tendido de 47 km de línea aérea de 13,2 kV y la instalación de transformadores reductores (13,2 kV a 0,380 kV). El trazado de las líneas ha sido minimizado, y se han evitado la apertura de pistas de servicio (minimizando los desmontes y movimiento de suelo). Las mejoras permitirán alimentar distintas instalaciones: la EPF3, las Oficinas NOC, la Planta de lodos, las piletas de agua LLLN, el repositorio, almacenes y la nueva PTC.

- **Infraestructura de tratamiento de residuos sólidos**

Actualmente, el tratamiento de los residuos de perforación (residuos de suelos, *cuttings*) y de limpieza de tanques se realiza en el Repositorio de Bajo Añelo. Este repositorio, de 2000 m² x 2,50 m de profundidad, se encuentra en un área de 6 ha, especialmente acondicionado, siendo utilizado para la disposición transitoria de recortes de perforación y suelos con hidrocarburos. El repositorio cuenta con cercado perimetral, seguridad, ahuyenta aves, y es monitoreado en forma permanente. Algunos residuos son tratados localmente (recortes base agua y suelos con

hidrocarburos), mientras que otros (base oleosa) son derivados a la planta de tratamiento del Parque Industrial del Neuquén. Las mejoras proyectadas incluyen la instalación de una Planta de Tratamiento de *Cuttings* para afrontar el incremento previsto en el proyecto (73.000 m³/año), que incluye complementariamente una Planta de Preparación de Lodos.

- **Instalaciones auxiliares**

Corresponden a la Etapa I del Proyecto del Centro Logístico Loma La Lata Norte, que contempla la construcción y montaje de las siguientes instalaciones: Almacén (acceso, estacionamiento, enfermería, galpones, depósito a cielo abierto, piletas transportables, recinto de rezagos); Estación de Servicio Móvil (unidades de despacho, tanques); Silos para acopio de arena de fractura (almacenamiento, carga/descarga, ampliación); Oficinas (acceso, estacionamiento, oficinas, comedor, esparcimiento, gimnasio, dormitorios, edificio de sistemas y comunicaciones), y Planta de Tratamiento de Efluentes (cloacales, domésticos). En la Etapa II se incluye la Construcción y Montaje de vías férreas para el transporte de arenas de fractura y estación de carga/descarga, asociadas a los Silos de almacenaje.

En síntesis, los principales componentes del proyecto de explotación de no convencionales en Loma Campana y Loma La Lata Norte (Proyecto Loma Campana), existentes y proyectados (ver ubicación geográfica en Fig. 5.9), son los siguientes:

- Planta de Tratamiento de Crudo (16.000 m³ producción bruta/d con dos módulos en operación).
- Siete Baterías de Producción de Crudo (EPFs o Early Production Facilities).
- Unidades Separadoras Primarias de Gas (USP): USP14, USP 8 y USP4.
- Central Térmica de generación Eléctrica de 15 MW.
- Red de distribución eléctrica.
- Sistema integral de comando y telemetría.
- Red de ductos de Gas y Petróleo de unos 400 km.
- Captación y red de distribución de agua dulce para fractura.
- Planta de tratamiento de *flowback* o agua de retorno proveniente de la estimulación de pozos (fractura hidráulica).
- Planta de Tratamiento de *Cuttings*.
- Planta de Almacenamiento y Preparación de Lodos de perforación.
- Planta MEGA-Turboexpander.
- Cabecera de Bombeo.
- Centro Logístico, Transporte, Almacén y distribución de arena de fractura.
- Un edificio de oficinas para 200 personas.



Fig. 5.9 Ubicación geográfica de las instalaciones de superficie.
Fuente: YPF.

Locación

Esta etapa incluye el diseño y preparación del sitio de la plataforma, así como los caminos de acceso y la instalación de equipos y servicios.

Una vez definido el sitio de la perforación, se prepara la “locación”, desde donde se realiza toda la operación que incluye la estimulación hidráulica (ver Fig. 3.31: 195; Foto 5.2, ver descripción en Cap. 3). Previo al inicio de la preparación del sitio se realiza una inspección y verificación técnica por parte de la autoridad ambiental provincial.

El área de la plataforma es despejada, nivelada y se realizan accesos para el equipo que realiza la perforación, lo que permite el montaje de los equipos y todas las obras conexas necesarias para la misma (generadores de energía, instalaciones de manejo de fluidos de perforación, tráileres para personal, espacios para circulación interna de camiones, y para la terminación de los pozos). Se utilizan locaciones múltiples (180 x 150 m) que posibilitan varias perforaciones desde una misma plataforma, con distintos diseños (4 a 8 pozos por locación), aunque la más frecuentemente utilizada en la región es la locación de 4 pozos verticales desviados.

La preparación de la locación lleva unos 20 días, e implica el desmonte y movimiento de suelo en el área de la locación, requiriendo de equipos pesados (palas, motoniveladoras, topadoras, camiones, retroexcavadoras, etc.) y de camiones volcadores. Las actividades para la preparación de locaciones y caminos de acceso incluyen:

- Diseño de locación y accesos.
- Reconocimiento del sitio.
- Preparación de la locación y caminos de acceso.
- Plan de mantenimiento de caminos.

Los aspectos ambientales relevantes en esta etapa son:

- Modificación permanente del sitio. Cambio de las condiciones naturales y limitación en el uso y ocupación.

Los cuidados ambientales deben apuntar a:

- Minimizar la ocupación del terreno.
- Optimizar el diseño de los sitios de perforación.
- Controlar las emisiones, los efluentes y los residuos sólidos.
- Planificación territorial de los grupos de locación (*cluster*).

Perforación del pozo

Incluye el diseño de la operación, la perforación exploratoria y la de desarrollo (de semanas a pocos meses de duración), lo que permite evaluar la composición de la roca (“perfilaje”) y la capacidad productiva de la formación. El perfilaje permite, además, un mapeo detallado del subsuelo con toma de datos para ajustar la conformación del pozo y definir los sectores a aprovechar y a resguardar (acuíferos). Durante las tareas de perforación y terminación se movilizan unos 100 trabajadores por turno, ocasionando unos 40 viajes diarios de las combis.

Para la perforación se utiliza un tubo de acero con un trépano en el extremo. En el primer tramo del pozo se cementa la tubería con el fin de evitar filtraciones que pudieran contaminar los acuíferos superficiales (ver Cap. 3, sección III). Todos los fluidos utilizados son recuperados en tanques para su posterior tratamiento o reutilización, al igual que los sólidos y recortes de perforación (*cuttings*), para lo cual se utiliza el sistema de “locación seca”.

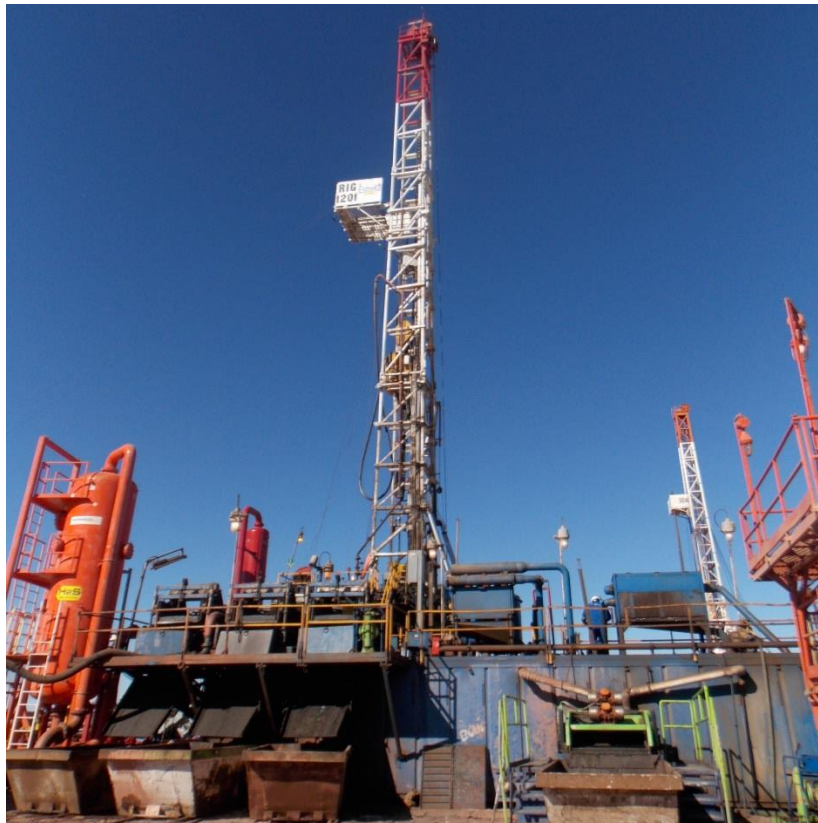


Foto 5.2 Torre de perforación de HCNC operando en la provincia del Neuquén.
Foto: Sarandón, 2014.

Según los informes internos consultados, se necesitan unos 28 a 30 días para la perforación vertical, y unos 50 días para una horizontal; con unos 17 a 19 equipos actuando simultáneamente en los primeros cinco años de la fase de desarrollo masivo, se prevé entre 115 y 212 pozos perforados por año (verticales u horizontales). Las tareas de perforación involucran equipos básicos de cinco personas en dos turnos por equipo (con 19 equipos en operación hace un total de 190 trabajadores). Se utilizan equipos de hasta 2000 HP, requiriéndose motogeneradores.

Las actividades involucradas en esta etapa son:

- Perforación de los pozos (verticales y horizontales).
- Generación de residuos sólidos (*cuttings*), semisólidos (lodos de perforación) y efluentes líquidos.
- Manejo y disposición de residuos sólidos especiales (*cuttings*).
- Manejo y tratamiento de efluentes líquidos.

Las tareas durante la perforación incluyen el desmontaje, transporte y montaje (DTM); el movimiento y transporte de equipos, materiales, combustibles y productos químicos; la preparación del lodo; la perforación del pozo; la instalación del BOP (Dispositivo de Prevención de Escapes, siglas del inglés: *Blow Out Preventer*), la entubación y el perfilaje.

Durante todo el proceso de perforación, terminación y producción, se realiza una gestión integral de residuos líquidos y sólidos. Para los efluentes cloacales generados en el campamento (20 m³/mes) se utilizan plantas de tratamiento, mientras que los residuos sólidos se clasifican según su naturaleza (biodegradables, plásticos, metálicos, vidrio o especiales) y fase de generación (construcción, perforación). Durante las operaciones, se generan unos 650 kg de residuos especiales (trapos con hidrocarburos, etc.) y 309 m³ de recortes de perforación. Los residuos de perforación (lodos) son tratados con el fin de remover los sólidos y retornarlo al pozo. Los sólidos (100 m³ base acuosa; 120 m³ base oleosa, por pozo) son enviados al repositorio de Bajo Añelo, para su almacenamiento transitorio hasta su tratamiento y disposición final en la planta de tratamiento planificada. Actualmente, se realizan dos tratamientos a los residuos con hidrocarburos: i) biodegradación en biopilas, y ii) desorción térmica. El tratamiento se realiza hasta cumplimentar con la normativa vigente, incluyendo la disposición final.

Terminación

Una vez completada la perforación, se coloca una tubería de acero que también es cementada ("*casing*") y se coloca un sistema de válvulas ("*árbol de navidad*"). Una vez instalado este dispositivo se procede al "punzado" que conecta el reservorio y permite que el petróleo y el gas fluyan hacia el exterior.

Para la terminación del pozo se utiliza un triple encamisado y triple cementado de la tubería para evitar el contacto de los fluidos a extraer (gas y petróleo) con eventuales acuíferos de potencial utilización y/o importancia como reserva de agua (ver Cap. 3, sección III; Fig. 3.19). Cada operación de entubado o encamisado y cementado conforma un sistema presurizado, individual e interconectado, que constituye una barrera e impide el intercambio de fluidos entre el interior y el exterior del pozo. El sector más sensible suele ser el superficial hasta una profundidad aproximada de 300 m, que es donde pueden cruzarse los acuíferos potencialmente útiles. Para cada tramo se utilizan cañerías diferentes: 9,5" a 8" en los primeros 350 m de profundidad, 7" hasta los 2.250 m y 5" hasta los 3.200 m.

Esta actividad es la más crítica de todo el sistema de explotación, ya que una falla en la terminación del pozo puede dar lugar a fallas en el efecto barrera y constituirse en una vía potencial de contacto entre los hidrocarburos y el medio exterior (agua, suelo). La mejor forma de evitar estas fallas es con un diseño adecuado, su correcta ejecución y prácticas de mantenimiento y supervisión periódica. Esto puede incluir pruebas de cementación en los sectores superficiales ("*a cement bond log*").

Una vez determinado el tramo de interés, entubado y comprobado la calidad de la cementación, se realiza el punzado o perforación del encamisado ("*casing*") y del cemento. Esta tarea utiliza técnicas de perforación explosiva dirigida que se activa desde la superficie. Una vez terminado el pozo, se reemplaza el Dispositivo de Prevención de Escapes (BOP: *Blow Out Preventer*) por un dispositivo (cabezal, "*wellhead*") que posee un sistema de control de válvulas y conexiones con el equipo de producción. Estos equipos de producción permiten la separación de gas, petróleo y agua sin pérdida de fluidos (herméticos). El gas puede ser venteado y quemado por un período, hasta que se define la tasa de producción y el sistema de conexión al gasoducto troncal, luego de lo cual queda dentro del sistema hermético de conducción de gases.

Las actividades involucradas en esta etapa son la generación de residuos (sólidos, líquidos). Se recomienda asegurar la correcta terminación del pozo, para lo cual puede ser necesario realizar una inspección y certificación de la terminación. Se recomienda realizar la limpieza y gestión integral de residuos (sólidos, líquidos).

La terminación implica el desmontaje, transporte y montaje (DTM), los montajes generales o complementarios y el punzado (terminación). En este capítulo, siguiendo a King (2013), se ha decidido mantener separada la operación de fractura hidráulica como una etapa específica e individualizada (ver a continuación).

Fractura

La fractura hidráulica consiste en inyectar agua, arena y aditivos químicos a presión en el pozo con el fin de generar fisuras en la roca generadora, reabrir el sistema de poros y conectarlos con el objetivo de conformar canales artificiales para la migración de los hidrocarburos atrapados en la roca (gas, petróleo; ver desarrollo detallado en el Cap. 3). El agua que retorna a la superficie es almacenada, tratada si corresponde, para su posterior reutilización y/o disposición final.

Esta actividad incluye el diseño y planificación de la fractura hidráulica y su ejecución. El diseño requiere análisis y modelación por computadora, experiencia local y especificaciones del volumen de la fractura (altura, longitud, ancho). Las pruebas piloto, el uso de trazadores, el análisis de microsismicidad, contribuyen a ajustar el modelo de fractura con el objeto de optimizar el flujo de hidrocarburos de la zona de explotación ("*pay zone*").

El consumo, transporte y acopio del agua (dulce o salobre), de la arena y de las sustancias químicas utilizadas como aditivos, así como el movimiento de los equipos y del personal constituyen las principales actividades en superficie. Según los informes consultados, el consumo de agua para esta actividad se ha reducido de 2500 a 1000 m³ promedio de agua por etapa de fractura, mientras que el consumo de arena de fractura es de 140 a 260 t por cada etapa de fractura. Los equipos utilizados incluyen equipos de fractura (motobombas, mezcladores), "*Coil tubing*" (lavado de pozo, rotado de tapones) y "*Wire line*" (perfilaje,

punzado). Para la operación se suelen utilizar unas 15 motobombas (de 500 HP) por etapa, manejando presiones de entre 9500 y 15.000 psi. El movimiento de camiones por pozo para el traslado de agua, arena, combustibles, equipos de motobomba y agua de retorno, implica un total de 400 viajes por pozo.

La mezcla del agua, arena y aditivos, previo a su bombeo a presión dentro del pozo, requiere un cuidadoso manejo para evitar derrames o pérdidas. Los equipos disponibles contribuyen a facilitar el control de esta operación. El riesgo de derrames de sustancias químicas puede minimizarse utilizando doble contención, tanques a prueba de choques o aditivos secos (en polvo). La aplicación de medidas de prevención y control, así como el seguimiento y monitoreo, contribuyen a evitar o minimizar pérdidas, derrames o accidentes en el manejo del agua de inyección. La pérdida de sustancias es mínima, ya que los aditivos son incorporados al agua en el momento de su inyección y bombeo dentro del pozo. El manejo de los aditivos es una de las principales preocupaciones ambientales en esta actividad, que va disminuyendo a medida que se incrementa el uso de productos menos peligrosos (no tóxicos).

Algunas actividades asociadas a esta actividad son:

- Movimiento e instalación de equipos y personal. Estimulación hidráulica con agua y aditivos a presión.
- Consumo, transporte, acopio y manejo de agua, arena y aditivos (sustancias químicas).
- Manejo (recuperación, reúso), tratamiento y disposición final del agua de retorno (*flowback*).
- Manejo precautorio de sustancias y productos especiales.
- Planes de seguimiento, monitoreo ambiental y contingencia. Monitoreo de microsismicidad.

En EE.UU. existe un sitio oficial (<http://www.fracfocus.org/>) en el que se informa sobre cuidados asociados a la perforación y a los productos químicos utilizados por las distintas compañías que operan en ese país. El sitio permite identificar los compuestos químicos y acceder a la información técnica disponible en la cartilla individual (CAS: *Chemical Abstract Sheet*).

La composición del fluido que se inyecta en el pozo suele incluir (Cap. 3; King, 2013):

- Agua (98 a 99%), comúnmente agua dulce, con creciente utilización de agua de reúso tratada.
- Arena (*Proppant*) (1 a 1,9%), o partículas cerámicas para mantener abiertos los canales generados por la presión hidráulica.
- Reductor de fricción (aprox. 0,025%), la forma no ácida de poliacrilamida (no es acrilamida), que se suele utilizar en los pañales de bebés y como floculante de agua potable.
- Desinfectante (biocida) (0,005 a 0,05%), glutaraldehído, comúnmente utilizado en hospitales y sistemas de tratamiento de agua municipal, utilizado para controlar el crecimiento de microbios que pueden degradar los fluidos o producir gases (H₂S o sulfuro de hidrógeno). Se están probando otros métodos (luz UV, ozono, etc.) como biocidas.
- Además se incorporan eventualmente surfactantes (0,5 a 2 litros por m³ de fluido); gelificantes (goma guar, polímeros de celulosa); inhibidores de sarro o incrustaciones (polímeros, éster de fosfato); ácido clorhídrico (utilizado en piscinas, limpieza de ladrillos) que al mezclarse con el agua se combina con el calcio no

retornando a la superficie como tal (lo que retorna es reinyectado, a diferencia de lo que ocurre con las piscinas que vuelcan al sistema cloacal municipal); inhibidores de corrosión (0,2 a 0,5%), compuesto orgánico potencialmente tóxico que se utiliza si se incorpora el ácido, adsorbiéndose en el caño de hierro.

Los aditivos químicos que regresan a la superficie con el agua de retorno (*flowback*), contienen concentraciones muy inferiores a las del agua de ingreso debido a la desnaturalización, descomposición, degradación por absorción en el subsuelo. Eventualmente, el agua de retorno puede ser reutilizada en otros pozos.

La fractura hidráulica propiamente dicha es producida por el bombeo a presión del fluido (agua, arena y aditivos) desde la superficie hacia la zona de interés (*pay zone*). Tanto la cantidad de etapas de fracturación hidráulica como el consumo de agua son muy variables. La cantidad de etapas de fractura es de 4 a 5 en un pozo vertical, y de 8 a 10 en un pozo horizontal. Dependiendo del diseño del pozo, cada operación de fractura puede durar de 20 minutos a 4 horas, requiriendo actualmente entre 800 y 1200 m³ de agua, pudiéndose realizar unas 2 a 4 etapas por día (King, 2013). En la zona de estudio (según informes de YPF), un pozo vertical desviado “tipo” con 5 etapas de fractura, utiliza actualmente unas 1200 t de arena y 6000 m³ de agua. Las simulaciones realizadas en el Capítulo 3 asumen para pozos verticales, considerando cuatro etapas de fractura, una demanda de 5000 m³ de agua, mientras que para los pozos horizontales se estiman 15 etapas de fractura, con una demanda de 17.500 m³ de agua.

Esta presión genera la ruptura de la roca y la interconexión de los poros existentes permitiendo el flujo del gas y del petróleo hacia el exterior (Cap. 3). La fractura de la roca (Foto 5.3) genera una red compleja de canalículos, cuya forma y dimensiones varía de pozo a pozo, y que se extienden en el seno de la roca, en general no más de 100 a 150 metros desde el punto de fractura cuando no existen rocas superiores que actúen como barreras (Cuadro I).

Durante la operación de fractura se realizan registros mediante geófonos para monitorear el avance de la misma a través de los microsismos que se generan (Cap. 3). Los mismos son de magnitud tan baja (-2.5 ML) que no se permite el movimiento de vehículos en adyacencias a la locación para posibilitar su registro. En la zona de estudio, la longitud de las fracturas en pozos verticales es de entre 80 a 150 m, mientras que en pozos horizontales es de 20 a 50 m (Cap. 3).



Foto 5.3 Modelo de ruptura por fractura hidráulica. (Tomada de King, 2013.)

El objetivo de la fractura hidráulica es incrementar la permeabilidad que permita el flujo de los HC (gas y petróleo) de una gran porción del reservorio hacia el pozo de extracción. La

operación de fractura hidráulica, realizada en un pozo bien hecho, representa la acción menos riesgosa en el desarrollo de un pozo (King, 2013), especialmente en pozos profundos (más de 700 m). En EE.UU., la mínima profundidad a la que es relativamente segura y factible la fractura hidráulica está definida por regulaciones estatales (King, 2013). Las mismas se basan en estudios de los riesgos geológicos (presencia de fallas, etc.) y la presencia de barreras efectivas a la expansión de las fisuras generadas (mantos de rocas resistentes). Si el pozo no está bien terminado, puede generarse una comunicación a través del borde externo del mismo (“anillo exterior” o “annulus”), generando un riesgo potencial. Esto es especialmente importante, requiriendo una evaluación específica, en aquellos casos en que el área de interés se encuentre a menos de 300 m de acuíferos superficiales. En este contexto, sería deseable contar con mapas de zonificación del territorio en función del riesgo hidrogeológico, así como acuerdos sobre buenas prácticas y regulaciones específicas.

Producción

El pozo inicia finalmente su producción cuando el petróleo y el gas fluyen hacia la superficie y son almacenados o conducidos por tuberías hacia los centros de procesamiento. Suele realizarse un ensayo de pozo (48 horas), para lo cual se coloca el “árbol de surgencia o Navidad”, que permite medir la velocidad ascensional de los hidrocarburos junto con el agua de retorno. El agua debe ser separada y tratada antes de su disposición o vuelco final según las normativas vigentes, pudiendo ser reutilizada o reinyectada en pozos sumideros quedando, de este modo, confinada.

El retorno del fluido de fractura (agua de retorno o *flowback*) se produce en las primeras dos a tres semanas después de la operación, variando entre 5 y un 50% del inyectado, a partir de lo cual se inicia la producción de gas (King, 2013). En la zona de estudio, y según los informes técnicos internos consultados, el volumen de retorno oscila entre un 30 y un 70%, llegando a 170 m³ promedio por día. La composición del agua puede ser similar al agua inyectada, con agregado de sales y otros compuestos presentes en la roca en función del proceso petrogénico. En la zona de estudio se realizan los análisis físico-químicos del agua de retorno a fin de cumplir con las normas vigentes. Respecto de la presencia de materiales radiactivos naturales (NORM, en inglés), los estudios realizados en la zona no indican presencia detectable en el agua de retorno.

La producción puede incluir frecuentemente gas, petróleo y agua pudiendo contener trazas de sólidos (incluyendo “rust” u óxidos, barros de perforación, fragmentos de la formación y materiales orgánicos). La operación de producción es generalmente automatizada, con sensores de temperatura y presión y monitoreo de la producción. Compresores de gases pueden quedar en la locación, pudiendo generar un nivel de ruido conflictivo en cercanía a áreas pobladas, los que pueden controlarse con medidas específicas (barreras, diseño, equipos, etc.).

Cuadro I: Dimensiones de la fractura hidráulica

Una de las cuestiones ambientales planteadas en relación con la fractura hidráulica se relaciona con la posibilidad de que las fisuras generadas en profundidad se extiendan o migren a través de la roca hasta ponerse en contacto con acuíferos de agua dulce. A tal fin, se presenta la Fig. 5.10, tomada de un artículo de Kevin Fisher (Pinnacle, Halliburton Co., "American Oil and Gas Reporter" (julio, 2010), y reproducida en <http://www.fracfocus.org>. En la misma, se han graficado los datos de mediciones directas (microsísmica), permitiendo el mapeo espacial de las fisuras generadas en miles de operaciones de fractura hidráulica efectuadas en Barnett Shale (Fort Worth Basin, Texas, EE.UU.).

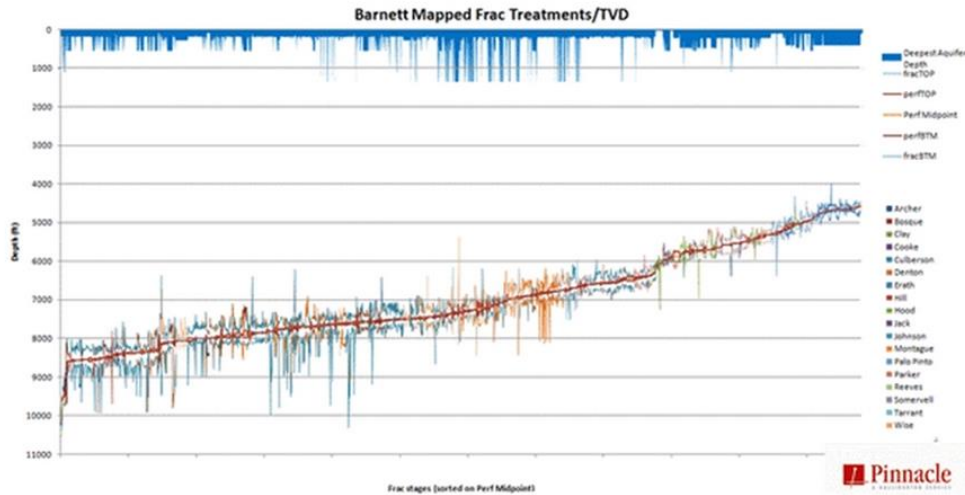


Fig. 5.10 Mediciones (microsísmica) de operaciones de fractura hidráulica. (Fisher, 2010, en www.fracfocus.org)

El gráfico representa el piso y techo de las fisuras para las operaciones de fractura realizadas desde 2001. La profundidad se presenta en pies (1 pie = 0,30 m). Tal como puede observarse, la profundidad de los puntos de fractura (línea roja central) se encuentra entre los 5000 y 9000 pies (1700 a 3000 metros de profundidad); la extensión de las fracturas llega excepcionalmente a los 3000 pies (1000 m), siendo en general menor a 1000 pies (300 m). En todos los casos, los pozos de agua más profundos (líneas azules desde superficie, datos de la USGS) quedan muy lejos (miles de m de profundidad) de eventuales efectos por contacto con las fisuras generadas en la fractura hidráulica.

En el caso específico de la Fm. Vaca Muerta (provincia de Neuquén), la profundidad del reservorio se encuentra a unos 3000 m de profundidad, resultando prácticamente imposible que las fisuras generadas por fractura hidráulica alcancen los 300-400 m, que es la máxima profundidad de los acuíferos de la zona. En consecuencia, puede afirmarse que, en estos casos, el riesgo de que la operación de fractura hidráulica genere contaminación de los acuíferos es prácticamente nulo.

Fuente:

<http://www.fracfocus.org/hydraulic-fracturing-how-it-works/hydraulic-fracturing-process>

En las áreas del proyecto, el agua de retorno se conduce actualmente a un dispositivo que extrae los hidrocarburos, y cuyo efluente se dispone en pozos de inyección profunda (Formación Centenario, 1.200 a 2.100 m de profundidad). En el futuro, la producción bruta será enviada a la Planta de Tratamiento de Crudo (PTC), de la cual el agua se enviará a una planta de tratamiento para la remoción de sólidos y eliminación de Ca, Mg y Ba.

Según los estudios consultados, en los 35 años de vida del proyecto, la producción total de gas estimada es de 28 millones de m³ y 620 Mbl de petróleo. Siendo la producción de crudo por pozo de 293.000 b en pozo vertical y 585.000 b en pozo horizontal, y 300 m³/m³ GOR (que se refiere a la relación entre gas y petróleo). Las producciones de petróleo calculadas en el Capítulo 3 son de 230.000 b en pozos verticales y 414.000 b en pozos horizontales. Si se suma el gas asociado, los resultados serían de 260.000 boe y 517.000 boe, respectivamente.

Las actividades involucradas en esta etapa incluyen el ensayo de pozo, el tendido y operación de líneas de conducción, y el tendido y operación de líneas eléctricas (estas últimas se han incluido en el punto C: Desarrollo de infraestructura).

Se incluye, en esta etapa, el transporte, procesamiento y utilización de los hidrocarburos producidos (gas, petróleo). El gas que se extrae del pozo es procesado, con el fin de extraerle el agua y separarlo en sus componentes (gas líquido de petróleo, metano, propano, butano). Luego se transporta por ductos o en camiones, desde cada locación hacia los centros de procesamiento, y posteriormente a los centros de consumo doméstico o industrial. El transporte puede requerir el uso de equipos de producción (calentadores), que colaboran con el proceso de transporte hacia los colectores concentradores.

Las actividades involucradas en esta etapa incluyen la extracción, acondicionamiento, transporte y acopio de gas y petróleo. El aspecto ambiental más relevante es la generación esporádica de residuos (sólidos, líquidos) durante el mantenimiento, y la prevención y gestión de contingencias (accidentes). Los cuidados incluyen la gestión integral de residuos, el seguimiento y control de instalaciones (mantenimiento), el monitoreo ambiental a escala regional (aguas subterráneas, cobertura vegetal, fauna, producción, población), la restauración de las áreas de locación (adyacencias) y la implementación de planes de contingencia ambiental.

Abandono

Una vez agotado el pozo, incluyendo eventuales instancias de recuperación secundaria del mismo, debe procederse a su cierre y abandono, lo que, para el caso de los nuevos pozos de HCNC no ocurrirá hasta dentro de unas décadas. Esta etapa se realiza actualmente según procedimientos regulados (Resolución N° 5/96 de la Secretaría de Energía de la Nación). En esta etapa se utilizan tapones de cemento, remoción de estructuras superficiales, restauración ecológica del sitio de locación (revegetación), limpieza general, remoción de residuos sólidos e identificación de la situación ambiental remanentes. En estas ocasiones se deben tomar recaudos ante la ocurrencia de ciertos accidentes, como derrames de combustibles, así como escapes de gases o accidentes viales.

Síntesis de los aspectos ambientales del desarrollo de HCNC

En la Tabla 5.1 se han sintetizado los aspectos ambientales (incluyendo impactos y riesgos) y los cuidados (medidas de prevención, mitigación o control) aplicables a cada etapa del aprovechamiento de los HCNC identificada y analizada. Es de destacar que la mayoría de los aspectos son controlables con adecuadas medidas técnicas o de gestión, tomando en consideración o aplicando estrictamente las guías de buenas prácticas existentes (CFI, 2007.a; 2007.b). De hecho, los cuidados ambientales constituyen la base para la elaboración de las guías de buenas prácticas ya que se orientan a especificar las condiciones y requisitos que deben tenerse en cuenta en cada etapa de desarrollo de un proyecto de explotación de HCNC. Claro está que se requiere profundizar cada una de las medidas hasta alcanzar detalles técnicos que permitan su control por parte de la autoridad ambiental.

Etapa	Descripción actividad	Aspecto ambiental	Cuidados (medidas)
Preparación	Tareas de planificación y diseño ingenieril del proyecto. Análisis de factibilidad integral (técnica, económica, ambiental y social).	Estudios de evaluación ambiental (factibilidad ambiental, social). Elaboración de Línea de Base Ambiental (LBA) a escala regional. Solicitud de permisos y certificados. Información y difusión.	Planificar aspectos ambientales y sociales (priorizar). Relevar normas ambientales. Identificar áreas sensibles, elementos naturales y grupos humanos vulnerables. Difundir el proyecto con información precisa. Contacto con autoridades locales, pobladores y grupos de opinión.
Exploración	Movimiento de maquinaria, equipos y personal.	Alteración temporaria del entorno ecológico (natural), productivo (usos del suelo) y social (costumbres, tradiciones).	Minimizar alteración del ecosistema (vegetación, fauna, paisaje) y usos actuales (productivas, recreativas, comunitarias). Controlar ruidos, tratar efluentes y gestionar residuos sólidos.
Infraestructura	Desarrollo de la infraestructura regional.	Diversos aspectos asociados a la adecuación (planificación, construcción y operación) de la infraestructura regional (rutas, caminos internos, acueductos, energía eléctrica, plantas de tratamiento, etc.).	Cuidados ambientales durante construcción y operación de infraestructura de servicios. Permisos e información a propietarios y usuarios. Análisis de factibilidad ambiental y social.
Locación	Diseño de locación y accesos. Preparación de plataforma, instalación de equipos y servicios.	Modificación permanente del predio. Cambio de las condiciones naturales, y limitación del uso y ocupación.	Minimizar ocupación del terreno. Optimizar sitios de perforación. Controlar emisiones, efluentes y residuos. Planificación territorial de los grupos de locación (<i>cluster</i>). Prever tareas de restauración y recomposición ambiental.
Perforación	Perforación de los pozos (verticales y horizontales).	Generación de residuos sólidos (<i>cuttings</i>), semisólidos (lodos de perforación) y efluentes líquidos y emisiones fugitivas gaseosas. Incidentes y accidentes con consecuencias ambientales.	Manejo y disposición de residuos sólidos especiales (<i>cuttings</i>). Manejo y tratamiento de efluentes líquidos. Monitoreo y control de emisiones fugitivas. Prevención y respuesta ante contingencias ambientales.
Terminación	Terminación del pozo: encamisado (<i>casing</i>) y cementado de la tubería (<i>pipe</i>). Punzado.	Generación de residuos (sólidos, líquidos). Asegurar correcta terminación y supervisión del pozo. Incidentes ambientales.	Inspeccionar y certificar terminación. Limpieza y gestión integral de residuos (sólidos, líquidos). Prevención y respuesta ante contingencias ambientales.
Fractura	Movimiento e instalación de equipos y personal. Estimulación hidráulica con agua, arena y aditivos a presión.	Consumo, transporte, acopio y manejo de agua, arena y aditivos (sustancias químicas). Manejo (recuperación, reúso), tratamiento y disposición final del agua de retorno (<i>flowback</i>).	Manejo precautorio de sustancias y productos especiales. Gestión integral de aguas de retorno. Planes de seguimiento, monitoreo ambiental y contingencia. Monitoreo microsismicidad.
Producción	Extracción, acondicionamiento, transporte y acopio de gas y petróleo.	Generación esporádica de residuos (sólidos, líquidos) durante mantenimiento. Prevención y gestión de contingencias (incidentes, accidentes).	Gestión integral de residuos. Seguimiento y control de instalaciones (mantenimiento). Monitoreo ambiental a escala regional (aguas subterráneas, cobertura vegetal, fauna, producción, población). Restauración áreas de locación (adyacencias). Planes de contingencia ambiental.
Abandono	Cierre del pozo, limpieza de la locación, remoción de equipos, tuberías y residuos sólidos.	Generación de residuos. Accidentes (derrames). Generación de eventuales pasivos ambientales.	Evaluación de la situación ambiental. Restauración ecológica. Seguimiento y monitoreo ambiental.

Tabla 5.1 Síntesis de los aspectos y cuidados ambientales por etapa del desarrollo HCNC.
Fuente: Elaboración propia.

Existen algunos aspectos vinculados con la geología o las características del sitio que pudieran incrementar los riesgos ambientales (fracturas geológicas, etc.), y que requieren ser analizadas y mapeadas previo al inicio de las actividades en un área. Sin embargo, debe recordarse que las mismas condiciones que han permitido que el gas y el petróleo hayan quedado atrapados en estos reservorios no convencionales son las que aseguran las menores probabilidades o riesgos de ocurrencia de incidentes que pudieran permitir que el gas o los fluidos migren hacia la superficie y entren en contacto con algún acuífero superficial. Los reservorios superficiales o asociados a fallas geológicas que penetran hasta la superficie son casos especiales que deben ser estudiados y mapeados a fin de evaluar la factibilidad de su intervención para desarrollar los HCNC. La exploración 2D y 3D es un buen instrumento para el mapeo de las eventuales fallas geológicas que pudieran ocurrir y ajustar la estrategia, localización y diseño de la perforación.

El análisis de los incidentes en la operación de pozos, que han ocasionado algún conflicto ambiental, indica que, en un período de 26 y 16 años (estados de Ohio y Texas, EE.UU.; King, 2013) sólo tuvieron complicaciones entre 3 y menos de 1 por mil de los pozos, siendo la mayoría relacionados con la perforación y terminación de los pozos (cementación), la producción y la disposición de agua de retorno. En ningún caso se verificó un incidente en relación con la operación de fractura en sí misma. En consecuencia, toda medida que asegure una correcta perforación y terminación del pozo, cuidados en el transporte de los HC y la disposición o tratamiento del agua de retorno reduciría drásticamente los riesgos ambientales asociados a este desarrollo. Debe tenerse en cuenta que estas estadísticas corresponden a otras regiones, por lo que deben ser contrastadas con la situación existente localmente y con los resultados que se obtengan de la práctica de perforación para la explotación de recursos de HCNC. Por otro lado, esta información es válida no sólo para el desarrollo de los HCNC, sino también para la explotación de los recursos hidrocarbúricos convencionales.

Un aspecto importante en relación con los temas ambientales se refiere a las contingencias o riesgos asociados a incidentes o accidentes con consecuencias ambientales. En gran medida, esto depende de la gestión de higiene y seguridad de las empresas involucradas. Al respecto, sería oportuno y necesario exigir a las empresas que lleven adelante el desarrollo de los HCNC la obligación de contar con un Sistema de Gestión de Seguridad, Ambiente, Calidad y Salud Ocupacional para todas sus operaciones y actividades en el marco de procedimientos de certificación internacional (ISO 9001; ISO 14.001; OSHAS 18.001) o similares.

Análisis de las consecuencias ambientales estratégicas

El análisis ambiental de las actividades relacionadas con el desarrollo de un proyecto de HCNC, que fuera realizado sobre la base de la información suministrada por las propias empresas, permite identificar los aspectos y cuidados ambientales puntuales y directamente relacionados con las actividades que se realizan en cada una de las etapas del desarrollo de un proyecto de HCNC. Estas actividades y sus consecuencias directas suelen estar incluidas, descriptas y analizadas en los estudios de impacto ambiental que cada empresa debe presentar a la autoridad de aplicación en el marco de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA).

Sin embargo, hay numerosas empresas que en distintos lugares realizan más o menos simultáneamente estas actividades en la zona de estudio, generando efectos de naturaleza acumulativa e indirecta. Estas consecuencias ambientales (impactos o riesgos), que no son

objeto de análisis en el marco de las EIA mencionadas, y que denominaremos “estratégicas”, pueden analizarse según el componente ambiental afectado con el objeto de definir las medidas ambientales necesarias para su manejo. Los impactos indirectos son aquellos causados por efecto o derivación secundaria de acciones propias de la actividad. Por ejemplo, la demanda de mano de obra (efecto directo) genera migración hacia los centros poblados, con demanda de servicios (vivienda, alimentación, salud) que ocasiona un incremento en la demanda, una limitación relativa en la oferta o disponibilidad, y por ende en el costo de vida local (todos éstos, impactos indirectos). Por su parte, los impactos acumulativos son aquellos que se derivan de un conjunto numeroso de efectos directos que confluyen en tiempo o espacio. Por ejemplo, el incremento de la actividad en el área implica un mayor número de vehículos, equipos pesados y camiones que ocasionan congestión en el tránsito, deterioro de los caminos y un incremento en los costos de mantenimiento de rutas y caminos que deben solventar tanto la provincia como los municipios afectados.

A continuación, se analizan las principales consecuencias ambientales estratégicas (impactos y riesgos) del proyecto de desarrollo de HCNC. Primeramente se identifican aquellos impactos de naturaleza positiva (beneficios del proyecto), posteriormente se identifican y analizan las consecuencias ambientales negativas. En una sección a específica se analizan las consecuencias ambientales (impactos y riesgos) asociados a la actividad de fracturación hidráulica. Se ha considerado la situación a escala regional, prestando atención especialmente a aquellos impactos indirectos y de naturaleza acumulativa, así como a los riesgos ambientales y sociales.

Beneficios asociados al proyecto de HCNC en la región

Existe un conjunto de consecuencias ambientales positivas derivadas directa o indirectamente del proyecto de desarrollo de los HCNC, las que deben ser reconocidas como parte del análisis costo-beneficio del proyecto o actividad. Varios estudios internacionales reconocen varias consecuencias ambientales positivas de la explotación de los HCNC (USEPA, 2004; Howarth *et al.*, 2011; Rahm & Riha, 2012; RS &RAE, 2012; Hoffman *et al.*, 2014), así como nacionales (ANI, 2013). Entre los principales beneficios ambientales, en sentido amplio (incluyendo el medio natural y socioeconómico), del proyecto de desarrollo de HCNC en la región pueden mencionarse:

- Incremento en la disponibilidad de recursos hidrocarburíferos a largo plazo a escala nacional (autoabastecimiento, independencia energética).
- Incremento de inversiones a escala regional, a largo plazo y diversificada.
- Disminución de costos de producción, incremento de inversiones, mejora de la economía regional y nacional.
- Demanda de mano de obra (diversificada), demanda de productos (tubos, equipos, suministros varios) y servicios (industriales, profesionales, ambientales). Según estimaciones, en la región existen más de 3400 trabajadores que proveen servicios al proyecto de HCNC.
- Aprovechamiento de la infraestructura disponible a escala regional y nacional (petroquímica).
- Aprovechamiento de las instalaciones (gasoductos), y equipamientos industriales y domésticos de funcionamiento a gas (calderas, calefacción, cocinas, transporte con GNC, etc.) a escala nacional.
- El incremento del uso del gas tiene además importantes efectos ambientales positivos (respecto del uso de combustibles sólidos o líquidos) asociados a la disminución de las emisiones de dióxido de carbono, por lo que se emiten menores gases de efecto

invernadero (GEI) a la atmósfera, siendo menos impactantes sobre el cambio climático global.

Además de las actividades directamente relacionadas con la perforación y producción de HCNC, existen numerosos servicios de apoyo, administración, consultoría, investigación, servicios profesionales, etc., que representan parte de la inversión en Investigación y Desarrollo de las empresas que se involucran en el desarrollo de los HCNC, y que repercuten tanto a una escala local como a una regional (e incluso nacional). Junto con la compra de equipos, infraestructura, transporte, mantenimiento, seguridad, regalías, etc., conforman una importante actividad que provee de recursos económicos para el desarrollo local y regional (servicios educativos, salud, etc.).

Cuestiones ambientales asociadas al proyecto de HCNC en la región

El desarrollo de los HCNC implica un conjunto de actividades que pueden modificar las condiciones del ambiente natural y socioeconómico a una escala regional, generando consecuencias ambientales tanto de naturaleza positiva como negativa. Las consecuencias positivas ya se han mencionado en el punto anterior, quedando para su análisis aquellas de carácter negativo que requieren ser analizadas y para las cuales debe asegurarse la implementación de estrategias y acciones de mitigación que constituyen las denominadas medidas ambientales.

Es necesario aclarar que, las consecuencias negativas de una actividad pueden derivarse de acciones planificadas como parte del desarrollo normal de un proyecto (impactos) o como fruto de contingencias o accidentes que pueden tener consecuencias ambientales negativas (riesgos). Por ejemplo, el movimiento de tierra o sustancias químicas por medio de camiones genera incremento de emisiones gaseosas provenientes del consumo de combustible, que tiene un impacto sobre la calidad del aire. La importancia del impacto dependerá de la cantidad de camiones que se necesiten, de la distancia a recorrer y de la presencia de población cercana a la ruta. Hay medidas ambientales que pueden aplicarse para minimizar este impacto, como ser, utilizar camiones en buenas condiciones técnicas, minimizar el recorrido o planificar rutas menos conflictivas. Por el contrario, si un camión con tierra o sustancias químicas tiene un accidente y vuelca parte de su carga al suelo o a un cuerpo de agua, se produce un evento que tiene consecuencias sobre la calidad del suelo o del agua. La posibilidad de que ocurra un accidente con consecuencias ambientales es lo que se denomina riesgo ambiental, para lo cual es necesario prever medidas de contingencia, las que pueden ser preventivas (velocidades máximas, transporte de sustancias en contenedores sellados, etc.), y reactivas (cuadrillas entrenadas para controlar y remediar el daño ambiental).

El desarrollo de nuevas tecnologías, como la fracturación hidráulica, supone un proceso en el cual se van ajustando los equipos y operaciones a fin de mejorar la eficiencia, la seguridad y el desempeño ambiental. En la medida que se apliquen las medidas apropiadas, los impactos y riesgos ambientales asociados a una nueva tecnología pueden ser efectivamente controlados. Como ejemplo, se puede mencionar lo ocurrido con los vehículos que utilizan GNC (Gas Natural Comprimido) en lugar de los combustibles líquidos (nafta), que han mostrado un importante crecimiento en el parque automotor argentino en la última década. A fin de minimizar los riesgos inherentes al uso de GNC se han implementado un conjunto de medidas que incluyen, entre otras, equipos certificados con obleas, talleres autorizados para su instalación, estaciones de carga de GNC especiales y sistemas de seguridad que incluyen comportamientos específicos (como la prohibición de permanecer dentro del vehículo durante la carga del tanque en estaciones de servicio). Todas estas medidas han determinado que los

operadores y usuarios de este sistema no perciban un mayor riesgo, y que no se hayan observado mayores accidentes vinculados con este sistema. Esto implica que con la aplicación adecuada de las medidas tecnológicas, de operación y control pueden minimizarse los riesgos asociados a nuevas tecnologías. El desarrollo de los HCNC implica, esencialmente, una situación similar, ya que utiliza tecnología más compleja que viene siendo desarrollada desde hace décadas y cuyos niveles de seguridad, eficiencia y desempeño ambiental vienen mejorando notablemente. La viabilidad ambiental de este paquete tecnológico requiere de una cuidadosa aplicación de medidas ambientales tendientes a prevenir o mitigar los impactos y riesgos ambientales.

El análisis de las principales consecuencias ambientales vinculadas con el proyecto de desarrollo de los HCNC en el área de estudio permite agruparlas en cuatro categorías (Tabla 5.2). Primeramente se analizarán las consecuencias ambientales y en la siguiente sección se analizarán y desarrollarán las medidas ambientales.

CATEGORÍA	ASPECTO AMBIENTAL
Medio abiótico y calidad ambiental.	1. Asociado a la calidad del agua. 2. Asociado a la calidad del aire. 3. Asociado al manejo de residuos sólidos. 4. Contingencias asociadas a condiciones locales.
Ecología y recursos naturales.	5. Disponibilidad y uso del agua. 6. Ecosistemas locales. 7. Patrón de uso y ocupación del territorio.
Bienestar y costumbres de la población.	8. Contexto social y cultural. 9. Congestión por tránsito. 10. Deterioro de infraestructura vial. 11. Demanda de gestión de residuos sólidos. 12. Demanda de inversiones para el desarrollo local. 13. Alteración de las relaciones económicas en los sistemas productivos de la región. 14. Riesgos al patrimonio cultural, histórico, paleontológico, etc.
Cuestiones regionales e institucionales.	15. Demanda de controles ambientales. 16. Demanda de desarrollo tecnológico. 17. Accesibilidad a zonas en litigio. 18. Consolidación del uso de combustibles fósiles en la matriz energética.

Tabla 5.2. Consecuencias ambientales del proyecto de HCNC por categoría.

A continuación, se brinda una breve descripción de cada uno de los aspectos ambientales, indicándose la tipología (impacto o riesgo, indirecto, acumulativo), una valoración referida a la importancia de aplicar medidas ambientales y una estimación del área de influencia o extensión espacial.

a) Medio abiótico y calidad ambiental.

Se incluyen aquellas consecuencias ambientales (impactos y riesgos) generadas por episodios de contaminación del aire, agua (superficial o subterránea) o del suelo, asociados a actividades de perforación, aguas de retorno o residuos de perforación.

1. Asociado a la calidad del agua

Una de las principales preocupaciones vinculadas con el desarrollo de los HCNC se relaciona con la potencial afectación a la calidad del agua superficial o subterránea. La carencia de controles y cumplimiento de buenas prácticas puede generar contingencias con riesgo de afectación a este recurso en las siguientes situaciones:

- 1.1. La pérdida de agua de inyección con aditivos por inadecuada construcción y terminación del pozo, o por movimiento de los fluidos por fisuras naturales o artificiales;
- 1.2. El vuelco indebido (mala praxis) o accidental de aguas de retorno (*flowback*) con aditivos e hidrocarburos, durante la operación de un pozo o previo a su tratamiento; o
- 1.3. La rotura del sistema superficial de tuberías y válvulas, ya sea en la locación o en los ductos regionales, con derrame de hidrocarburos durante la operación.

Salvo el vuelco indebido, los otros episodios de contaminación se relacionan con accidentes operativos, ya sea en la inyección del agua o en el manejo de las aguas de retorno. Estos accidentes pueden generar episodios puntuales y localizados de contaminación, aunque pueden tener efectos acumulativos y de escala regional. En la sección siguiente se analizan con más detalle los impactos y riesgos asociados al ciclo del agua.

Tipología: Riesgo / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Alta

Extensión: Regional

2. Asociado a la calidad del aire

La calidad del aire en cercanías a las locaciones debe ser monitoreada a fin de identificar y aplicar los controles necesarios para minimizar efectos ambientales que pudieran afectarla negativamente. Las actividades en la locación suelen ser una fuente puntual de generación de ruidos, efluentes gaseosos (combustión) y material particulado al aire, así como eventuales fugas de productos químicos propio de las tareas de explotación de HCNC, que pueden tener impactos localizados y temporarios en cercanías a cada locación. Por otro lado, el sistema de tuberías debe estar adecuadamente sellado a fin de minimizar posibles emisiones de gases desde los reservorios (compuestos orgánicos volátiles; hidrocarburos aromáticos policíclicos; gases de efecto invernadero). Las perforaciones que no estén bien terminadas pueden ocasionar el escape de gases hacia la atmósfera, afectando la calidad aire y del agua. Así como la fracturación hidráulica facilita el flujo de los fluidos de la roca generadora, sería posible que se generen emisiones de gas natural u otros gases con efectos nocivos para la salud. Dado que la Fm. Vaca Muerta se encuentra a unos 3000 m de profundidad, es improbable que se produzcan escapes de gas hacia la superficie (ANI, 2013). El monitoreo permanente de potenciales fugas de gas durante la explotación de los HCNC contribuye a minimizar este riesgo.

Tipología: Riesgo / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Baja

Extensión: Regional

3. Asociado al manejo de residuos sólidos

En cada perforación se generan residuos sólidos y semisólidos ("*cuttings*"). Estos residuos de naturaleza especial o peligrosa deben ser tratados y dispuestos según normas nacionales y provinciales, debiendo ser manejados, transportados y tratados en forma integral y por personal especializado. La potencial cantidad de residuos de esta naturaleza a generarse en la región amerita evaluar la organización de un sistema regional para el tratamiento de los mismos, lo que evitaría eventos de contaminación por mala praxis (vuelcos clandestinos).

Tipología: Impacto Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Alta
 Extensión: Regional

4. Contingencias asociadas a condiciones locales

Previo al inicio de las actividades de perforación es recomendable el estudio y mapeo de las condiciones geológicas locales, a fin de identificar áreas vulnerables o sensibles asociadas a las características del sitio (fallas, etc.), las que pueden generar incremento en los riesgos geológicos o ambientales (conexión y movimiento de hidrocarburos o del agua de inyección hacia la superficie).

Tipología: Riesgo / Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Baja
 Extensión: Regional

b) Ecología y recursos naturales

Se incluyen aquellas consecuencias ambientales (impactos y riesgos) generadas por la demanda de recursos naturales locales, como agua y terrenos, o la alteración de las condiciones naturales (ecosistemas) o antropizadas (usos del suelo) como consecuencia del desarrollo del proyecto, específicamente de las tareas de perforación y procesamiento de los hidrocarburos, del tendido de poliductos y otras infraestructuras, la ocupación del territorio (locaciones) y el desarrollo no planificado de los centros urbanos.

5. Disponibilidad y uso del agua

La perforación de cada pozo de HCNC requiere de importantes volúmenes de agua, pudiendo variar aproximadamente entre 5000 y 30.000 m³ de agua utilizada durante la actividad de la fractura hidráulica. En pleno proceso de desarrollo del proyecto de HCNC (500 pozos por año), podría representar una demanda de 2,5 a 15 hm³ por año. En el Capítulo 3 se ha estimado una demanda de 2,3 hm³ para el Escenario I y de 4,6 hm³ para el Escenario II. Dependiendo de la fuente de aprovisionamiento, la calidad del agua necesaria para esta actividad, su disponibilidad local y la demanda para otros usos, este recurso deberá gestionarse adecuadamente a fin de evitar conflictos por su uso. Esta cuestión se analiza con más detalle en la sección siguiente (ver también Cap. 4).

Tipología: Impacto Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Alta
 Extensión: Regional

6. Ecosistemas locales

Se debe asegurar el mantenimiento del ecosistema nativo para facilitar y potenciar la restauración natural de los sitios alterados y la provisión de los servicios ecosistémicos, ya que la ocupación del territorio (grupos de locación o *clusters*, edificios), el tendido de infraestructura (camino, poliductos), el incremento de la población local y su demanda de servicios (combustible, leña, suelo, alimento) y espacio para vivienda generan modificaciones en los ecosistemas locales y en la ecología del paisaje, pudiendo generar un deterioro de la biodiversidad a una escala regional (ver sección siguiente).

Tipología: Impacto Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Moderada
 Extensión: Regional

7. Patrón de uso y ocupación del territorio

El incremento de inversiones, la demanda de mano de obra y el proceso inmigratorio condicionarán el desarrollo y extensión de pequeños poblados, modificando la tenencia de la tierra, el parcelamiento, el uso y la conectividad del territorio, alterando los patrones espaciales y los procesos del mismo. Este proceso puede ser permanente en algunos sectores, pero es más probable que sea transitorio, temporario y acotado, quedando un pasivo ambiental que sería conveniente prever y evitar, aplicando para ello estrategias de movilidad y asentamiento planificadas para un largo plazo (evitando la generación indiscriminada de centros poblados, consolidando núcleos de servicio regional con sistema de movilidad).

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Alta
 Extensión: Regional

c) Bienestar y costumbres de la población

Se incluyen aquellas consecuencias ambientales (impactos y riesgos) que pudieran generar un deterioro general y progresivo en el bienestar de la población local ocasionado por cambios en el contexto social y cultural (por un proceso de inmigración desorganizado), incremento del tránsito de maquinarias y equipos pesados, incremento en la generación de residuos sólidos urbanos y especiales, con incremento en la demanda de servicios por parte de los gobiernos locales (saneamiento, seguridad, educación, salud), alteración de la economías regionales por modificación en el flujo de inversiones y demanda de mano de obra capacitada, e incremento del riesgo de deterioro o pérdida del patrimonio local o regional.

8. Contexto social y cultural

Deberán preverse estrategias de desarrollo de centros urbanos vinculados al desarrollo del proyecto de HCNC en la región, ya que el incremento de las inversiones regionales, la demanda de mano de obra y el crecimiento económico regional (consecuencias positivas del proyecto) generan una atracción de población, condicionando procesos inmigratorios hacia los centros poblados locales, con demanda de servicios públicos (saneamiento, seguridad, educación, salud), oferta de servicios especiales (residencia, hoteles, personales), con cambio en los patrones culturales, riesgo de degradación del entorno social, generación de conflictos locales, nuevas enfermedades infecciosas, etc.

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Alta
 Extensión: local

9. Congestión por tránsito

El desarrollo del proyecto implica un incremento en el flujo de vehículos con personal, así como de equipos pesados, maquinarias y camiones durante la fase de exploración, perforación y operación. Esto ocasiona conflictos por congestión del tránsito y una demanda de adecuación de los caminos, de los servicios auxiliares y de mantenimiento de las vías de comunicación.

Tipología: Impacto Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Alta
 Extensión: Local

10. Deterioro de infraestructura vial

El incremento en el flujo de camiones y equipos pesados durante la fase de perforación puede deteriorar el estado de las rutas y caminos rurales, con la consiguiente demanda de mantenimiento, repavimentación o incluso ampliación de las rutas existentes, con nuevas y mayores obras de ingeniería (puentes, alcantarillas, etc.). Estas inversiones repercuten sobre los presupuestos nacionales, provinciales y municipales.

Tipología: Impacto Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Alta
 Extensión: Regional

11. Demanda de gestión de residuos sólidos

El incremento en la población permanente, así como de los operarios y técnicos que residan temporal o permanentemente en la región (centros poblados o locaciones), implica un incremento en la generación de residuos sólidos de distinta tipología. Si bien mayormente domiciliarios, también se generarán residuos especiales que, de no mediar una adecuada tarea de clasificación y separación en origen, deberán gestionarse en forma conjunta. Esto podrá implicar inversiones en equipos y camiones de recolección, nuevos rellenos sanitarios, y costos de mantenimiento de los mismos a cargo de gobiernos locales. Sin una adecuada gestión integral, se generarán basurales y sitios de disposición clandestinos, condicionando pasivos ambientales dispersos en toda la región.

Tipología: Impacto Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Moderada
 Extensión: Regional

12. Demanda de inversiones para el desarrollo local

El incremento de la población por inmigración genera una mayor demanda de servicios de seguridad, educación, salud, saneamiento; junto con una mayor demanda de infraestructura asociada a la expansión de los núcleos poblados, y la necesidad de incrementar los gastos para el mantenimiento de la red vial, condiciona un incremento en la demanda de inversiones en el orden local que deberá ser planificado y solventado por los gobiernos locales y provinciales. Estas inversiones deberán planificarse en un contexto de ordenamiento territorial a largo plazo, consolidando algunos centros poblados y evitando la dispersión de la población en la región. De este modo, mejoran las posibilidades de atender adecuadamente las demandas de la población y los conflictos sociales.

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo
 Importancia de las medidas ambientales: Alta
 Extensión: Regional

13. Alteración de las relaciones económicas en los sistemas productivos de la región

La demanda de mano de obra para servicios a la industria hidrocarburífera generará un cambio significativo en el esquema de remuneración de actividades locales, con movilidad laboral hacia nuevos rubros. Esto podrá repercutir negativamente en la oferta de mano de obra calificada disponible para realizar las tareas cotidianas o esporádicas (cosecha, embalaje) asociadas a los sistemas productivos tradicionales (producción agrícola, frutícola, vitivinicultura, etc.).

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Moderada

Extensión: Regional

14. Riesgos al patrimonio cultural, histórico, paleontológico, etc.

El incremento y simultaneidad en el desarrollo de actividades de exploración, perforación, tendido de infraestructura, locaciones, etc., y la extensión del área del proyecto de HCNC, aumenta el riesgo de alteración o daño a elementos de valor patrimonial en la región. Este deterioro o pérdida de valores patrimoniales tiene carácter de irreversible, por lo que se requiere una atención especial por parte de la autoridad correspondiente, así como la organización de equipos técnicos con equipamiento y movilidad en la región (vinculados con centros de investigación locales), así como información a las empresas sobre las normas existentes, los procedimientos y los cuidados necesarios ante eventuales hallazgos.

Tipología: Riesgo / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Baja a Moderada

Extensión: Regional

d) Cuestiones regionales e institucionales

Se incluyen aquellas cuestiones de importancia regional y de carácter institucional vinculadas con la gestión ambiental de los impactos y riesgos descritos, siendo consecuencia de efectos indirectos y acumulativos. Se incluye la demanda de gestión y control por parte de la autoridad ambiental a las numerosas actividades que tendrán lugar en la región, a la necesidad de un importante desarrollo tecnológico vinculado a las buenas prácticas y a la minimización de impactos y riesgos, y a los potenciales conflictos sociales por derechos de propiedad, accesibilidad y uso de tierras en litigio con comunidades aborígenes. Finalmente, se incluyen aspectos de relevancia nacional, como es la consolidación de una matriz basada en combustibles fósiles y su impacto global.

15. Demanda de controles ambientales

El incremento de actividades y la necesaria proliferación de solicitudes y trámites de aprobación de proyectos, seguimiento, control y supervisión a campo, análisis de nuevas tecnologías, aprobación de equipos y estrategias de perforación, etc., demandará a la autoridad de aplicación ambiental una mayor capacidad técnica y operativa, requiriendo de más personal capacitado, equipamiento, vehículos, gastos de movilidad, viáticos, etc. Será necesario inicialmente realizar un estudio para evaluar la necesidad de fortalecimiento de la capacidad institucional y las inversiones necesarias para su adecuación. En este contexto, debería evaluarse establecer convenios con universidades y centros regionales de investigación tecnológica.

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Alta

Extensión: Regional

16. Demanda de desarrollo tecnológico

La necesidad de desarrollar nuevas estrategias y técnicas de perforación, extracción y procesamiento de HCNC brinda una oportunidad para potenciar un salto tecnológico a escala nacional, incluyendo nuevas estrategias de gerenciamiento ambiental para el sector.

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Moderada

Extensión: Regional

17. Accesibilidad a zonas en litigio

La existencia de comunidades aborígenes que reclaman propiedad comunitaria de territorios localizados en el área del proyecto puede generar conflictos de acceso o desarrollo del proyecto de HCNC. Si bien actualmente las actividades están reguladas por las convenciones internacionales en relación con la obligatoriedad de consulta previa (específicamente en el marco del Convenio N° 169 de la OIT, Organización Internacional del Trabajo), es imperioso conformar una mesa de diálogo entre provincia, empresas y referentes comunitarios a escala regional (o provincial) para evitar que la intensificación de la actividad en la región dé lugar a una proliferación de conflictos que impida el normal desenvolvimiento de la actividad, o que quede su resolución limitada a eventuales acuerdos entre jefes comunales y responsables empresariales.

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Alta

Extensión: Regional

18. Consolidación del uso de combustibles fósiles en la matriz energética

La disponibilidad de recursos HCNC contribuye a consolidar el uso y dependencia de los combustibles fósiles, con el consecuente mantenimiento de los niveles de generación de gases de efecto invernadero, de impacto global. Esta situación puede retrasar las decisiones sobre desarrollo tecnológico de energía a partir de fuentes renovables, las que en un futuro cercano deberán incrementar su porcentaje en la matriz energética nacional (SE-FB, 2009; Villalonga, 2013). Esto plantea la necesidad y oportunidad de aprovechar estos recursos HCNC para financiar el desarrollo de las fuentes alternativas renovables (solar, eólica).

Tipología: Impacto Indirecto / Acumulativo

Importancia de las medidas ambientales: Moderada

Extensión: Regional - Nacional

Análisis específico de los impactos y riesgos vinculados con la fracturación hidráulica

La preocupación por las consecuencias ambientales de la explotación de HCNC en la región se ha focalizado en los impactos y riesgos asociados a la fracturación hidráulica (*fracking*), como si fueran sinónimos. Si bien, y tal como se ha descrito en secciones precedentes, esta actividad es una de las tantas implicadas en el desarrollo de los HCNC, se ha considerado necesario analizar específicamente los impactos y riesgos ambientales vinculados con ella.

Existen argumentos a favor y en contra de desarrollar los HCNC, específicamente vinculados con la fracturación hidráulica (Howarth *et al.*, 2011). A favor, la disponibilidad de una fuente de energía (gas) más económica, que genera puestos de trabajo, es menos contaminante comparado con el carbón o el petróleo para la generación de energía eléctrica, y con riesgos manejables o aceptables. En contra, el riesgo al ambiente y la salud, principalmente por las posibles emisiones de gas y la posible contaminación de acuíferos con fluidos de fractura y aguas de retorno. Algunos análisis globales (Hoffman *et al.*, 2014) identifican los temas asociados al agua (disponibilidad, riesgo de contaminación) como los más relevantes vinculados al desarrollo de los HCNC, especialmente en países con escasez relativa de recursos hídricos. En este contexto, señalan la necesidad de desarrollar códigos de conducta y sistemas de regulación de las prácticas de fracturación hidráulica a fin de proteger el agua y el ambiente. Además, plantean que la explotación de HCNC podría desviar inversiones y demorar así el desarrollo de las energías renovables o los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética local o global (Hoffman *et al.*, 2014).

Uno de los estudios más relevantes en relación con las consecuencias y riesgos a la salud, seguridad y ambiente, asociados a la fracturación hidráulica, es el elaborado en forma conjunta por un equipo de notables científicos e ingenieros del Reino Unido, miembros de la Real Sociedad de Científicos y de la Real Academia de Ingeniería (RS & RAE, 2012). Sobre la base del análisis del mismo puede concluirse que:

- Los riesgos a la salud, seguridad y ambiente pueden ser manejados efectivamente, aplicando las mejores prácticas operacionales y una fuerte regulación.
- La propagación de fracturas es improbable que cause contaminación (tanto por la profundidad a la que se perfora como por las condiciones de presión necesarias para que los contaminantes lleguen a la superficie).
- La prioridad es mantener la integridad de la perforación; se requiere un procedimiento de inspección independiente realizado por especialistas.
- Es vital llevar adelante un importante monitoreo (antes, durante y a posteriori, orientado a detectar metano y otros contaminantes en aguas subterráneas o en la atmósfera).
- Debe realizarse en forma obligada una Evaluación Ambiental de Riesgos (EAR) (*Environmental Risk Assessment*) para todo el ciclo de operaciones, para el uso del agua, la disposición de residuos y el cierre de pozos, incluyendo los riesgos sísmicos que son bajos.
- La demanda de agua puede ser manejada en forma sustentable; aunque su uso debe estar estrictamente regulado y analizado en relación con las condiciones locales, promoviendo la recuperación y analizando detenidamente la disposición final de las aguas residuales.
- Debe regularse en relación con el desarrollo que tome la industria, acompañando con coordinación interinstitucional y capacitación.
- Es beneficiosa una mayor investigación sobre la huella de carbono, la aceptación pública en el contexto de las políticas de energía, clima y economía del RU.

En la zona de estudio (provincia del Neuquén, R. Argentina), la baja densidad poblacional, la profundidad a la que se encuentran los reservorios de HCNC, la disponibilidad de agua, la tradición petrolera (con técnicos disponibles en la región), así como la infraestructura existente son aspectos positivos que reducen los riesgos ambientales y mejoran las posibilidades de minimizar los costos ambientales y maximizar los beneficios del desarrollo de los HCNC. Las conclusiones del estudio de la RS&RAE (2012), son aplicables y pertinentes al contexto regional, habiendo sido consideradas y confirmadas recientemente en el análisis realizado por la Academia Nacional de Ingeniería de la República Argentina (ANI, 2013).

Por otro lado, el desarrollo de la tecnología de fracturación hidráulica para la explotación de los HCNC ocurrido en las últimas décadas en EE.UU. ha ocasionado una serie de estudios, encabezados por la Agencia de Protección Ambiental (USEPA, por sus siglas en inglés: United States Environmental Protection Agency), enfocados al potencial riesgo de afectación de los recursos hídricos como consecuencia específica de la actividad de fracturación hidráulica.

Según USEPA (2004; 2011; 2014), y a los fines de analizar los riesgos e impactos de la actividad de desarrollo de HCNC, puede describirse un ciclo del agua en la fracturación hidráulica (Fig. 5.11). De acuerdo con los estudios en ejecución por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA, 2004; 2011; 2014), los impactos y riesgos asociados a cada una de las etapas del ciclo de agua en relación con la fracturación hidráulica (Fig. 5.11) son:

- Toma o fuente de agua: cambios en la disponibilidad o en la calidad del agua para consumo humano.
- Mezcla con productos químicos (aditivos): disposición o pérdidas de agua con aditivos que lleguen a fuentes de agua (superficiales o subterráneas).
- Inyección de agua a presión en el pozo durante la perforación del mismo: pérdida de fluidos de fractura por inadecuada construcción u operación del pozo; movimiento de los fluidos de fractura hacia fuentes de agua por conexiones naturales o artificiales; movimiento de sustancias existentes en el subsuelo (metales u otros materiales), movilizados por las actividades de fractura.
- Agua residual o de producción: cuando se detiene la presión de fractura, los fluidos (hidrocarburos, agua, aditivos, propanantes) tienden a surgir por la boca de la perforación, manteniéndose ese flujo durante toda la operación durante la cual el agua de producción (que sale con los hidrocarburos) debe mantenerse en reservorios o tanques previo a su tratamiento, existiendo el riesgo de pérdidas o vuelcos antes de ser tratadas.
- Tratamiento de aguas residuales: estas aguas pueden ser reinyectadas, tratadas o recicladas, con o sin tratamiento, generando el riesgo de contaminación de aguas superficiales por pérdidas, derrames o tratamiento inadecuado.

Si bien estos impactos y riesgos han sido identificados e incluidos en la sección anterior, dada su relevancia en el análisis de las consecuencias ambientales del desarrollo de HCNC, específicamente vinculadas con la actividad de fracturación hidráulica, se acompaña a continuación una evaluación más detallada de los mismos, tomando de referencia lo expuesto en el Capítulo 4, y distintos documentos que resumen el análisis integral de las consecuencias ambientales del desarrollo de HCNC (ANI, 2013; USEPA, 2004; 2011; 2014).

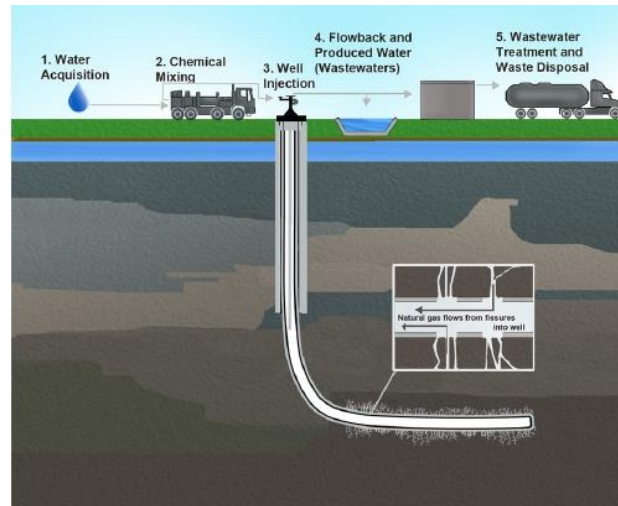


Fig. 5.11 El ciclo de agua de la fracturación hidráulica.
Fuente: USEPA, 2014.

- Demanda de agua para la fracturación hidráulica

La estimulación o fracturación hidráulica de las rocas generadoras, que se realiza una sola vez en la historia de cada pozo, requiere un volumen de agua muy variable, el que oscila entre 5000 y 50.000 m³ de agua, con valores medios de 25.000 a 30.000 m³ por pozo (ANI, 2013; ver Cuadro II; Cap. 4). La cantidad de agua a utilizar depende del número de fracturas hidráulicas a realizar por pozo, las que pueden variar entre 4 y 15 dependiendo del diseño de la perforación y de la estrategia de explotación del mismo (ver Cap. 3). Los estudios ambientales sobre las prácticas de fracturación hidráulica en la zona de estudio (Loma Campana, Fm. Vaca Muerta) indican que un pozo vertical desviado “tipo”, con cinco etapas de fractura, utiliza actualmente unas 1.200 t de arena y 6000 m³ de agua. Este volumen es un quinto del valor medio, pudiendo considerarse poco representativo de la demanda potencial, debido a que todavía no se han perforado un número importante de pozos en la región. En el Capítulo 3, se han definido escenarios de explotación que consideran un consumo de agua de 5000 m³ en pozos verticales (4 etapas de fracturación) y 17.500 m³ para pozos horizontales (15 etapas de fracturación). El consumo de agua puede reducirse si se incrementa el porcentaje de reciclado del agua. Por estas razones, y para no minimizar esta cuestión de importancia ambiental, se ha tomado de referencia un rango de variación medio de entre 15.000 y 30.000 m³ de agua por pozo.

Como la producción de vino es una de las actividades importantes en la región de Neuquén, y tomando de referencia la información del Instituto Nacional de Vitivinicultura (INV, 2003), podemos efectuar la siguiente estimación. Considerando una producción de uva de 5000 a 7000 kg/ha, se obtienen unos 4000 a 6000 litros de vino por hectárea (media: 5000 l o 5 m³ de vino por ha). Por lo tanto, se necesitan 6 ha de viñedo para producir 30 m³ de vino, que requieren 30.000 m³ de agua, y la mitad (3 ha) para 15.000 m³ de agua (Tabla 5.4), lo que es equivalente a lo que demanda un pozo de HCNC. Es decir que un pozo de HCNC requiere en el momento de la operación de fractura hidráulica (y por única vez en su vida útil) tanta agua como se consumen en la producción de vino de entre 3 y 6 ha anualmente (según se consideren uno u otro volumen medio de referencia).

Complementariamente, y según datos del INTA Alto Valle (Villarreal y Santagni, 2004; 2005), se requieren de 880 a 1000 mm anuales de agua por hectárea para la producción de frutales de pepita, siendo similar para los frutales de carozo (700 a 1150 mm). Tomando de referencia

1000 mm, equivale a 10.000 m³ por ha y por año (necesidad hídrica del cultivo). Por otro lado, y considerando un riego por gravedad, en el Alto Valle, el consorcio de regantes entrega al productor 1 litro de agua por segundo y por hectárea. Esto representa unos 31.536 m³ de agua por ha y por año (365 días), o 20.736 m³ por ha durante los ocho meses de producción (septiembre a abril). (Obs.: este valor es mayor a lo que requiere el cultivo, ya que la eficiencia del riego varía de un 30 a un 70% dependiendo del tipo de suelo, estado de los canales y acequias, sistema de riego, etc.). La producción de montes de frutales en alta densidad, en la región, suele ser de 40 t/ha de manzanas o 50 t/ha de peras. Es decir que 1,5 ha de frutales de alta densidad en el Alto Valle, para producir unas 60 t de manzanas, consume anualmente el equivalente al agua necesaria para realizar la operación de fractura hidráulica (30.000 m³ por única vez), mientras que considerando el mínimo medio de 15.000 m³ serían menos de 1 ha (0,75 ha).

De acuerdo con la información sobre recursos hídricos en la zona de estudio, el volumen necesario para el desarrollo de todo el proyecto representa menos del 0,2% de los recursos hídricos superficiales disponibles siendo suficientes para realizar 500 fracturas hidráulicas cada año (Cap. 4; ANI, 2013). Vale aclarar que en la provincia del Neuquén solo puede utilizarse agua de cursos superficiales (ríos y lagos) y está prohibido el abastecimiento mediante acuíferos subterráneos de agua dulce para la fracturación hidráulica. Sin embargo, es posible utilizar agua no apta para consumo humano o animal debido a altos tenores salinos, en cuyo caso, no habría competencia por el uso del recurso con otros fines (agropecuarios, consumo humano).

Cuadro II: Demanda de agua para la fracturación hidráulica

La demanda de agua ha sido uno de los aspectos ambientales más cuestionados en relación con la operación de fractura hidráulica necesaria para el desarrollo de los HCNC. El agua utilizada para esta actividad depende de las características geológicas del reservorio y de las metas de producción, entre otros factores, pudiendo variar de unos 5000 a 50.000 m³ por pozo de perforación, con un valor medio de referencia de entre 15.000 y 30.000 m³.

¿Es mucha cantidad de agua? ¿Cómo lo podemos dimensionar?

Por un lado, podemos visualizar un volumen de 15.000 o de 30.000 m³ como el agua necesaria para llenar un reservorio de 1 ha de superficie y 1,5 o 3 m de altura.

Un concepto que puede ayudar a evaluar la magnitud del agua consumida en la elaboración de un producto o servicio es el de "Huella Hídrica" ("*Water Footprint*", ver Hoekstra, 2003; Chapagain & Hoekstra, 2004). Este concepto mide la cantidad de agua utilizada para producir un bien o servicio, o la consumida por una empresa o por un individuo o comunidad. La Tabla 5.3 presenta valores de agua virtual (cantidad de agua en litros requerida o utilizada en la producción de bienes específicos).

PRODUCTO	CONSUMO DE AGUA (litros)	PRODUCTO	CONSUMO DE AGUA (litros)
1 kg de carne vacuna	15.000	9 kg de girasol, soja o trigo	10.000
1 kg de carne porcina	5.500	17 kg de maíz o 3,3 kg de arroz	10.000
1 kg de pollo	3.800	10 litros de leche o 1 kg de queso	10.000
1 litro de vino	960	1 kg de café	20.700
1 litro de cerveza	300	1 hamburguesa (150 g)	2.400
1 kg de manzanas o 1 litro de jugo de manzana	700	1 kg de papel	2.000
1 pantalón (jean, m, 1 kg)	6.750	1 kg de oro	230.000

Tabla 5.3: Requerimiento de agua para la elaboración de diversos productos agropecuarios e industriales.

Fuente: FAO, 2003; MIPBA, 2008; Hoekstra, 2003; Chapagain y Hoekstra, 2004.

El agua virtual es variable geográficamente dependiendo de los sistemas productivos y de la tecnología utilizada, la Tabla 5.3 brinda valores medios mundiales. Los datos indican que para producir 1 Kg de carne vacuna se han consumido en el proceso de cría, faena y comercialización 15.000 l de agua; o que para producir 1 litro de vino se ha consumido casi 1 m³ (960 litros) de agua.

Tomando de referencia los datos de la Tabla 5.3, podemos calcular el equivalente de consumo de agua para la operación de fractura hidráulica de un pozo (considerando el máximo medio de 30.000 m³), que es equivalente al agua necesaria para producir 2 t de carne vacuna, 7,9 t de carne de pollo, 30 m³ de vino o 43 t de manzanas.

A fin de evitar los conflictos potenciales derivados de la demanda por usos alternativos de este recurso, se ha sugerido evaluar para cada fuente de agua las características de la demanda (destino, volumen), antes de decidir su aprovechamiento para el desarrollo de los HCNC (ver Cap. 4). Más aún, y dependiendo del desarrollo tecnológico, existiría la posibilidad de utilizar agua no apta para consumo humano o animal (agua de mar o salobres) u otros productos alternativos al agua (geles, gas CO₂, espumas de gas nitrógeno) (ANI, 2013; Cap. 3).

Un análisis complementario al del Cuadro II se ha presentado en el Capítulo 4 en relación con las existencias o disponibilidad de agua en la región. La pregunta sería: ¿hay suficiente agua en la región para sostener la demanda de agua que implica el desarrollo de los HCNC?

Los caudales mínimos que se obtienen de las series hidrológicas documentadas son de 69,52 m³/s para el río Neuquén (Gasoducto), 60,35 m³/s, para el Colorado (Buta Ranquil) y 115 m³/s en el Limay (Piedra del Águila), correspondiendo a volúmenes de 2.192,4 hm³/año, 1.903,2 hm³/año y 3.626,6 hm³/año, respectivamente (ver Cap. 4). Respecto del recurso superficial, pueden mencionarse los embalses que se utilizan para provisión al servicio público de la ciudad de Neuquén, con un volumen de 346 hm³ en Mari Menuco (considerando sólo 2 m de acumulación) y 3.997 hm³ en Los Barreales (Cap. 4), lo que permitiría la actividad de fracturación hidráulica para 11.500 y 133.200 pozos de 30.000 m³, respectivamente (el doble si consideramos un consumo de 15.000 m³ por pozo).

Tomando de referencia la disponibilidad de agua en la región y la demanda para el desarrollo de los HCNC, la demanda representa menos de 1% de los recursos disponibles. De hecho el mayor consumo de agua en la región está asociado a la producción agropecuaria bajo riego. Según los estudios consultados, la estrategia a aplicar en relación con el consumo de agua apunta a la reducción de las necesidades de uso del agua en la estimulación hidráulica (al 30%) y al tratamiento y reutilización del agua de retorno (100% del *flowback*), lo que se alcanzará con la operación de la planta de tratamiento de aguas de retorno.

- Riesgo de contaminación de acuíferos

La preocupación respecto de este aspecto se refiere a la posibilidad de que los acuíferos utilizados por poblaciones, comunidades o pobladores locales pueda ponerse en contacto y recibir fluidos contaminantes utilizados o producidos en el aprovechamiento de los HCNC. En relación con este tema, debe recordarse que para el caso de la zona de estudio (Cuenca Neuquina), los acuíferos son sumamente escasos o relativamente superficiales (menos de 400 m de profundidad según datos de ANI, 2013), mientras que los reservorios de HCNC se encuentran a miles de metros de profundidad (al menos 2000 m; ver Caps. 2, 3 y 4).

La USEPA ha realizado un estudio de evaluación de los impactos a las fuentes subterráneas de agua potable por la fractura hidráulica de reservorios de hidrocarburos CBM ("*CoalBed Methane*", se refiere a mantos de metano en carbón) (USEPA, 2004). El informe final, basado en la revisión de más de 200 publicaciones de trabajos científicos, concluye que la inyección de fluidos de fracturación hidráulica en los pozos de CBM implica un mínimo riesgo a las fuentes de agua potable. Más aún, la revisión de aquellos incidentes de pozos contaminados que se creían asociados a la fracturación hidráulica no encontró ningún caso que confirmara dicha relación (USEPA, 2004).

La tecnología de perforación de pozos que atraviesan un acuífero es similar a la utilizada actualmente en la explotación de hidrocarburos convencionales, consistente en un encamisado de acero protector y cemento, por lo que no se genera un nuevo o un mayor riesgo en este sistema de explotación que el que existe actualmente. En este contexto, es de hacer notar que no se han reportado eventos de contaminación de acuíferos vinculados a esta actividad de perforación de pozos en la región. Según el Instituto del Petróleo y Gas de la Argentina, se llevan perforados más de 65.000 pozos de extracción de hidrocarburos en los más de 150 años de historia del petróleo en la Argentina, no habiendo eventos de contaminación de acuíferos asociados a esta actividad (ANI, 2013). A fin de minimizar los riesgos y efectuar un control intensivo de este riesgo específico, deberá asegurarse el

adecuado diseño, construcción y abandono de todos y cada uno de los pozos, utilizando las mejores prácticas disponibles.

- Contaminación por aguas residuales generadas en la explotación de HCNC

La fracturación hidráulica utiliza aguas con aditivos (ver Tabla 5.1 y texto acompañante), parte de las cuales retornan a la superficie como aguas residuales que deben ser adecuadamente tratadas y dispuestas como en cualquier otro proceso industrial (ver detalles en el Cap. 4). Existen tecnologías para recuperar esas aguas, tratarlas y disponerlas según los criterios y parámetros legales y las regulaciones vigentes (Ley 1875 -TO 2267; Dto. 2656/99; Dto. 1.483/12). A fin de minimizar el riesgo de contaminación por aguas residuales, sería conveniente establecer procedimientos para tratar, reciclar y reutilizar el agua, minimizando su demanda.

- Contaminación por sustancias peligrosas (aditivos)

La fracturación hidráulica utiliza agua con agregados de sustancias o productos químicos (menos del 0,2%), los cuales mejoran el proceso de explotación del recurso y evitan el deterioro de la perforación en sí (ANI, 2013). Estos aditivos son entre 3 y 12 tipos de sustancias químicas que funcionan como inhibidores de crecimiento bacteriano, gelificantes y reductores de fricción (Tabla 5.1; y texto acompañante; ver Cap. 3). Se ha planteado la preocupación de que estas aguas con aditivos lleguen a fuentes de agua para consumo humano, contaminándolas con estos productos.

Es de mencionar que muchos de estos productos no son exclusivos de la explotación de HCNC, sino que se utilizan actualmente en la explotación de hidrocarburos convencionales, estando bajo regulación y control ambiental en el marco de las normativas vigentes y de las autoridades respectivas. A fin de minimizar los riesgos asociados al manejo de sustancias peligrosas, y más allá de las normativas nacionales o locales que regulan su gestión, sería recomendable establecer un listado de sustancias con su respectivo nivel de análisis y de cuidados para garantizar la transparencia y rigurosidad en la gestión de riesgos y contingencias ambientales asociadas a estos productos. Esto debiera ser específico para esta actividad y complementaria de las normas ambientales vigentes (ver también Cap. 4).

- Riesgo de incremento de actividad sísmica

La técnica de fractura hidráulica implica someter a altas presiones a la roca generadora, produciendo microfracturas que faciliten la movilidad de los fluidos (petróleo y gas) hacia el exterior (Cuadro II y texto acompañante). Esto genera vibraciones que son imperceptibles para los seres humanos, y que pueden extender la zona de fracturas hasta no más de 200 m del sector que está siendo estimulado. Debido a que el reservorio de la Fm. Vaca Muerta se encuentra a miles de metros de profundidad (entre 2500 y 3000 m), estas vibraciones no pueden alcanzar sectores superficiales del terreno ni inducir movimientos sísmicos en sectores de fallas geológicas (Cap. 3).

Recientemente, Soldo (2014) ha analizado el riesgo potencial de generación de eventos sísmicos ocasionados por la fracturación hidráulica, concluyendo que en los yacimientos de HCNC de la Fm. Vaca Muerta es casi imposible que las microfracturas originadas por la estimulación hidráulica reactiven las fallas tectónicas originadas por los campos de esfuerzos actuales. Según Soldo (2014: 838), "...se ha comprobado que tanto las magnitudes, como las energías asociadas a eventos asociados a la estimulación hidráulica, son altamente despreciables al compararlas con los eventos tectónicos".

Por esta razón, es sumamente improbable que esta actividad genere un incremento en la actividad sísmica que pudiera afectar infraestructura o bienes localizados a miles de metros de distancia. En 2011 se completaron más de 250.000 etapas de estimulación hidráulica en el mundo sin que se informaran eventos sísmicos significativos (López, A. y col., 2013). Los antecedentes existentes en la región indican que la intensa actividad de exploración y explotación petrolera, desarrollada en el territorio argentino en el pasado, no ha dado lugar a ningún movimiento o manifestación sísmicos.

A fin de controlar el nivel de riesgo sísmico en distintas zonas de exploración o explotación de HCNC, y tal como se sugiere en otros estudios (USEPA, RAE, citados en ANI, 2013), se recomienda establecer un sistema de mediciones y mapeo, a cargo de organismos públicos respecto de las condiciones preexistentes en cuanto a la presencia de fallas y tensiones de las rocas del subsuelo y su potencial respuesta frente a las actividades a realizar.

- Necesidad de tierras

Se ha planteado que la fracturación hidráulica para el desarrollo de los HCNC demanda una mayor superficie de tierras que las necesarias para un mismo desarrollo de HC convencionales. Por un lado, según documentos y estudios especializados, se ha estimado que la demanda de terreno superficial para un mismo nivel de producción de HCNC (locación: plataforma de 4 pozos) representa un 10% del necesario para HC (16 pozos). En el contexto del área de estudio, este uso no pareciera competir con otras demandas o usos alternativos.

En el Capítulo 3 se han definido escenarios de explotación que permiten estimar la superficie a ocupar en cada caso:

- a) Desarrollo base: 40 equipos de perforación, con un total de 4.558 perforaciones, los pozos se agrupan en 5 clusters de petróleo y 6 de gas, en ventanas de 10 x 10 km. En este escenario el uso del suelo afectará unas 2100 ha (más el adicional de caminos).
- b) Desarrollo ampliado: 60 equipos de perforación, con un total de 6.252 perforaciones, los pozos se agrupan en 13 clusters de petróleo y 6 de gas, en ventanas de 10 x 10 km. En este escenario el uso del suelo afectará unas 2500 ha (más el adicional de caminos).

- Incremento de ruido

Para la fracturación hidráulica se genera ruido ambiental asociado a los equipos y camiones de bombeo. La localización del área de estudio, en un contexto de muy baja densidad poblacional, hace que esta situación pueda ocasionar trastornos solamente a la fauna silvestre presente en la región. En este caso, y más allá de la regulación existente en relación con los niveles de ruido, es frecuente que los individuos de las distintas especies de la fauna silvestre retornen al sitio una vez que se elimina la perturbación (ruido). La actividad en cercanías a centros poblados deberá tomar precauciones especiales respecto a este tema.

- Cambios en los ecosistemas y el paisaje

El desarrollo de los HCNC ha sido posible por la combinación de dos tecnologías específicas: la perforación horizontal y la fracturación hidráulica (Howarth *et al.*, 2011). Ambas han permitido mejorar la eficiencia del proceso de explotación, incrementando la relación beneficio/costo. La perforación horizontal representa un avance en la minimización de efectos superficiales sobre

los ecosistemas y el uso del suelo, ya que concentra los efectos en una menor porción de terreno. Desde una misma locación se pueden perforar 4 a 8 pozos. Por otro lado, la explotación de los HCNC conlleva necesariamente una mayor densidad de perforaciones que suelen organizarse en grupos (*clusters*), por lo que la alteración del ecosistema superficial es un aspecto ambientalmente relevante (Foto 5.4).

A pesar de que en los EE.UU. la producción de HCNC lleva ya varios años, desde un punto de vista científico se han realizado pocos estudios en profundidad sobre las consecuencias ecológicas de esta actividad, por lo que no se comprenden completamente sus impactos sobre el medio natural, los ecosistemas y la vida silvestre (Entrekin *et al.*, 2011; Northrup & Wittemyer, 2012; Morgan, 2014; Burton *et al.*, 2014).

El estudio de Northrup & Wittemyer (2012) analiza las consecuencias ecológicas (sobre los ecosistemas y la vida silvestre terrestre y acuática), de varias fuentes de energía alternativas, incluyendo la eólica, bioenergía, solar, geotermal y los HCNC (gas y petróleo), encontrando que todas ellas repercuten de algún modo en el hábitat y los hábitos de distintas especies de la vida silvestre, dependiendo de las regiones y de las especies. Los autores insisten en la necesidad de una adecuada aplicación de medidas de mitigación, así como el desarrollo de nuevas y más efectivas estrategias de reducción de los impactos ecológicos, incluyendo programas de monitoreo de especies clave que evalúen la efectividad de las medidas de mitigación aplicadas, identifiquen la necesidad de estudios específicos y contribuyan al desarrollo de estrategias de restauración ecológica. El estudio reconoce que las Mejores Prácticas de Manejo ("*Best Management Practices*") pueden efectivamente reducir el impacto del desarrollo de HCNC sobre ciertas especies, mientras que para otras simplemente no serán efectivas. Esto último puede o debe compensarse con la creación de hábitats no perturbados, en los cuales las especies puedan desarrollarse naturalmente (Áreas Naturales Protegidas) y servir de fuente o reservorio para la restauración ecológica de los sitios perturbados.

Recientemente, un grupo de biólogos conservacionistas (Southern *et al.*, 2014) ha planteado que el estudio de las consecuencias ecológicas asociadas a la contaminación por derrames o pérdidas, las fallas en la construcción de los pozos y otros accidentes, debieran ser una de las prioridades en la investigación científica. Más aún, se insta a los científicos, empresarios y decisores políticos a cooperar en la determinación y prevención de los daños eventualmente asociados a esta actividad, ya que existen muchas lagunas y vacíos de información y conocimiento sobre las consecuencias ambientales de esta operación. Una de las limitantes ha sido la falta de acceso a información sobre accidentes, vuelcos, derrames, disposición final de aguas de retorno y la composición de los aditivos utilizados en el fluido de fractura. Por otro lado, los cambios superficiales asociados al desarrollo de infraestructura afectan el paisaje, la vegetación, generan efluentes líquidos y gaseosos, ruido y contaminación visual (iluminación artificial) que pueden alterar el hábitat y los hábitos de la fauna silvestre (Foto 5.4).



Foto 5.4 Conjunto de locaciones de pozos de gas en Jonah Field, Wyoming, EE.UU.
Fuente: Souther *et al.*, 2014.

Los riesgos asociados a la explotación de HCNC incluyen contaminación del agua (superficial y subterránea), disminución de recursos hídricos (caudales en ríos y arroyos), pérdida de hábitat y fragmentación, contaminación del aire, ruido e iluminación artificial, cambio climático e impactos acumulativos. Según estos autores, las prioridades de investigación son el estudio de la migración subterránea de las sustancias químicas utilizadas como aditivos, la pérdida de contaminantes durante su almacenamiento, disposición final, o por accidentes, y los impactos acumulativos.

Complementariamente, los estudios de Entrekin *et al.* (2011) y de Burton *et al.* (2014) analizan las consecuencias ecológicas del desarrollo de los HCNC, en especial sobre los recursos naturales acuáticos. Burton *et al.* (2014) identifican como causas de impactos la construcción de la infraestructura de apoyo al desarrollo de HCNC (rutas, ductos, locaciones, plantas de energía, toma de agua), el tránsito de camiones y vehículos pesados y las operaciones en la locación. Según estos autores, las operaciones de explotación de HCNC pueden incrementar la erosión y sedimentación, así como el riesgo para los ecosistemas por pérdidas o lavado superficial de sustancias químicas, la fragmentación del hábitat, la pérdida de hábitats ribereños, la alteración de los ciclos biogeoquímicos, la reducción de los caudales de cursos superficiales y subsuperficiales debido a la extracción de grandes volúmenes de agua que pueden afectar los acuíferos (Entrekin *et al.*, 2011; Burton *et al.*, 2014). Burton *et al.* (2014) puntualiza que el riesgo potencial para las aguas superficiales es similar en muchas formas a los de la agricultura, silvicultura, minería y desarrollo urbano. Algunas medidas recomendadas incluyen: identificación de ecosistemas sensibles, elaborar una línea de base de referencia del ecosistema de utilidad para el monitoreo regional, análisis de los impactos acumulativos de numerosas operaciones simultáneamente en una misma región, identificar mejores prácticas para zonas sensibles (zonas ribereñas, acuíferos en superficie o aguas superficiales), realizar análisis comparativos con otros usos y aprovechamientos, asegurar la disponibilidad y acceso público de las bases de datos, y considerar los estudios científicos y técnicos en la toma de decisiones (Burton *et al.*, 2014). El uso de modelización espacial regional, haciendo uso de los sistemas de información geográfica, combinado con el monitoreo ecológico es una estrategia recomendable para discernir y minimizar los riesgos de esta actividad sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Entrekin *et al.*, 2011; Burton *et al.*, 2014).

Medidas genéricas de gestión ambiental

En la sección anterior se han identificado las principales consecuencias (impactos y riesgos) ambientales asociados al desarrollo de los HCNC, incluyendo aquellos específicamente vinculados a la actividad de la fracturación hidráulica. En esta sección se identifican y desarrollan las medidas ambientales genéricas tendientes a prevenir, mitigar, controlar o compensar aquéllos, mientras que en la sección siguiente se brindan estrategias para la factibilidad integral del plan.

Aplicación de instrumentos de gestión ambiental

Para cada proyecto de desarrollo de HCNC, se realiza una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) con el objeto de que la Autoridad Ambiental autorice la ejecución del mismo. A tal fin, el proponente del proyecto (Empresa) presenta un informe técnico, que suele denominarse Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), en el que describe detalladamente las actividades y acciones a realizar (cronograma, localización), analiza los aspectos ambientales (impactos y riesgos en cada etapa del proyecto) y propone los cuidados ambientales (medidas) a tener en cuenta para mitigar los efectos negativos y potenciar los positivos. Sobre esta base, y luego de una evaluación técnica realizada por la propia repartición pública o mediando una consulta a terceros (centros de investigación, universidades nacionales, institutos tecnológicos, etc.), el proyecto puede ser rechazado o aprobado. En este último caso, puede ser aprobado sujeto al cumplimiento de condiciones y requisitos respecto de la gestión ambiental del proyecto durante la fase de construcción y/u operación.

Las propuestas de cuidados ambientales incluidas en el EsIA mencionado se organizan en lo que se conoce como un Plan de Gestión Ambiental (PGA), o de manejo ambiental, que suele contar al menos con un Programa de Seguimiento y Control (PSC), un Programa de Monitoreo Ambiental (PMA) y un Programa de Contingencias Ambientales (PCA). Si bien, dependiendo de las normativas vigentes en cada jurisdicción, estos programas pueden tomar distintos nombres y contenidos, a continuación se brinda un detalle de cada uno de ellos.

- Plan de Gestión Ambiental (PGA)

Es una herramienta de gerenciamiento ambiental elaborada como resultado final del Estudio de Impacto Ambiental (luego del análisis de impactos y de la elaboración de medidas), para asegurar la viabilidad ambiental del proyecto. Son sus objetivos: i) Garantizar la implementación en tiempo y forma de las medidas ambientales y otras recomendaciones del EsIA (Programa de Seguimiento y Control: PSC); ii) Evaluar la efectividad de las recomendaciones o medidas ambientales (Programa de Monitoreo Ambiental: PMA), y iii) Responder a situaciones imprevistas o extraordinarias (Programa de Contingencias Ambientales: PCA).

- Programa de Seguimiento y Control (PSC)

Conjunto de actividades organizadas para supervisar adecuadamente la ejecución de las actividades del proyecto y la implementación de las medidas ambientales recomendadas. Son sus objetivos asegurar la implementación en tiempo y forma de las medidas ambientales (diseño, construcción, operación, clausura) y orientar la implementación de medidas extraordinarias a partir de la información del PMA. El PSC está enfocado al proyecto, debiendo especificar quién, dónde, cuándo y cómo supervisa la aplicación de las medidas ambientales propuestas.

- Programa de Monitoreo Ambiental (PMA)

Conjunto de actividades organizadas para estimar, cuantificar o verificar un conjunto específico de indicadores ambientales tendientes a supervisar el estado del sistema ambiental antes, durante y después de la implementación del proyecto. Son sus objetivos: i) Generar información (variables o indicadores ambientales) sobre el estado del sistema ambiental antes, durante y después de la implementación del proyecto, y ii) Verificar la efectividad de las medidas ambientales recomendadas, así como las desviaciones respecto de los parámetros de referencia (“estándares”), proponiendo (eventualmente) medidas correctivas extraordinarias. A diferencia del PSC, el PMA está enfocado u orientado al ambiente, debiendo especificar qué medir, cómo, dónde y cuándo.

- Programa de Contingencias Ambientales (PCA)

Conjunto de actividades organizadas para identificar, valorar y responder en tiempo y forma a eventos extraordinarios durante la implementación y vida útil del proyecto. Son sus objetivos: i) Planificar acciones para evitar o prevenir eventos o desastres ambientales asociados a situaciones extraordinarios (eventos naturales o accidentes antrópicos), y ii) Prevenir accidentes y preparar respuestas (en tiempo y forma) ante eventos extraordinarios. El PCA debe especificar, frente a cada contingencia o accidente, quién toma decisiones, qué hacer, cómo y cuándo.

Medidas genéricas para la gestión ambiental de proyectos de HCNC

El PGA y sus programas componentes (PSC, PMA y PCA) son específicos para cada proyecto presentado para su aprobación, lo que depende de detalles técnicos para cada actividad y sitio en el que se desarrollen las mismas. En el marco del procedimiento de EIA, la autoridad de aplicación que aprueba los Estudios de Impacto Ambiental y autoriza el desarrollo de la actividad incorpora en su dictamen al PGA como de cumplimiento obligado por parte de las empresas responsables del proyecto.

Sin pretender brindar especificaciones técnicas para todas las variantes disponibles, se brindan a continuación una serie de medidas ambientales genéricas consideradas importantes en cada fase o etapa del proyecto (ya mencionadas en la Tabla 5.1). Si bien están destinadas a las empresas responsables de cada proyecto, pueden ser de utilidad para que la autoridad de aplicación se las exija en el marco de los EsIA o del propio PGA. En este sentido, estas medidas constituyen una versión preliminar de las buenas prácticas a las que se ha hecho referencia en secciones anteriores, siendo complementarias de las guías existentes (CFI, 2007.a; 2007.b).

1. Preparación

- Priorizar y planificar aspectos ambientales y sociales.
- Efectuar un relevamiento exhaustivo de las normas ambientales vigentes.
- Identificar las potenciales áreas sensibles, así como aquellos elementos naturales y grupos humanos vulnerables.
- Difundir el proyecto con información precisa, sea en forma oral o por folletería.
- Tomar contacto con autoridades locales, pobladores y grupos de opinión.
- Atender los reclamos, sugerencias y opiniones.
- Solicitar los permisos de acceso y/o acordar criterios y condiciones con los propietarios.

2. Exploración

- Evitar o minimizar la alteración al ecosistema nativo (vegetación, fauna, paisaje).

- Minimizar afectación o condicionamientos a los usos actuales (productivos, recreativos, comunitarios).
 - Minimizar y controlar ruidos en relación al nivel de fondo o base.
 - Minimizar y controlar las emisiones gaseosas.
 - Efectuar el tratamiento de efluentes líquidos.
 - Gestionar correcta e integralmente los residuos sólidos generados (según su tipología).
3. Infraestructura
- Especificar y difundir entre los operarios las normas y cuidados ambientales a tener en cuenta durante la construcción y operación de infraestructura de servicios.
 - Elaborar manuales internos y asignar responsabilidad ambiental del proyecto.
 - Solicitar permisos y brindar información a propietarios y usuarios.
 - Realizar el correspondiente análisis de factibilidad ambiental y social de las infraestructuras.
4. Locación
- Planificar cuidadosamente la inserción territorial de los grupos de locación (*clusters*).
 - Minimizar ocupación del terreno.
 - Optimizar sitios de perforación.
 - Controlar emisiones, efluentes y residuos asociados a cada locación.
 - Elaborar y difundir entre los operarios las normas de seguridad e higiene y las medidas preventivas y de respuesta frente a accidentes con consecuencias ambientales (derrames, accidentes viales, incendios, vuelcos).
 - Prever tareas de restauración y recomposición ambiental.
5. Perforación
- Planificar e implementar un plan de manejo integral de los residuos de perforación (*cuttings*).
 - Planificar e implementar un plan de manejo y tratamiento de efluentes líquidos y emisiones gaseosas.
 - Monitoreo ambiental de indicadores clave vinculados a calidad del agua y del aire.
 - Prevención y respuesta ante contingencias ambientales.
6. Terminación
- Inspeccionar y certificar terminación, verificación independiente por terceros.
 - Efectuar la limpieza y gestión integral de residuos (sólidos, líquidos).
 - Elaborar e implementar un plan de prevención y respuesta ante contingencias ambientales.
7. Fractura
- Manejo integral precautorio de sustancias y productos especiales, incluyendo transporte y acopio.
 - Implementar una gestión integral de las aguas de retorno.
 - Implementar las medidas de mitigación, así como los protocolos de monitoreo y contingencia ambiental.
 - Efectuar el monitoreo de microsismicidad.
8. Producción
- Implementar una gestión integral de residuos (sólidos, líquidos y gaseosos).

- Efectuar el seguimiento y control de instalaciones (mantenimiento).
- Contribuir a la implementación de los programas de seguimiento y monitoreo ambiental a escala regional (aguas subterráneas, cobertura vegetal, fauna silvestre, ecosistemas acuáticos, producción, población, accidentes).
- Implementar las medidas de restauración en adyacencias a las áreas de locación.
- Implementar los planes de contingencia ambiental.

9. Abandono

- Realizar el abandono según las exigencias legales correspondientes.
- Efectuar una evaluación final de posibles pasivos ambientales.
- Asegurar la implementación de las medidas para la restauración ecológica.
- Efectuar el seguimiento y monitoreo ambiental.

Estrategias complementarias para la gestión ambiental de proyectos de HCNC

La preocupación por las cuestiones ambientales y sociales de la explotación de los HCNC, evidenciada en las redes sociales y en la opinión pública de diversos países, ha generado una importante respuesta por parte de empresas y operadores de la industria (McBride, 2014; Dunn, 2014; Auger, 2014). En algunos foros internacionales se aprecia el reconocimiento por parte de las empresas de la necesidad de operar con licencia social, para lo cual se proponen estrategias operativas que aseguren un alto nivel de desempeño ambiental (Birol, 2014; McBride, 2014; Dunn, 2014). Una de las mayores preocupaciones asociadas al uso del agua se relaciona con la transparencia en el proceso de toma de decisiones, y la consideración integral de las cuestiones ambientales, con el objeto de obtener la licencia social de los actores locales clave (*stakeholders*), más allá del mero cumplimiento de las regulaciones locales (Taylor, 2014).

Algunas estrategias operativas incluyen la difusión de los aditivos utilizados en la fractura, la evaluación de riesgos ambientales y para la salud, generar información de base, aseguramiento de la calidad constructiva del pozo de perforación, consideraciones respecto a la fuente de agua, el transporte, almacenaje y disposición de los fluidos o la sismicidad inducida (Dunn, 2014). Se han propuesto “Reglas de Oro”, que les permitan a los actores clave (*stakeholders*) gestionar los impactos ambientales y sociales de la explotación de gas no convencional, de modo de operar con licencia social (Birol, 2014). Entre ellas se numera (se incluye versión en inglés para aclarar el concepto):

1. Mida, divulgue y comparta o involucre (“*Measure, disclose & engage*”).
2. Preste atención a dónde perfora (“*Watch where you drill*”).
3. Aísle la perforación y prevenga las pérdidas (“*Isolate well & prevent leaks*”).
4. Maneje el agua responsablemente (“*Treat water responsibly*”).
5. Evite el venteo, minimice la quema y otras emisiones (“*Eliminate venting, minimise flaring & other emissions*”).
6. Esté preparado para pensar en grande (“*Be ready to think big*”).
7. Asegure un alto nivel de desempeño ambiental (“*Ensure a consistently high level of environmental performance*”).

Complementariamente, la exploración y explotación de HCNC está generando un importante análisis estratégico, a escala nacional y a largo plazo, en los gobiernos de numerosos países (China, India, México, Colombia, Australia, Canadá, EE.UU.), en los cuales la cuestión ambiental y social, vinculada con la licencia social de los proyectos, se presenta como uno de los mayores desafíos, siendo vinculados con eventuales ajustes en los mecanismos y procedimientos de regulación, que implican acuerdos interministeriales e involucramiento de otros actores (empresas, academia, centros de investigación y desarrollo públicos o privados). Ejemplos de ello, son los casos de EE.UU. (Briskin, 2014), México (CNH, 2014), Canadá (Jeakins, 2014) o Colombia (Sánchez-Thorin, 2014).

El enfoque implementado a estas cuestiones incluye desarrollar un programa de manejo de conocimiento e información, el aprendizaje a partir de la experiencia, la regulación a partir de información fáctica o basada en hechos concretos, brindar respuestas técnicas al público y utilizar un esquema de mejora continua (Sánchez-Thorin, 2014). Interesante de mencionar es la creación de oficinas técnicas altamente especializadas para el manejo de información sobre los recursos hídricos subterráneos con el fin de realizar estudios de evaluación de riesgo acumulativo de afectación, como en el estado de Queensland, Australia (Cox, 2014). La independencia o autarquía en el funcionamiento de esta oficina mejora la confianza de la población y contribuye a la licencia social de la actividad (Cox, 2014).

Existe coincidencia en que los mayores desafíos de la explotación de HCNC se relacionan con el manejo del agua, incluyendo el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y superficiales (con metano o con fluido utilizado en la fractura hidráulica), demanda de agua y manejo del agua de retorno y contaminación del aire (Sullivan, 2014; Dunn, 2014; Jenkins, 2014; Briskin, 2014; Hoffman *et al.*, 2014). El agua de retorno (*flowback*) constituye un efluente de aguas residuales con un perfil de contaminantes heterogéneo que varía espacial y temporalmente, por lo que su tratamiento es complejo (Sullivan, 2014). Actores locales en Neuquén (Argentina) han planteado la incertidumbre que generan los cambios en las regulaciones y en las políticas respecto de la explotación de HCNC (Etcheverry, 2014), lo que claramente tiene repercusiones sobre la planificación y gestión ambiental de esta actividad.

El estudio de Rahm & Rhiva (2012) utiliza un enfoque estratégico para evaluar los impactos ambientales asociados a múltiples proyectos de HCNC a una escala regional. Los autores señalan que la evaluación de las políticas y procesos de planificación, complementarios de la evaluación de los proyectos, son necesarios para identificar a escala de una región las estrategias para gerenciar el desarrollo del proyecto de HCNC, maximizando los beneficios y minimizando las consecuencias negativas de los mismos. La naturaleza compleja de los proyectos distribuidos de HCNC, combinados con las limitaciones de información sobre sus consecuencias ambientales, es un desafío para establecer respuestas de regulación apropiadas, las que deberían ser elaboradas a una escala regional.

Por otro lado, si bien el desarrollo de los HCNC es factible desde una perspectiva técnica y económica, ello requiere de al menos cinco a diez años de desarrollo, debiendo diversificar la matriz energética, mejorar la eficiencia energética y promover la sustitución energética (con fuentes alternativas y renovables), para lo cual es necesario definir y diseñar una política energética hacia una matriz diversificada y sustentable (Di Sbroiavacca, 2013). Esta propuesta de diversificar la matriz energética es coincidente con la de alcanzar en el año 2016 un 8% del consumo nacional a partir de fuentes de energía renovables (Villalonga, 2013). En este contexto, y al igual de lo que ocurre en los EE.UU., se considera la explotación de los HCNC como una transición hacia las energías renovables (ANI, 2013; Villalonga, 2013).

Síntesis de impactos y medidas ambientales estratégicas

Además de las medidas que debieran aplicar las empresas enmarcadas en lo que puede denominarse las “Mejores Prácticas” (Tabla 5.1), hay medidas ambientales que debieran aplicar otros actores de relevancia en la región. En la Tabla 5.4, se identifican dichas medidas estratégicas para cada uno de los aspectos ambientales (impactos y riesgos), indicándose en cada caso el responsable de su aplicación.

Nº	ASPECTO AMBIENTAL	DESCRIPCIÓN	CARACTERIZACIÓN		MEDIDAS AMBIENTALES	RESPONSABLE
			TIPOLOGÍA	VALORACIÓN		
1	Asociado a la calidad del agua	Riesgo de contaminación del agua por: i) Pérdida de agua de inyección con aditivos por inadecuada construcción y terminación del pozo; ii) Vuelco indebido (mala praxis) o accidental de aguas de retorno (<i>flowback</i>); o iii) Rotura del sistema superficial de tuberías y válvulas en la locación o en los ductos regionales.	Riesgo Acumulativo	Alta Regional	Exigir aplicación de mejores prácticas disponibles. Exigir tratamiento en aguas de retorno evitando su vuelco superficial (<i>flowback</i>), incentivando reúso y disposición final adecuada. Verificar implementación del programa de contingencias ambientales. Supervisar perforación y cementación previa a fractura. Implementar certificación y verificación independiente de terminación y uso de aditivos.	Provincia Empresas
2	Asociado a la calidad del aire	Además de la generación de ruidos, efluentes gaseosos (combustión) o material particulado al aire, o de fugas de productos químicos propias de las tareas de explotación de HCNC, existe el riesgo de emisiones no controladas de gases desde los reservorios de HCNC (COV, HAP, GEI). Las perforaciones que no estén bien terminadas pueden ocasionar el escape de metano hacia la atmósfera y ocasionan eventos de contaminación del aire y del agua.	Riesgo Acumulativo	Bajo Regional	Exigir aplicación de mejores prácticas disponibles. Certificar la terminación de los pozos incorporando como medida rutinaria pruebas de presurización antes de iniciar la explotación del pozo. Monitoreo y control permanente de potenciales emisiones gaseosas, especialmente fugas de metano.	Provincia Empresas
3	Asociado al manejo de residuos sólidos	En cada perforación se generan residuos sólidos y semisólidos (<i>cuttings</i>). Estos residuos de naturaleza especial o peligrosa deben ser tratados y dispuestos según normas nacionales y provinciales, debiendo ser manejados, transportados y tratados en forma integral y por personal especializado.	Impacto Acumulativo	Alto Regional	Manejo integral de los residuos de perforación y tratamiento de residuos peligrosos. Consolidar un centro regional de tratamiento de residuos de perforación. Supervisión y certificación externa de tecnologías de perforación. Exigir aplicación de mejores prácticas disponibles.	Nación Provincia Empresas
4	Contingencias asociadas a condiciones locales	Las características geológicas locales, relacionadas con la presencia de fallas, pueden generar incremento en los riesgos ambientales, por ejemplo, un incremento de la actividad sísmica o la conexión y movimiento de hidrocarburos (petróleo, gas metano) o del agua de inyección hacia la superficie.	Riesgo Acumulativo	Bajo Regional	Mapeo y zonificación de condiciones de riesgo geológico, hidrogeológico y ambiental. Desarrollo de tecnologías y prácticas específicas para condiciones vulnerables. Monitoreo regional de sismicidad. Exigir aplicación de mejores prácticas disponibles.	Nación Provincia Empresas
5	Disponibilidad y uso del agua	La perforación de cada pozo de HCNC requiere de grandes volúmenes de agua, pudiendo variar aproximadamente entre 5000 y 30.000 m ³ de agua, utilizada durante la actividad de la fracturación hidráulica.	Impacto Acumulativo	Alto Regional	Evaluar la disponibilidad de agua, caudal ecológico y otros usos en relación con la fuente. Implementar programas de medición y monitoreo de caudales y calidad. Evaluar alternativas de conducción y almacenamiento de agua. Fomento de la recuperación y reciclaje de agua. Alternativas de calidad de agua para distintas actividades.	Provincia

6	Ecosistemas locales	La ocupación del territorio (grupos de locación, edificios), el tendido de infraestructura (caminos, poliductos), el incremento de la población local y su demanda de servicios (combustible, leña, suelo, alimento) y espacio para viviendas ocasionan modificaciones en los ecosistemas locales y en la ecología del paisaje, pudiendo generar un deterioro de la biodiversidad a escala regional.	Impacto Acumulativo	Moderado Regional	Minimizar alteración del ecosistema local. Identificar zonas ecológicamente sensibles. Mapeo y zonificación preventiva. Asegurar restauración ecológica del sitio intervenido. Establecer y/o consolidar áreas naturales protegidas como medida de compensación del deterioro en la biodiversidad regional y como reaseguro de fuente de regeneración de la biodiversidad regional y restauración de los servicios ecosistémicos.	Provincia Empresas
7	Patrón de uso y ocupación del territorio	El incremento de inversiones, la demanda de mano de obra y el proceso inmigratorio condicionarán el desarrollo y extensión de pequeños poblados, modificando la tenencia de la tierra, el parcelamiento, el uso y la conectividad del territorio, alterando los patrones espaciales y los procesos del mismo.	Impacto Indirecto Acumulativo	Alto Regional	Implementar planes de ordenamiento territorial en los centros poblados cercanos al área de desarrollo, identificando sectores vulnerables, zonificando para usos diversos (residenciales, industriales) y previendo el desarrollo de infraestructura de servicios públicos (agua, cloacas, residuos sólidos urbanos), así como de servicios educativos y sanitarios. Identificar los centros urbanos prioritarios (Añelo) e iniciar proceso de ordenamiento territorial.	Municipio Provincia
8	Contexto social y cultural	El incremento de las inversiones, de la demanda de mano de obra, crecimiento económico regional, procesos inmigratorios, demanda de servicios públicos (saneamiento, seguridad, educación, salud), oferta de servicios (residencia, hoteles, personales), cambio en patrones culturales, riesgo de degradación del entorno social, generación de conflictos locales, nuevas enfermedades infecciosas, etc.	Impacto Indirecto Acumulativo	Alto Local	Implementar planes de desarrollo integral a escala local. Combinar con estrategias de ocupación territorial a escala regional (transporte). Identificar centros (Añelo). Planificar y organizar el proceso de inmigración y expansión urbana. Establecer sistema de transporte diario a locaciones.	Provincia Municipio Empresas
9	Congestión por tránsito	El incremento en el flujo de vehículos con personal, equipos pesados, maquinarias y camiones ocasionará conflictos por congestión del tránsito y una demanda de adecuación de los caminos, de los servicios auxiliares y de mantenimiento de las rutas y caminos.	Impacto Acumulativo	Alto Local	Implementar controles de transporte en puntos específicos. Establecer rutas, horarios y prioridades de circulación.	Provincia Municipio Empresas
10	Deterioro de infraestructura vial	Incremento de flujo de camiones y equipos pesados durante fase de perforación.	Impacto Acumulativo	Alto Regional	Realizar inversiones para mejorar la infraestructura (reafirmar asfalto, cruces, rotondas, señalización).	Provincia Municipio
11	Demanda de gestión de residuos sólidos	El incremento en la población permanente, así como de los operarios y técnicos, residan temporal o permanentemente en la región (centros poblados o locaciones), implica un incremento en la generación de residuos sólidos de distinta tipología.	Impacto Acumulativo	Moderado Regional	Establecer un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (urbanos y especiales). Analizar necesidad de nuevo relleno sanitario y centro de tratamiento de especiales. Promover estrategias de reuso, recuperación, reciclado (3R).	Empresas Municipio
12	Demanda de Inversiones para el desarrollo local	El incremento de la población, la mayor demanda de servicios e infraestructura aumentan la demanda de inversiones a nivel local. Estas inversiones	Impacto Indirecto Acumulativo	Alto Regional	Planificación regional. Desarrollo de infraestructura y equipamiento social a escala local, inversiones productivas y capacitación. Acuerdos con gobiernos locales.	Nación Provincia Empresas

		deberán planificarse en un contexto de ordenamiento territorial a largo plazo, consolidando algunos centros poblados y evitando la dispersión de la población en la región.			Escuelas y talleres de capacitación local. Capacitar en actividades vinculadas al proyecto de HCNC (microempresas).	
13	Alteración de las relaciones económicas en los sistemas productivos de la región	La demanda de mano de obra para servicios a la industria hidrocarburífera generará un cambio significativo en el esquema de remuneración de actividades locales con movilidad laboral hacia nuevos rubros.	Impacto Indirecto Acumulativo	Moderado Regional	Prever instancias de capacitación y esquemas de retención de mano de obra calificada en puestos de trabajo en sistemas productivos locales (producción agropecuaria, frutihortícola, construcción).	Provincia
14	Riesgos al patrimonio cultural, histórico, paleontológico, etc.;	El incremento y simultaneidad en el desarrollo de actividades de perforación, tendido de infraestructura, locaciones, etc., aumenta el riesgo de alteración de elementos de valor patrimonial en la región.	Riesgo Acumulativo	Bajo a moderado Regional	Disponer equipos de rescate y valorización del patrimonio. Realizar prospecciones preventivas. Organizar respuestas ante hallazgos. Informar a las empresas responsabilidades y procedimientos. Organizar, capacitar y equipar un cuerpo técnico de especialistas que pueda responder con agilidad y eficiencia a los eventuales hallazgos en la región. Convenios con universidades.	Nación Provincia Empresas
15	Demanda de controles ambientales	Incremento de actividades e incremento de la necesidad de: procesos de aprobación de proyectos y supervisión en campo. Demanda de personal capacitado, equipamiento, vehículos, etc.	Impacto Indirecto Acumulativo	Alto Regional	Evaluar necesidad de fortalecimiento institucional (provincial). Coordinar asistencia técnica con Centros de investigación y Universidades. Planes de gestión a escala regional (monitoreo). Estrategia de Línea de Base Ambiental regional. Incrementar personal capacitado, equipamiento, vehículos, etc.	Provincia Nación
16	Demanda de desarrollo tecnológico	Necesidad de desarrollar nuevas estrategias y técnicas de perforación y extracción de HCNC. Oportunidad para salto tecnológico a escala nacional.	Impacto Indirecto Acumulativo	Moderado Regional	Conformar Polo de Desarrollo Tecnológico. Convenio gobierno, empresas y universidad para la evaluación, certificación, seguimiento y monitoreo de tecnologías.	Nación Provincia Empresas
17	Accesibilidad a zonas en litigio	La existencia de comunidades aborígenes que reclaman propiedad comunitaria de territorios localizados en el área del proyecto puede generar conflictos de acceso o desarrollo del proyecto.	Impacto Indirecto Acumulativo	Alto Regional	Mapeo de zonas en litigio, identificación de comunidades aborígenes y establecimiento de acuerdos y convenios institucionales. Ordenamiento territorial y acuerdo integral entre gobierno provincial y representantes de comunidades aborígenes.	Provincia
18	Consolidación del uso de combustibles fósiles en la matriz energética	La disponibilidad de recursos HCNC contribuye a consolidar el uso y dependencia de los combustibles fósiles con el consecuente mantenimiento de los niveles de generación de GEI.	Impacto Indirecto Acumulativo	Regional Nacional	Los beneficios del desarrollo de los HCNC deben aprovecharse para subsidiar la investigación y desarrollo de energías no convencionales renovables (eólica, solar). Elaborar un plan energético nacional a largo plazo (25 o + años), incrementando progresivamente el uso de energías renovables. Potenciar el desarrollo de tecnologías locales.	Nación Provincia

Tabla 5.4 Tabla de síntesis de impactos y medidas ambientales estratégicas del desarrollo de HCNC.

Recomendaciones para la factibilidad integral del proyecto de HCNC

La presente Evaluación Ambiental ha adoptado un enfoque estratégico, considerando la explotación de los HCNC en forma integral, una escala regional y de largo plazo (10 a 20 años) e incluyendo los aspectos institucionales, tanto locales como regionales (provinciales). Se han identificado las actividades potencialmente impactantes en todas las etapas de la explotación de HCNC y se han analizado los impactos y riesgos estratégicos (indirectos, acumulativos), planteando una serie de medidas ambientales genéricas, tendientes a la prevención, mitigación, control o compensación de los mismos (Tabla 5.4).

El área de estudio, localizada en la provincia del Neuquén, es suficientemente extensa como para mostrar heterogeneidad ambiental en aspectos tales como sus características geológicas, hidrológicas, edáficas, ecológicas, de usos del suelo, sociales, territoriales, etc., lo que puede condicionar una importante variabilidad en los riesgos ambientales y en la criticidad de los impactos ambientales eventualmente asociados con las actividades de explotación de los HCNC. Esta situación debería ser acompañada por un ajuste o adecuación de las tecnologías o buenas prácticas aplicables para evitar o minimizar las consecuencias ambientales negativas. En este contexto, durante el proceso de desarrollo de los HCNC, tanto las empresas como la autoridad de aplicación deberán identificar, seleccionar, evaluar y monitorear nuevas tecnologías en función de situaciones novedosas o, incluso, imprevistas.

A diferencia de lo que ocurre en una condición de “enclave industrial o productivo”, en el cual una empresa es la única referente y responsable de todas las actividades que se ejecutan en un área, la explotación de HCNC en el área de estudio implica el involucramiento de numerosas empresas, varias de ellas internacionales, que utilizan tecnologías de perforación, estrategias operativas y estándares ambientales diversos, por lo que la asignación de responsabilidades ante eventuales efectos indeseados del proyecto de desarrollo de HCNC, así como las tareas de seguimiento, inspección, control o supervisión, serán más complejas.

Existe coincidencia (RS&RAE, 2012; ANI, 2013) en que las cuestiones ambientales pueden resolverse aplicando las herramientas de gestión ambiental actualmente disponibles, incluyendo los procedimientos de Evaluación Ambiental o la fiscalización y regulación, considerando los planes de gestión, manejo o remediación ambiental asociados o derivados de ellas. Sin embargo, la situación de heterogeneidad ambiental regional y la presencia simultánea de numerosas empresas requiere, desde un punto de vista del gerenciamiento ambiental, un enfoque y una actitud abiertos e innovadores, que adopten un criterio de gerenciamiento adaptativo y experimental, enmarcado en la filosofía de los Sistemas de Gestión Ambiental: planificar, hacer, verificar (chequear) y actuar (corregir, ajustar Fig. 5.6). La factibilidad integral del proyecto de HCNC sólo es posible si se apunta a un desarrollo sustentable, lo que requiere optimizar los beneficios económicos, la sustentabilidad ambiental y la equidad social en el área de influencia del mencionado proyecto (Fig. 5.5).

Sobre esta base, es que se plantea la necesidad de elaborar estrategias de gestión ambiental tendientes a mejorar la factibilidad integral del proyecto de HCNC. Estas recomendaciones tienen por objeto incorporar las cuestiones ambientales al desarrollo del proyecto con el fin de convertirlo en un proyecto de desarrollo regional integral.

A continuación, se presentan algunas recomendaciones de estrategias de gestión ambiental a ser implementadas desde los organismos de gobierno (pudiendo ser lideradas por autoridades provinciales) y que involucran a otros actores relevantes para el desarrollo de los HCNC (empresas, municipios, centros de investigación, Gobierno Nacional).

1. Estudios regionales:

Se plantea la necesidad de elaborar estudios regionales que faciliten la gestión ambiental de la autoridad de aplicación (provincia) y de las empresas que actúen en el marco del proyecto. El objetivo principal debiera ser la elaboración de una línea de base ambiental a escala regional, con el objeto de que sirva de base para identificar elementos naturales, sectores y grupos humanos vulnerables, así como seleccionar indicadores ambientales apropiados y efectivos para el seguimiento del estado del sistema ambiental (ecosistema y subsistema antrópico) regional.

Algunos estudios específicos a realizarse en este marco serían:

- Estudio de identificación y mapeo de las áreas ambientalmente sensibles o vulnerables con el fin de evitar o restringir o aplicar distintas tecnologías para minimizar los impactos y riesgos ambientales. Algunas de estas zonas sensibles son: i) las áreas urbanas o pobladas; ii) las áreas productivas o con usos sensibles; iii) las áreas cercanas a cuerpos de agua o humedales; iv) las áreas de importancia ecológica o natural, y v) las áreas de valor patrimonial. En estas áreas se deberán restringir las actividades de exploración y explotación o aplicar medidas extraordinarias de seguridad tendientes a evitar la generación de accidentes que pudieran dar origen a eventos ambientales.
- Estudio de identificación y mapeo de zonas de riesgos geológico, incluyendo áreas con presencia de fallas que pudieran generar escapes de hidrocarburos (metano, etc.) hacia la superficie, áreas con presencia de materiales naturalmente radiactivos, áreas de inestabilidad geológica. En estos casos se evaluarán la viabilidad y las condiciones técnicas para eventualmente realizar una perforación para el aprovechamiento de HCNC.
- Mapa de zonificación de riesgo hidrogeológico en relación con profundidad de acuíferos y otros criterios, identificando sectores en los cuales exista algún riesgo de poner en contacto los reservorios de HCNC con acuíferos superficiales. En estos casos se evaluarán la viabilidad y las condiciones técnicas para eventualmente realizar una perforación para el aprovechamiento de HCNC. Obviamente, este estudio debiera abarcar también los temas a los que se hace referencia en el Capítulo 4.
- Estudio de las consecuencias ecológicas a escala de ecosistema y paisaje de la alteración en superficie por intervenciones asociadas a los HCNC, tanto en el medio terrestre como acuático.
- Otros estudios complementarios orientados a la identificación y mapeo de: i) grupos humanos vulnerables, específicamente de las comunidades y territorios con asentamientos aborígenes; ii) pasivos ambientales; iii) infraestructura existente.

Complementariamente, puede tomarse de referencia el estudio de evaluación ambiental (riesgos e impactos ambientales) desarrollado por la USEPA (2011; 2012). El objetivo de ese proyecto nacional de investigación, enfocado a todas las etapas del denominado ciclo del agua de la fractura hidráulica (ver Fig. 5.11 y texto acompañante), es analizar los potenciales impactos de la fractura hidráulica sobre los recursos hídricos para bebida (*drinking wáter resources*). Ese estudio,

a ser desarrollado por un equipo interdisciplinario de profesionales e investigadores, en colaboración con expertos del sector público y privado, utilizará datos existentes del sector público o privado, analizará casos de estudio en el campo, evaluará y modelizará escenarios alternativos y/o realizará estudios de laboratorio, para mejorar el conocimiento sobre los fluidos utilizados en la fractura hidráulica, las interacciones con la roca madre o generadora (shale), las opciones de tratamiento de los líquidos residuales (*flowbacks*) y las características toxicológicas de ellos (USEPA, 2011; 2012).

Con respecto al seguimiento de las consecuencias ambientales del desarrollo del proyecto de HCNC, se debiera realizar un programa de monitoreo ambiental integral a escala regional. Esta tarea podría ser llevada adelante por instituciones académicas de la región, con la supervisión externa de centros de investigación extrarregionales y universidades nacionales. Si bien está fuera del alcance de este documento especificar las variables e indicadores ambientales a incluir en este programa, pueden identificarse los componentes y procesos relevantes a ser considerados para su seguimiento:

- Calidad del agua superficial y subterránea (control de la contaminación).
- Calidad del aire (control de la contaminación).
- Consumo de agua en relación con la disponibilidad de los recursos hídricos.
- Estado de conservación de los ecosistemas regionales (biodiversidad).
- Monitoreo ecológico de especies clave de los principales ecosistemas terrestres y acuáticos (benéficas o perjudiciales).
- Estado de salud de la población local (estudios epidemiológicos anuales).
- Productividad y uso del suelo en la región.
- Contingencias ambientales (registro de accidentes, consecuencias y causas).

Estos estudios debieran tener una escala de trabajo (espacial y temporal) que implique la colaboración de distintas instituciones públicas, del gobierno nacional y provincial, así como de otros actores (centros regionales de investigación, institutos tecnológicos, universidades nacionales, etc.), tal como se observa entre organismos públicos y la USEPA (DOE-DOI-EPA, 2012). Esto permitiría llevar adelante estudios de largo plazo que permitieran conformar una base de datos, análisis de impactos y riesgos, y efectividad de las medidas ambientales o de compensación ambiental.

2. Herramientas de gerenciamiento ambiental:

Se plantea la necesidad de identificar y analizar la pertinencia de desarrollar e implementar herramientas de gerenciamiento ambiental específicas para el proyecto de HCNC en el área de estudio. Las mismas serán complementarias a las existentes en el marco de las normativas ambientales vigentes (específicamente a los procedimientos de EIA):

- Elaborar una Guía o Manual de Mejores Prácticas para la exploración y explotación de los HCNC en la región, identificando zonas especiales (sensibles, vulnerables, riesgosas, etc.) y los requerimientos de tecnologías y cuidados específicos en tales sectores. En este sentido pueden tomarse de referencia las guías internacionales existentes (CFI, 2007.a; 2007.b), así como las prácticas recomendadas para reservorios no convencionales (IAPG, 2012).

- Promover mecanismos de certificación, y una verificación independiente por terceras partes, para la actividad de perforación y terminación de pozos de HCNC.
- Establecer un registro de tecnologías adecuadas para la perforación, fractura hidráulica, tratamiento de residuos (sólidos, líquidos), etc., en el cual deban inscribirse las distintas empresas operadoras.
- Establecer un registro de productos químicos para el uso de aditivos en la fractura hidráulica.
- Establecer un registro de contingencias ambientales asociadas al desarrollo de HCNC, incluyendo incidentes o accidentes ocurridos en todas y cada una de las actividades vinculadas al mismo, incluyendo lugar y momento del incidente y el análisis de causas asociado.
- Exigir la implementación de Sistemas de Gestión Ambiental para las empresas que operen en la región (con el compromiso de excelencia y transparencia a la comunidad).
- Exigir la Evaluación Ambiental de Riesgos (*Environmental Risk Assessment*) integral a las operaciones asociadas a los HCNC.
- Efectuar un programa de monitoreo ambiental regional en el que se seleccionen los indicadores ambientales, se zonifique el territorio, se genere y analice la información periódicamente, y al que las empresas deben contribuir con los datos e información generada en sus programas de monitoreo ambiental. Ese programa debe actualizarse periódicamente con la localización de los pozos, ocurrencia de accidentes o incidentes de importancia ambiental (accidentes), por compañía, etc.

3. Fortalecimiento institucional:

Se plantea la oportunidad de evaluar la necesidad de fortalecimiento institucional a nivel provincial tendiente a adecuar su capacidad de gerenciamiento ambiental del proyecto de HCNC en la región (planificación, evaluación, regulación, control, inspección, etc.).

Dependiendo de la intensidad del desarrollo del proyecto de HCNC en la zona de estudio, medible en número de pozos ejecutados por unidad de tiempo (mes, año) y número de empresas instaladas en la región, se generará una demanda de respuesta a solicitudes de permisos, atención a presentaciones varias (estudios de impacto ambiental), evaluación de estudios técnicos complejos, control de operaciones a campo, inspecciones, auditorías, etc. Esto repercute a nivel institucional demandando un incremento en la capacidad de respuesta, lo que implica mayor espacio físico de oficinas (tanto en dependencias centrales como en las localidades periféricas), incremento en la planta permanente o contratada, capacitación específica en las técnicas y equipos utilizados en la explotación de recursos HCNC, equipamiento, vehículos y equipos de medición, recursos para combustibles, viáticos, mantenimiento, choferes, etc. De no mediar una rápida respuesta institucional, no podrá verificarse la aplicación de buenas prácticas, dando lugar a un incremento en el riesgo de incidentes o accidentes con consecuencias ambientales. Más aún, el desarrollo del proyecto de HCNC requiere de claridad, transparencia y agilidad en la provisión de trámites administrativos de gestión ambiental.

En este sentido, se recomienda realizar un estudio específico tendiente a evaluar la necesidad de un fortalecimiento institucional, especificando los aspectos más relevantes y dimensionando la magnitud del mismo acorde con la demanda previsible de servicios administrativos. Este estudio sobre la necesidad de fortalecimiento institucional debe ser considerado parte de las inversiones estructurales del proyecto de HCNC por parte de los gobiernos nacional, provincial y municipal,

debiendo ser acompañado con los recursos económicos necesarios para su implementación. Un aspecto complementario de este estudio podría ser realizar una evaluación de la necesidad de incorporar nuevas normativas específicas para profundizar los aspectos ambientales del desarrollo de los HCNC en el país, tal como ya existen en la región (Neuquén, 2012: Dto. 1483/12).

4. Convenios interinstitucionales:

A fin de llevar adelante los estudios mencionados, facilitar la implementación de las herramientas de gerenciamiento ambiental, y complementariamente al fortalecimiento institucional en el orden provincial, así como para consolidar un modelo de desarrollo regional asociado al proyecto de HCNC, se plantea la oportunidad de realizar convenios interinstitucionales.

Se han identificado tres estrategias de cooperación, cuyos detalles se brindan a continuación.

- a) Estrategia de asesoramiento y transferencia científico-tecnológica al proyecto HCNC (Convenio gobierno provincial y centros de investigación regional y universidades nacionales).
- b) Estrategia de acuerdos para el gerenciamiento ambiental del proyecto HCNC (Convenio gobierno provincial y empresas del sector).
- c) Estrategia de cooperación para el desarrollo regional (Convenio gobierno provincial, gobierno nacional).

- a) Estrategia de asesoramiento y transferencia científico-tecnológica al proyecto HCNC (Convenio gobierno provincial y centros de investigación regional y universidades nacionales).

Se plantea la necesidad de establecer o ampliar acuerdos de cooperación entre el gobierno provincial (autoridad ambiental) y los centros regionales de investigación científica y tecnológica (universidades nacionales, INTA, INTI, etc.) con el fin de optimizar el asesoramiento y transferencia científico-tecnológica en temas de relevancia ambiental del proyecto de HCNC en la región.

Este acuerdo entre las unidades académicas y centros de investigación tecnológica regional y la administración provincial debiera posibilitar que la actividad de los investigadores y técnicos se vincule con las necesidades de la administración en temas ambientales, facilitando el asesoramiento permanente, la transferencia de conocimientos y la capacitación continua a los técnicos provinciales. Algunas de las actividades específicas a realizar se listan a continuación:

- Elaboración de Guías de Buenas Prácticas de la industria para la explotación de HCNC, a ser utilizadas por las empresas y los técnicos provinciales, tomando como base las guías existentes (CFI, 2007.a; 2007.b; IAPG, 2012).
- Participación en los procesos de evaluación o revisión de los estudios técnicos previo a su aprobación por parte de la autoridad de aplicación.
- Realizar auditorías externas para verificar el cumplimiento de las buenas prácticas y la efectividad de los procesos de seguimiento y control.
- Organizar y ejecutar un programa de monitoreo ambiental integral para variables o indicadores específicos, que sirva de base para la evaluación ambiental de todo el proyecto de HCNC en la región.

- Colaborar en la organización, capacitación e implementación de los programas de rescate y puesta en valor del patrimonio natural o histórico de la región.
- Establecer mecanismos de inspección y certificación, así como de verificación independiente por terceras partes, de algunas actividades específicas (terminación de pozos, fractura hidráulica).
- Capacitar y fortalecer equipos gubernamentales para las tareas de inspección y control de las normativas ambientales vigentes.
- Colaborar en la evaluación de los registros de tecnologías y sustancias químicas a ser utilizadas como aditivos de HCNC.

b) Estrategia de acuerdos para el gerenciamiento ambiental del proyecto HCNC (Convenio gobierno provincial y empresas del sector).

A fin de mejorar el gerenciamiento ambiental del proyecto de HCNC en la región, es recomendable establecer una mesa de diálogo entre el gobierno provincial, los centro de investigación y las empresas (o cámaras empresarias), con el fin de acordar criterios, estrategias y estándares de calidad ambiental que permitan agilizar, simplificar, hacer más efectivos y transparentes los procedimientos de evaluación, seguimiento y control ambiental. Algunos acuerdos pueden estar referidos a:

- Acordar criterios y estándares para la elaboración de las Guías de Buenas Prácticas de la industria para la explotación de HCNC, a ser utilizadas por las empresas y los técnicos provinciales, tomando como base las guías existentes (CFI, 2007.a; 2007.b; IAPG, 2012).
- Acordar criterios para revisar la necesidad de especificaciones respecto del listado de sustancias a ser utilizadas como aditivos de HCNC.
- Acordar criterios y mecanismos de supervisión de tecnologías de perforación.
- Establecer criterios y procedimientos de certificación y una verificación independiente por terceras partes con el fin de minimizar potenciales conflictos y generar un sistema de gestión ambiental que asegure la mejora continua.
- Establecer estándares de cumplimiento ambiental, tomando de referencia las guías internacionales existentes (BM/IFC), toda vez que sean superadoras de los estándares locales (provinciales o nacionales) y que sean de cumplimiento obligatorio en el marco de las Guías de Buenas Prácticas a desarrollar.
- Ajustar criterios y procedimientos de evaluación ambiental, estrategias de seguimiento y control e implementación de programas de monitoreo ambiental.
- Acordar criterios y procedimientos para la gestión de residuos, tránsito local, relacionamiento con pobladores, comunidades aborígenes y autoridades locales, control de accidentes, etc.

c) Estrategia de cooperación para el desarrollo regional (Convenio gobierno provincial, gobierno nacional).

La magnitud del proyecto de HCNC plantea una serie de demandas de provisión de infraestructura y servicios a los gobiernos locales y provinciales, que requerirán de importantes inversiones, que deben ser necesariamente apoyadas o solventadas parcial o totalmente por el gobierno nacional. A tal fin se plantea la posibilidad de conformar una mesa de trabajo para el desarrollo regional en

relación con las demandas del proyecto de HCNC, y en el que intervengan representantes de los gobiernos provincial y nacional.

En este contexto, se deberán elaborar planes de desarrollo integral, así como proveer de la infraestructura necesaria para el desarrollo del proyecto, incluyendo:

- Plantas de tratamiento de residuos especiales (residuos de perforación) y rellenos sanitarios.
- Infraestructura para el abastecimiento de agua de calidad.
- Construcción y mantenimiento de vías de comunicación (rutas, caminos, etc.).
- Planes de ordenamiento territorial.
- Planes de desarrollo de la infraestructura (agua, cloacas, residuos).
- Infraestructura de transporte (terminal de ómnibus).
- Infraestructura de servicios: salud, educación, seguridad.

Complementariamente, la interjurisdiccionalidad existente en la Argentina, propia de su naturaleza federal, en lugar de ser un condicionante o una limitación para la implementación de políticas públicas uniformes y equilibradas, puede ser la oportunidad y la condición para el establecimiento de mecanismos de similar naturaleza, a fin de generar un espacio geográfico homogéneo respecto de los condicionantes y exigencias a este desarrollo que asegure un contexto previsible y a largo plazo, única garantía de cumplimiento y estabilidad, necesaria para las inversiones de capitales nacionales o internacionales.

Puede ser necesario desarrollar una normativa específica para el desarrollo de los HCNC que especifique procedimientos, estándares, tecnologías y estrategias de desarrollo innovadoras, así como procedimientos de regulación y control que aseguren un estricto cumplimiento de los objetivos del proyecto en un marco de minimización de los riesgos e impactos ambientales asociados. Algunas especificaciones pueden orientarse al procedimiento de EIA, tendiente a establecer criterios y parámetros de evaluación claros y rigurosos, así como equipos de profesionales especialmente capacitados, un contenido de los Informes de EIA específicos, así como instancias de aprobación externa (centros de investigación, UUNN, etc.) y participación pública. Es necesario, en este sentido, establecer normas legales claras, estabilidad jurídica y un equilibrado sistema de seguimiento y control de las prácticas, que incluya el monitoreo y la transparencia necesaria como para que el desarrollo de esta actividad no genere conflictos sociales y políticos.

Se plantea, también, la necesidad de mejorar la coordinación interinstitucional entre las agencias del Estado para asegurar las tareas de control y asignar responsabilidades, estableciendo procedimientos, y mecanismos de trabajo integrados, formalizados, abiertos y adaptativos, con el objeto de implementar mejoras continuas que permitan definir y ajustar mejores prácticas operativas y regulaciones institucionales (AMI, 2013).

Finalmente, deben establecerse incentivos para que todo el sistema científico nacional incluya como tema prioritario el desarrollo de investigaciones sobre los HCNC, incluyendo aspectos ingenieriles (tecnológicos), de administración y gestión integral, aspectos económicos, geopolíticos, ambientales, ecológicos, sociales, institucionales y legales.

1. Estrategia de comunicación y participación:

La importancia que tiene el proyecto de HCNC en la región plantea la necesidad de establecer un modelo de comunicación e información efectiva a la población, así como procesos de participación pública que minimicen los conflictos sectoriales. Ciertos sectores de la opinión pública canalizan inquietudes y advierten de potenciales conflictos relacionados con la explotación de HCNC y el *fracking* (Taillant y col., 2013). En muchos casos, los cuestionamientos se basan en información inexacta sobre la actividad, o en inapropiadas conjeturas respecto de las consecuencias ambientales y sociales asociadas a la explotación de HCNC. Una intensa y amplia campaña de difusión e información actualizada, acompañada de procesos participativos que incluyan visitas a las locaciones por parte de líderes de organizaciones sociales y actores clave, puede contribuir a mejorar la percepción que se tiene de la actividad. A tal fin, se propone:

- Realizar un estudio tendiente a definir una estrategia de información ciudadana y transparencia en la gestión, con el fin de minimizar los conflictos y canalizar institucionalmente los eventuales litigios o desacuerdos en el marco de procesos de consenso y facilitación.
- Establecer una estrategia de relacionamiento y una mesa de diálogo entre la provincia, las empresas y las comunidades aborígenes tendientes a identificar, mapear y acordar la intervención de los territorios aborígenes.

2. Estrategia de compensación:

Se propone elaborar una estrategia de compensación respecto de aquellos impactos ambientales no mitigados, entre los cuales puede mencionarse la ocupación permanente de tierras con infraestructura y locaciones y la fragmentación del paisaje (por ductos, canales, caminos, cercos). Estas actividades en superficie condicionan una huella ecológica (*Ecological footprint*) que puede minimizarse pero no evitarse. Además, dadas las condiciones ecológicas reinantes en el área, el proceso de restauración natural del terreno afectado podrá tomar décadas.

Se plantea consolidar un Área Natural Protegida (ANP) para compensar la alteración del ecosistema nativo (alteración y fragmentación del hábitat ecológico), el eventual deterioro del patrimonio histórico y potenciar los procesos de restauración ecológica de áreas degradadas. Se propone la creación de una nueva ANP en la región del proyecto, y/o consolidar la Reserva Provincial de Auca Mahuida (77.020 ha), creada por Dto. Pcial N°1.446/96 (Categoría VII de IUCN), siendo además un área paleontológica protegida por ley provincial N° 3.603/98. Esta ANP no tiene aún un Plan General de Manejo. Es importante como fuente de especies para restauración ecológica, siendo parte del Corredor del Guanaco Payunia-Auca Mahuida.

Complementariamente, la actividad de explotación de HCNC consolida una matriz energética basada en el uso de recursos naturales no renovables (gas y petróleo), y cuya utilización genera gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global y, consecuentemente, al cambio climático global. Se propone establecer un fondo fiduciario para el desarrollo tecnológico de energías renovables (solar, eólica), en concordancia con la Ley N° 26.190, que permita incrementar progresivamente el porcentaje de utilización de la misma en un contexto nacional. Esto mejorará las posibilidades de efectivamente alcanzar la sustentabilidad energética minimizando las consecuencias ambientales asociadas a ellas y aprovechando los recursos de HCNC para facilitar la transición hacia recursos energéticos renovables.

Síntesis y conclusiones

Como resultado de la evaluación ambiental estratégica de la explotación de recursos hidrocarburíferos de reservorios no convencionales (HCNC), se ha elaborado una síntesis de los impactos y riesgos ambientales potenciales asociados al desarrollo de la explotación de reservorios no convencionales en el área de estudio vinculada a la Fm. Vaca Muerta (provincia del Neuquén), identificando las medidas ambientales tendientes a la prevención, mitigación o compensación de los mismos.

Sobre la base del análisis ambiental de las actividades involucradas en el desarrollo de los HCNC se concluye que la complejidad inherente a cada una de ellas requiere de una cuidadosa planificación e implementación, siguiendo estrictas normas de ejecución en el marco de Buenas Prácticas, y de procesos de verificación de terceras partes independientes.

Una estricta aplicación de medidas ambientales, desde la fase de planificación hasta la de producción, puede minimizar las consecuencias negativas potenciales sobre los recursos naturales regionales, el bienestar y la calidad de vida de la población.

Para fortalecer la necesaria actividad de regulación y control por parte de la autoridad de aplicación, se sugiere establecer convenios de cooperación con centros de investigación y desarrollo regional que contribuyan generando información en el marco de programas de monitoreo ambiental regional de indicadores clave, la elaboración de guías de buenas prácticas, y eventualmente, en el desarrollo de auditorías externas e inspección a campo para afianzar el proceso de mejora continua de la actividad.

Por otro lado, se plantea a la industria la necesidad de establecer procesos de certificación, y verificación independientes por terceras partes para la explotación de los recursos HCNC, sobre la base de la excelencia y transparencia, con el fin de minimizar potenciales conflictos y generar un sistema de gestión ambiental que asegure la mejora continua.

Se concluye que, si bien la gestión ambiental del proyecto de explotación de los HCNC constituye un desafío tanto para empresarios como para los gobiernos provincial y nacional, es, a la vez, una oportunidad histórica que debiera aprovecharse para que, dándoles prioridad a las cuestiones ambientales y sociales, el desarrollo del proyecto de explotación de los HCNC se transforme en un proyecto de desarrollo regional integral.

Anexo 5: Aspectos normativos ambientales sobre los recursos no convencionales

Autor: Dr. Eduardo Pigretti

1. Normativa ambiental existente localmente

Artículos de la Constitución Nacional referidos a la cuestión ambiental

Transcribimos a continuación en forma íntegra y completa los artículos de la Constitución Nacional reformada en el año 1994 que se refieren, de manera directa o indirecta pero especial, a los aspectos ambientales.

Si bien reconocemos que en la autoría de estos artículos participaron destacadas personalidades jurídicas, tenemos la firme convicción de que estos textos han sido influidos por la pluma del académico Pedro Frías. Reconocemos la excelencia de los textos y deseamos que los mismos sean aplicados de la mejor manera posible, sin distorsión alguna.

Artículo 41: Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica y a la información y educación ambientales. **Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección y a las provincias las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales.** Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos y de los radiactivos.

Artículo 43: Toda persona puede interponer acción expedita y rápida de amparo, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley. En el caso, el juez podrá declarar la inconstitucionalidad de la norma en que se funde el acto u omisión lesiva. Podrán interponer esta acción contra cualquier forma de discriminación y en lo relativo a los derechos que protegen el ambiente, a la competencia, al usuario y al consumidor, así como a los derechos de incidencia colectiva en general, el afectado, el defensor del pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines, registradas conforme a la ley, la que determinará los requisitos y formas de su organización.

Artículo 124: Las provincias podrán crear regiones para el desarrollo económico y social y establecer órganos con facultades para el cumplimiento de sus fines y podrán también celebrar convenios internacionales, en tanto éstos no sean incompatibles con la política exterior de la

Nación y no afecten las facultades delegadas al Gobierno Federal o el crédito público de la Nación; con conocimiento del Congreso de la Nación. La Ciudad de Buenos Aires tendrá el régimen que se establezca a tal efecto.

Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio.

2. Leyes ambientales vinculadas a los Presupuestos Mínimos de protección ambiental

Ley 25.675 – Ley General del Ambiente

El Congreso de la nación sancionó bajo la designación de Ley General del Ambiente un texto sobre cuyos alcances van a surgir numerosas interpretaciones. La pretensión de presentar al ambiente como un bien jurídicamente protegido no parece lograrse si se atiende al hecho de que la ley no describe el bien en cuestión.

La ley persigue establecer presupuestos mínimos. Nos preguntamos si lo son en el alcance del artículo 41 de la Constitución Nacional que se refiere en el tercer párrafo de esa norma a los llamados Presupuestos Mínimos de Protección. Esta pregunta debe ser formulada en razón de la definición del artículo 6 de la ley que afirma reglar el mencionado artículo de la Constitución Nacional como una tutela ambiental uniforme o común para todo el territorio nacional.

El artículo 7º hace una afirmación procesal concediéndoles a los tribunales ordinarios la capacidad de aplicar la ley, lo que contradice la Constitución Nacional, al limitar la competencia federal a los recursos ambientales interjurisdiccionales, lo que no alcanza a cubrir a las personas, a la materia y al territorio en cuanto sea afectado como ámbito federal propiamente dicho.

Esta definición tampoco parece dar razón a la facultad de “complementarlas” a estas normas y tampoco da paso este artículo 6º al respeto de las jurisdicciones locales, que el artículo 41 de la Constitución Nacional Reformada establece y que reserva para las provincias el dictado de “las necesarias para complementarla”, lo que en el contexto legal no parece permitirse dado que la ley tiene una completividad que no parece dejar espacio para la actuación provincial.

✓ *La preservación de la diversidad biológica*

Persigue también esta legislación la preservación y protección de la diversidad biológica, de la que no vuelve a razonar sobre ella pese a la importancia de esa temática.

✓ *El desarrollo sustentable*

La ley no define el desarrollo sustentable. A nuestro juicio, el motivo de dicha ausencia se debe a que toda la ley pretende adoptar lineamientos del derecho internacional ambiental, sin ocuparse de la traducción de tales circunstancias al derecho nacional. La noción de desarrollo sustentable será la que las convenciones internacionales recepten por última vez en el tiempo, sin tener un alcance local válido y vigente, si no está expresamente aceptada como ley. Esto trae algunas dificultades interpretativas.

✓ *Principios de Política Ambiental*

En el artículo 2º se establece una serie de objetivos generales de carácter teórico que persiguen ser seguidos como tales.

✓ *Política Ambiental Nacional*

Como complemento de los objetivos generales de la ley, se adoptan también principios del derecho ambiental internacional como propios. Estos principios tienen enormes dificultades con relación al marco jurídico del país. Veamos algunos de los casos.

✓ *Congruencia*

Según este principio, en el caso de que la legislación provincial o municipal ambiental no se ajusten a los principios y normas de la ley, esta ley ambiental prevalecerá sobre toda otra que se le oponga.

✓ *Prevención*

Este principio está descrito de una manera que plantea a quienes son administradores públicos verdadera dificultad, por la generalización que expresa.

✓ *Precautorio*

En la Conferencia de Johannesburgo este principio fue bajado de categoría por la dificultad que tiene para la política y el derecho en su aplicación.

✓ *Equidad Intergeneracional*

Este concepto repite una generalización mundial según la cual debemos defender a nuestros herederos y no salvar a nuestra propia generación. Es como privilegiar el futuro sin advertir que no existirá futuro sin un buen presente. Es un principio emotivo y no un principio sustantivo.

✓ *Progresividad*

Se establece una definición teórica que la ley en ningún momento vuelve a pautar.

✓ *Responsabilidad*

Existe una buena definición teórica que se complica más adelante al tratar la noción de daño ambiental.

✓ *Subsidiariedad*

Es un típico postulado de política superior que sin la ayuda de sumas dinerarias específicas es de muy difícil aplicación.

✓ *Sustentabilidad, Solidaridad, Cooperación*

Los tres principios que indicamos son descripciones teóricas, en sí aceptables y de necesario ajuste a los hechos prácticos.

Instrumentos de Política y Gestión Ambiental

Analizaremos a continuación los instrumentos desde siempre reconocidos y que están contenidos en diversos textos legales vigentes en el país. No se detallan en esta ley más que algunos aspectos de tan importante instituto.

✓ *El ordenamiento ambiental*

Se define como tal a la estructura de funcionamiento global del territorio que generará coordinación interjurisdiccional a través del COFEMA, que considerará la concertación de intereses entre la sociedad y la administración pública. Los intereses de la naturaleza recién se receptan como un proceso de ordenamiento y no como un valor de lo natural como posible sujeto de derecho, teoría de larga discusión entre los especialistas.

✓ *La EIA*

En materia de evaluación de impacto, breves artículos regulan la cuestión sin atender a los sistemas de evaluación vigentes en todas las jurisdicciones del país y en materias específicas tales como minería, hidrocarburos, fauna, etc.

✓ *Control de actividades antrópicas*

Con relación al sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas debemos destacar que la ley lo señaló como instrumento de política pero agregó pocas palabras sobre este tema.

✓ *La educación ambiental*

La ley contiene consejos para la actividad docente y fórmulas para lograr mejor coordinación para los planes y programas.

✓ *Sistema de diagnóstico e información*

La ley habla de información en forma general pero omite el sistema de diagnóstico a que se refiere el inc. 5 del artículo 8° de la ley.

✓ *Otros principios*

A partir del artículo 19, la ley establece principios sobre el derecho a ser consultado, que el Poder Ejecutivo observó, y opinar en los casos ambientales.

✓ *Participación ciudadana*

Se prevé la posibilidad de que las autoridades admitan procedimientos de consultas o audiencias públicas como instancias obligatorias en aspectos ambientales negativos, con carácter vinculante, porque la observación del Poder Ejecutivo no llegó al artículo 20 de la ley.

✓ *Seguro ambiental y Fondo de restauración*

Estos dos temas pretenden resolver por el derecho comercial las cuestiones ambientales. Es una antigua disputa en el derecho ambiental que la ley en un solo artículo (22) lo resuelve sin duda alguna y sin describir la importancia de la recomposición en los términos descriptos por el artículo 41 de la Constitución. También se sugiere la posibilidad de integrar un fondo de restauración, que se establece sólo con un carácter posible y sin un mayor detalle del objetivo. En el último de los artículos, sin embargo, se crea un Fondo de Compensación Ambiental.

✓ *Sistema Federal Ambiental*

El Poder Ejecutivo propondrá al COFEMA el dictado de recomendaciones o resoluciones para la aplicación de los Presupuestos Mínimos.

✓ *Daño ambiental*

El texto define al daño ambiental como toda alteración relevante que modifique el ambiente, sus recursos, el equilibrio de los ecosistemas o los bienes o valores colectivos

✓ *Responsabilidad objetiva*

La nueva ley exige recomponer, pero si no es técnicamente factible establece una indemnización sustitutiva que determinará la Justicia ordinaria y se depositará en el Fondo de Compensación Ambiental. Este postulado confiere una apertura muy amplia, en particular cuando establece la posibilidad de indemnización sustitutiva ante la Justicia ordinaria.

✓ *Exención de responsabilidad*

Una vez más se insiste en la aplicación de la responsabilidad subjetiva civil y no en la responsabilidad objetiva ambiental, que la Constitución Nacional establece y acuerda al decir *recomponer*.

Bibliografía

- ANI (Academia Nacional de Ingeniería). 2013. Aspectos ambientales en la producción de hidrocarburos de yacimientos no convencionales. El caso particular de “Vaca Muerta” en la provincia de Neuquén. Academia Nacional de Ingeniería (Instituto de Energía), Documento N° 4, 37 págs., Octubre de 2013, Buenos Aires, Argentina.
- Auger, L.; 2014. Water in an Unconventional World. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014.
- Banco Mundial, 1991. Libro de consulta de evaluación ambiental. Vol. I y II. Departamento de Medio Ambiente, Trabajo Técnico No. 139.
- Biol, F., 2014. Second IEA Unconventional Gas Forum: Introduction. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014.
- Briskin, J.; 2014. Overview of US EPA’s Activities Related to Unconventional oil & gas Extraction. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014.
- Buroz C., E. 1998. La gestión ambiental. Marco de referencia para las evaluaciones de impacto ambiental. Fundació Polar, pag. 376.
- Burton Jr., G.A., Basu, N., Ellis, B. R., Kapo, K. E., Entekin, S. and Nadelhoffer, K.; 2014. Hydraulic “Fracking”: Are Surface Water Impacts An Ecological Concern? Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 33, No. 8: 1679 – 1689.
- Canter, L., 1998. Manual de evaluación de impacto ambiental. Mac Graw Hill, Madrid, 841 pags.
- CFI (Corporación Financiera Internacional), 2007.a. Guías generales sobre medio ambiente, salud y seguridad; 116 pags.
- CFI (Corporación Financiera Internacional), 2007.b. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad. Desarrollo de petróleo y gas en tierra; 34 pags.
- CFI (Corporación Financiera Internacional), 2007.c. Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para la explotación marina de petróleo y gas; 31 pags.
- Chapagain, A.K. and A.Y. Hoekstra, 2004. Water Footprints of Nations. Vol 1: Main Report. UNESCO-IHE (Institute for Water Education), Value of Water; Research Report Series No. 16: 80 pags., Delft, The Netherlands.
- CNH (Comisión Nacional de Hidrocarburos), 2014. Mexico’s Energy Policy for Unconventional Resources. CENER (Secretaría de Energía). Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014. (www.cnh.gob.mx).
- Conesa Fdez.-Vitora, V. 1997. Metodología para la Evaluación del Impacto Ambiental. 3ra. Ed. Ed. Mundiprensa, Madrid, 352 pags.
- Cox, R.; 2014. Cumulative Management of Groundwater Impacts - Surat Basin. Queensland Government, Australia. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014.
- Di Sbroiavacca, N.; 2013. Shale Oil y Shale Gas en la Argentina. Estado de situación y prospectiva. Documento de Trabajo. Fundación Bariloche. 20 pags.
- DOE – DOI – EPA (Department of Energy, Department of interior and EPA), 2012. Multi-Agency Collaboration on Unconventional Oil and Gas research. Memorandum, 13/APR/2012 (7 pags).

- Dunn, R.; 2014. Water Use in Unconventional Resource Development. Encana. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014.
- EM (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio), 2005. Estamos gastando más de lo que poseemos: Capital natural y bienestar humano. Declaración del Consejo; 28 pags. (<http://www.unep.org/maweb/documents/document.440.aspx.pdf>).
- Entrekin S, Evans-White M, Johnson B, and Hagenbuch E. 2011. Rapid expansion of natural gas development poses a threat to surface waters. *Front Ecol Environ* 9: 503–11.
- EP (Equator Principles), 2013. Los principios del Ecuador. Junio de 2013. 27 pags. (en: www.equator-principles.com).
- Etcheverry, R.; 2014. Vaivenes en Vaca Muerta. Analizando lo aprendido en el entorno regulador de Vaca Muerta para diseñar estrategias para una mejor gestión de los recursos en otras cuencas. Municipalidad de Neuquén. Congreso sobre Cuencas Emergentes No Convencionales en Latinoamérica. Cartagena, Colombia, abril de 2014.
- Gaviño N., J.M. y R. Sarandón. 2002. Evaluación de Impactos Ambientales. Educaid. 154 pags.
- Gaviño N., M. y R. Sarandón (Editores). 2010. La Ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso. Documento Técnico PHI LAC N° 23; UNESCO – PHI (Montevideo, Uruguay); 158 págs.
- Gómez Orea, D. 1994. Evaluación de impacto ambiental. 2da. Ed.; Ed. Agrícola Española, S.A.; Madrid, España; 259 pags.
- Hoekstra, A.Y; 2003. Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade (December, 2002). IHE (Institute for Water Education), Value of Water; Research Report Series No. 12: 248 pags., Delft, The Netherlands.
- Hoffman, A., Olsson, G., Lindström, A., 2014. Shale gas and Hydraulic Fracturing. Framing the Water Issue. Report 34 SIWI (Stockholm International Water Institute), Stockholm, Sweden, 34 pags.
- Howarth RW, Ingraffea A, and Engelder T. 2011. Natural gas: should fracking stop? *Nature* 477: 271–75.
- Hunt, D. and C. Johnson, 1996. Sistemas de gestión medioambiental. Principios y práctica. Serie Mc Graw Hill de Management, Madrid, 318 pags.
- IAPG (Instituto Argentino del Petróleo y del gas). 2012. Práctica recomendada. Operación Reservorios No Convencionales. PRIAPG SC 07 2012 00. <http://wp.cedha.net/wp-content/uploads/2013/01/IAPG-recs-sobre-gas-no-convencional.pdf>, 11 Págs.
- IVN (Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2003. Resolución 12/2003 (Mza, 11/ABR/2003).
- Jeakins, P.; 2014. BC Oil & Gas Commission. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014.
- King, G.E., 2012. Hydraulic Fracturing 101: What Every Representative, Environmentalist, Regulator, Reporter, Investor, University Researcher, neighbor and Engineer Should know About Estimating Frac Risk and Improving Frac Performance in Unconventional Gas and Oil Wells. *SPE International* SPE 152596. Pages 1 – 80.
- López Anadón, E.; V. Casalotti, G. Masarik y F. Halperín, 2013. El abecé de los hidrocarburos en reservorios no convencionales. 2da. Ed., IAPG (Instituto Argentino del Petróleo y Gas), Buenos Aires; 19 páginas.
- Lunchenco, J. y colaboradores, 1991. The Sustainable Biosphere Initiative: an Ecological Research Agenda. A Report from the Ecological Society of America. *Ecology* 72(2):371-412.
- McBride, D., 2014. Considerations in Developing a Comprehensive Water management Strategy at an Ustream E&P Company. Anadarko Petroleum Corporation. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgary, Canadá, March 2014.

- ME (Millennium Ecosystem Assessment), 2003. Ecosystems and Human Well-being. A Framework for assessment. Island Press. WRI. Washington, DC.; 266 pags. (<http://www.unep.org/maweb/en/index.aspx>)
- ME (Millennium Ecosystem Assessment), 2005. Ecosystems and Human Well-being. Synthesis. Island Press. WRI. Washington, DC. 155 pags. (<http://www.unep.org/maweb/en/index.aspx>).
- MIPBA (Ministerio de Infraestructura de la Provincia de Buenos Aires), 2008. Plan estratégico de Agua y Saneamiento de la provincia de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Montes, C., 2007. Del desarrollo sostenible a los servicios de los ecosistemas. Ecosistemas 16 (3):1-3 (www.revistaecosistemas.net).
- Montes, C. y O. Sala, 2007. La evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. Ecosistemas 16 (3):137-147 (www.revistaecosistemas.net).
- Morgan, K.; 2014. 'Fracking' in the dark: Biological fallout of shale gas production still largely unknown (Frontiers in Ecology and the Environment). Princeton Journal Watch. <http://www.morgantingley.com/>
- Morris, P. and R. Therivel (Ed), 1995. Methods of Environmental Impact Assessment. UCL Press Ltd.; London. 378 pgs.
- Neuquén (Provincia del Neuquén), 2012. Decreto Provincial Nº 1483/12. Anexo XVI Normas y procedimientos para la exploración y explotación de reservorios no convencionales. DTO. Regl Nº 2656/99 de la Ley 1875 (TO Ley 2267).
- Northrup JM and Wittemyer G. 2012. Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. Ecol Lett 16: 112–25.
- O'Sullivan, F., 2014. Unconventional gas and water – The issues of quantity, quality and intensity. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgari, Canadá, March 2014.
- Partidario, M. R., 2010. Strategic Environmental Assessment (SEA): current practices, future demands and capacity-building needs. Course Manual. IAIA (International Association for Impact Assessment), IAIA Training Courses (www.iaia.org): 71 pags.
- Partidário, M. R., 2011. Conceptos, evolución y perspectivas de la Evaluación Ambiental Estratégica. Curso sobre Evaluación Ambiental Estratégica (EAE). Santiago de Chile. R. Chile, octubre de 2011, 26 págs.
- Partidário, M. R., 2012. Strategic Environmental Assessment Better Practice Guide Methodological guidance for strategic thinking in SEA. Portuguese Environment Agency and Redes Energéticas Nacionais (REN), SA. Lisbon, 2012 (<http://ec.europa.eu/environment/eia>); 76 pags.
- Porter, A.L. & J.J. Fittipaldi (Eds.), 1998. Environmental Methods Review: Retooling Impact Assessment for the New Century. AEPI – IAIA, Fargo, USA, 309 págs.
- Rahm BG and Riha SJ. 2012. Toward strategic management of shale gas development: regional, collective impacts on water resources. Environ Sci Policy 17: 12–23.
- RS & RAE (Royal Society and Royal Academy of Engineering); 2012. Shale gas extraction in the UK: a review of hydraulic fracturing. 76 pags. (royalsociety.org/policy/projects/shale-gas-extraction y raeng.org.uk/shale).
- Samper, C., 2003. The Millennium Ecosystem Assessment: science and policy for sustainable development. BioScience 53:1148-1149.
- Sánchez-Thorin, A.C.; 2014. Planning for Unconventional E&T in Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Second IEA Unconventional Gas Forum. World Energy Outlook, IEA (International Energy Agency), Calgari, Canadá, March 2014.
- SE-FB (Secretaría de Energía - Fundación Bariloche). 2009. Energías renovables: diagnóstico, barreras y propuestas. 60 pags.; Junio 2009.

- Solbrig, O. T., 1991. Biodiversity. Scientific issues and collaborative research proposal. MAB Digest N° 9, UNESCO, 74 pgs.
- Soldo, J.; 2014. Análisis del riesgo potencial ocasionado por las estimulaciones hidráulicas y su relación con los eventos sísmicos de mayor escala. En: Galeazzi, S. y colaboradores (Eds.), Simposio de Recursos No Convencionales: Ampliando el Horizonte Energético: 817 a 839. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de hidrocarburos. IAPG (Instituto Argentina del Petróleo y del Gas), Ciudad A. de Bs As.
- Galeazzi, S.; González, G.; Santiago, M.; D. García; L. Maschio; R. González y J. Ramirez M. (Eds.); 2014. Simposio de Recursos No Convencionales: Ampliando el Horizonte Energético. IX Congreso de Exploración y Desarrollo de hidrocarburos (Mendoza, 2014). IAPG (Instituto Argentina del Petróleo y del Gas), Ciudad A. de Bs As.; 904 págs.
- Souther, Sara, Morgan W. Tingley, Viorel D. Popescu, David T.S. Hyman, Maureen E. Ryan, Tabitha A. Graves, Brett Hartl, Kimberly Terrell. 2014. Biotic impacts of energy development from shale: research priorities and knowledge gaps. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 12(6): 330-338, DOI: 10.1890/130324.
- Taillant, J.D.; M. Valls; M. Eugenia D'Angelo; C. Headen y A. Roeloffs; 2013. Fracking Argentina. Informe Tecnico y Legal sobre la Fracturación Hidráulica en la Argentina. Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA) & ECOJURE. Córdoba, Argentina. 102 págs.
- Taylor, T.; 2014. Implementing Sustainable Water Management Strategies to Address Regulatory Aspects and Reduce Exploration and Production Risk and Cost. Golder Associates Inc. Congreso sobre Cuencas Emergentes No Convencionales en Latinoamérica. Cartagena, Colombia, abril de 2014.
- Treweek, J. 1999. Ecological Impact Assessment. Blackwell Sc. Ltd.; Oxford; 351 pags.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 1998. Principios de evaluación del impacto ambiental. Washington.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2004. Evaluation of Impacts to Underground Sources of Drinking Water by Hydraulic Fracturing of Coalbed Methane Reservoirs; National Study Final Report. EPA 816-R-04-003 (Internet: <http://www.epa.gov/safewater/uic/cbmstudy.html>). June, 2004.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2011. Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. EPA Hydraulic Fracturing Study Plan. EPA/600/R-11/122; Nov. 2011; 190 pags.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2012. Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. Progress Report. EPA/601/R-12/011; Dec. 2012; 278 pags.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2014. The Hydraulic Fracturing Water Cycle. EPA's Study of Hydraulic Fracturing and Its Potential Impact on Drinking Water Resources. <http://www2.epa.gov/hfstudy/hydraulic-fracturing-water-cycle>.
- Villalonga, J. C.; 2013. Energías renovables: ¿por qué debería ser prioritario cumplir el objetivo del 8% al 2016?. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación AVINA Argentina, 2013; 76 p.
- Villarreal, P. y A. Santagni (Coord.), 2004. Pautas tecnológicas: frutales de pepita. Manejo y análisis económico-financiero. INTA EEA Alto Valle, 3ª Ed., Agosto 2004: 132 pags.
- Villarreal, P. y A. Santagni (Coord.), 2005. Pautas tecnológicas: frutales de carozo: manejo y análisis económico-financiero. INTA EEA Alto Valle, 1ª Ed., Mayo 2005: 122 pags.
- Wathern, P. (Ed.) 1988. Environmental Impact Assessment. Theory and practice. Routledge, London & New York; 332 págs.
- WCED (World Commission on Environment and Development), 1987. Our Common Future. Oxford University Press.

Sitios de Internet:

<http://www.acadning.org.ar>
<http://www.cons-dev.org/elearning/pict/devdur.png>
<http://www.epa.gov>
<http://www.equator-principles.com>
<http://www.fracfocus.org>
<http://www.ifc.org>
www.revistaecosistemas.net
<http://www.unep.org/maweb/en/index.aspx>
<http://www.who.int/en>