

Reconocimiento a la trayectoria del Prof. Dr. José Alberto Castro

La necesaria evaluación de impacto en salud de la explotación de gas de esquisto

The necessary health impact assessment of shale gas extraction

A avaliação necessária sobre o impacto na saúde da exploração de gás de xisto

► Susana Isabel García¹

¹ Magister en Toxicología de la Universidad de Sevilla. Médica Especialista en Toxicología y Medicina del Trabajo. Profesora de la Primera Cátedra de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires. Responsable del Programa Nacional de Prevención y Control de las Intoxicaciones del Ministerio de Salud de la Nación.

Resumen

El desarrollo de la explotación hidrocarburífera por tecnologías no convencionales, conocidas como "fractura hidráulica" o *fracking*, requiere una detallada evaluación de los impactos, tanto directos como indirectos, positivos y negativos, sobre la salud de los trabajadores y las comunidades. Para ello resulta necesaria la información de base de dichas poblaciones, así como los datos sobre los procesos industriales, las sustancias y las mezclas utilizadas en las actividades de fractura hidráulica y de extracción de hidrocarburos, que permitan estimar la exposición humana y aplicar la metodología de evaluación de riesgo para la salud. Será importante contar con cifras resultantes del monitoreo de las emisiones que alteren la calidad del aire y del agua, especialmente gases irritantes y compuestos orgánicos volátiles, partículas en suspensión con su contenido de sílice y de hidrocarburos aromáticos policíclicos, conocidos cancerígenos, que hoy son foco de atención de las autoridades sanitarias y ambientales en otros lugares del mundo donde estas instalaciones también están provocando la preocupación de las comunidades. Los impactos demográficos y socioeconómicos, resultantes en cambios en la estructura del empleo, en la infraestructura y oferta de servicios públicos de la comunidad, incluidas las modificaciones en los servicios de salud, también deberán ser tenidos en cuenta.

Palabras clave: fractura hidráulica * riesgos * salud

Summary

The development of unconventional hydrocarbon extraction technologies, known as "hydraulic fracturing" or "fracking", requires a detailed assessment of their impacts, both direct and indirect ones, and positive and negative ones, on workers' and communities' health. For this purpose, basic information about those groups is required, as well as data on industrial

Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana

Incorporada al Chemical Abstract Service.

Código bibliográfico: ABCLDL.

ISSN 0325-2957

ISSN 1851-6114 en línea

ISSN 1852-396X (CD-ROM)

processes, substances and mixtures used in fracturing procedures and hydrocarbon extraction, in order to estimate human exposure and apply the risk assessment methodology. It will be important to have data from monitoring of emissions that alter the quality of air and water, especially from irritant gases and volatile organic compounds, particulate matter containing silica and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons, which are today focus of attention for health care and environmental authorities elsewhere in the world where these facilities are also causing concern for communities. Demographic and socioeconomic impact, resulting in changes in the structure of employment, infrastructure and provision of public services in the community, including changes in health services, should also be considered.

Key words: *fracking * risks * health*

Resumo

O desenvolvimento da exploração de hidrocarbonetos através de tecnologias não convencionais, conhecidas como “fraturamento hidráulico” ou “fracking”, exige uma avaliação detalhada dos impactos, tanto diretos quanto indiretos, positivos e negativos, a respeito da saúde dos trabalhadores e das comunidades. Assim, faz-se necessária a informação de base dessas populações, bem como dados sobre os processos industriais, substâncias e misturas utilizadas nas atividades de fraturamento hidráulico e de extração de hidrocarbonetos, que permitam calcular a exposição humana e aplicar a metodologia de avaliação de risco para a saúde. Será importante contar com valores resultantes da monitoração das emissões que alteram a qualidade do ar e da água, especialmente gases irritantes e compostos orgânicos voláteis, partículas em suspensão com o seu teor de sílica e de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, substâncias cancerígenas conhecidas, que hoje são foco de atenção das autoridades sanitárias e ambientais em outros lugares do mundo onde estas instalações estão provocando, também, preocupação nas comunidades. Os impactos demográficos e socioeconômicos que resultam em mudanças na estrutura do emprego, na infraestrutura e prestação de serviços públicos para a comunidade, incluindo mudanças nos serviços de saúde, também devem ser levados em consideração.

Palavras-chave: *fraturamento hidráulico * risco * saúde*

Introducción

El creciente desarrollo que ha tenido en todo el mundo, en los últimos años, la explotación hidrocarbúrica por tecnologías no convencionales, conocidas como “fractura hidráulica” o *fracking*, ha generado cierta preocupación pública por los potenciales efectos adversos sobre la salud de las comunidades y el ambiente, y convocado la atención de la comunidad científica y de las autoridades ambientales y sanitarias.

Si bien se han publicado numerosos estudios que intentan asociar problemas de salud pública con impactos de estos proyectos de desarrollo de gas natural (*shale gas* o “gas de esquisto”), los efectos sobre la salud de las comunidades permanecen inciertos. Los conflictos de intereses de los investigadores y las fuentes de financiación de los estudios, hacen que se dude de los resultados, no importa lo bien realizados que estén.

Aun cuando la tecnología de fractura hidráulica se utiliza hace más de 70 años en los EE.UU. con más de un millón de pozos perforados en distintas localidades y decenas de empresas explotando el recurso en ese país solamente, la comunidad científica internacional coincide en que existe muy escasa información sobre la liberación al ambiente de las sustancias tóxicas involu-

cradas en estos procesos de extracción, y estas limitaciones conllevan severas restricciones para la evaluación de los potenciales impactos sobre la salud pública (1).

Las experiencias de otros países con más historia en este tipo de procesos revelan que estas instalaciones hacen que algunas comunidades rurales se transformen de la noche a la mañana, con los consiguientes problemas y preocupaciones. Se leen y oyen reportes anecdóticos de problemas para la salud posiblemente asociados a la extracción de gas de esquisto (2), y la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los EE.UU. (ATSDR por su sigla en inglés *Agency for Toxic Substance and Disease Registry*) ha registrado denuncias por síntomas que las personas atribuyen a estos emprendimientos, tales como náuseas, dificultad respiratoria y olores irritantes. Asimismo, hay personas que expresan preocupación por efectos a largo plazo (3).

La información insuficiente, inadecuada y, a veces, contradictoria, sobre la exposición y la toxicidad de los agentes químicos que se movilizan o se introducen en los procesos, dificulta el asesoramiento que los tomadores de decisión requieren respecto de las regulaciones necesarias para reforzar la seguridad, basado en evidencia científica disponible sobre los posibles daños a la sa-

lud, tanto de las comunidades como de los trabajadores empleados en esta “nueva” industria (1).

En un contexto de gran interés público sobre estos proyectos, tanto positivo como negativo, donde hay muchas personas confundidas y preocupadas y conflictos judicializados, hay una búsqueda de respuestas científicas y, cuando éstas no están disponibles, las personas se ven obligadas a recurrir a la información anecdótica. En un escenario difícil, lo dicho constituye una base débil sobre la que celebrar los debates y tomar decisiones (1).

Por todo lo mencionado, la comunidad de salud pública está también preocupada por los posibles impactos de la extracción de gas de esquisto en la salud, y está solicitando el acceso a la información de las emisiones de contaminantes para que puedan comenzar los estudios de impacto en salud (1).

Muchos científicos en todo el mundo alertan sobre una realidad en la que no suele haber fuentes estables de financiación para la evaluación de los impactos en salud (EIS) y el seguimiento a largo plazo. Cuando se realizan las EIS, se basan en fuentes de datos bibliográficas disponibles y, difícilmente, se encaran estudios de campo amplios que permitan disponer de fuentes de datos primarios sobre la realidad de los proyectos, ya que es la mejor opción para el financiamiento disponible (1).

Entre los efectos adversos potenciales de la fractura hidráulica para la salud de individuos y comunidades, que se describen en la literatura, están: la contaminación química potencial de las fuentes de agua de bebida a partir de los fluidos de la fractura hidráulica, la movilización de metales y de material radiactivo presentes naturalmente en la arena, la emisión potencial de compuestos orgánicos volátiles al aire, el peligro de explosión por la acumulación de metano en los pozos de agua, la cantidad de agua y arena necesaria para el proceso, el riesgo sísmico, el aumento de tránsito vehicular con la consecuente reducción de la seguridad en las rutas y los cambios en la composición del aire, el aumento de la demanda sobre los servicios médicos y los sistemas de respuesta a emergencias y la infraestructura de las comunidades, los cambios en la calidad de vida que pudiera afectar adversamente la salud humana. Otros efectos adversos tienen como blanco a las especies nativas y los ciclos hidrológicos (1).

Estos temas han sido objeto de diversas reuniones científicas en EE.UU. y Europa en los últimos años. En 2014, la Academia Nacional de Ciencias y el Instituto Nacional de Ciencias de Salud Ambiental de los Estados Unidos, dieron a conocer las presentaciones y discusiones de un Seminario Taller sobre la evaluación de los impactos en salud de las tecnologías no convencionales para la extracción de gas (*Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction*) realizado en mayo de 2012 (1). A la luz de las visiones que allí se presentaron, este artículo pretende sintetizar algunos aspectos de la evaluación de riesgos para la salud y de la evidencia científica en las que se sustenta.

¿Qué es el gas de esquisto?

El *shale* o roca de esquisto es una formación sedimentaria que contiene gas y petróleo (*shale gas* y *shale/tight oil*). Según la información oficial, la Argentina tiene un gran potencial de este tipo de recursos (4).

La característica que define al esquisto es que no tiene la suficiente permeabilidad para que el petróleo y el gas puedan ser extraídos con los métodos convencionales, lo cual hace necesario la aplicación de tecnologías alternativas. Las mismas consisten en inyectar fluidos a alta presión y a una velocidad mayor que la que permite a la roca absorberlos. Esto da lugar a grietas que se pueden mantener abiertas con la aplicación de agentes de sostén o apuntalante (arenas especiales), a través de los cuales, los hidrocarburos atrapados en la formación, fluyen hacia la superficie. Para contactar con un mayor volumen de roca, se realizan perforaciones de pozos horizontales. La dimensión típica de una fractura hidráulica es desde micrones hasta medio centímetro de ancho, de 15 a 600 metros de largo y de 6 a 120 metros de alto, dependiendo de la geografía (5).

Los tratamientos de fractura hidráulica tienen dos etapas principales: la primera etapa, o etapa de colchón, consiste en la inyección del fluido que se bombea con una tasa y una presión suficientes para romper la formación y crear una fractura. La segunda etapa, o etapa de lechada de *apuntalante*, transporta a éste hacia la fractura abierta, la que se cierra sobre el *apuntalante* cuando cesa el bombeo y lo mantiene en su lugar durante el reflujo del fluido de fractura en el pozo y también durante la producción de hidrocarburos (5).

Uno de los temas de preocupación es la presencia de sustancias químicas en los fluidos de fractura y en los agentes de sostén. Estas sustancias cumplen distintas funciones: limitar el crecimiento de bacterias, prevenir la corrosión de las cañerías metálicas, reducir la fricción y optimizar el bombeo de los fluidos, la arena y agentes *apuntalantes* para mantener abierta la fractura.

¿Qué es la Evaluación de Impacto en Salud?

Desde mediados de los '80 se ha ido incrementando la conciencia sobre la importancia de la Evaluación de Impacto en Salud (EIS) en el marco de la evaluación de impacto ambiental (EIA) de los proyectos, a los fines de dar fundamento a las decisiones regulatorias que minimicen sus efectos adversos y optimicen los beneficiosos (6).

Se trata de un proceso estructurado que usa datos científicos, los analiza a la luz de la experiencia profesional y de la opinión de las contrapartes interesadas, para identificar las vías directas e indirectas por las que la salud pública puede ser afectada. Aunque puede con-

sistir en evaluaciones cuantitativas, es una herramienta cualitativa y no ha sido diseñada para comparar cuantitativamente diferentes opciones tecnológicas o de procesos en función de sus riesgos (7).

Para el caso que nos ocupa, se trata de aplicar la “metodología de evaluación de riesgos” a los impactos directos e indirectos de la extracción de gas de esquisto sobre la salud ambiental (tanto del ambiente natural, como del construido y social), considerando el estado de la ciencia sobre esta tecnología y la utilidad de esta herramienta para la toma de decisiones (8).

Así considerada la EIS, no es una mera evaluación de riesgos sino una herramienta de gestión para evaluar decisiones sociales complejas que pueden tener implicancias sobre la salud pública y las opciones para manejar esos riesgos. Es una oportunidad para el diálogo sobre los riesgos y cómo gestionarlos (1).

Tiene como objetivo primordial informar a los tomadores de decisión sobre una acción propuesta específica (nueva regulación, permisos, etc.), para lo cual, identifica riesgos y beneficios, solicita *input* de partes interesadas (reguladores, industria, comunidad, etc.), enfatiza la colaboración entre los organismos involucrados y ofrece recomendaciones para reunir más información, establecer un plan de monitoreo, maximizar beneficios y minimizar riesgos (1).

Se han elaborado varias guías y estándares para realizar estas EIS. Entre ellas, las del Banco Mundial, de la Corporación Financiera Internacional, del *International Council on Oil and Gas Producers*, así como del *International Council on Mining and Metals* (9).

Básicamente, la EIS se puede estructurar en seis pasos (1):

1. Determinación de la pertinencia: Etapa en la que se decide si la EIS debería hacerse, si agregará información y si puede hacerse dentro de los plazos previstos.
2. Definición del alcance: Desarrollo del marco para la EIS. Identificación de las poblaciones potencialmente afectadas y de los efectos más importantes para la salud de acuerdo a la evidencia disponible.
3. Evaluación: Análisis de las condiciones de base y de las características de la población. Estimación de los efectos potenciales.
4. Recomendaciones: Desarrollo de las recomendaciones basadas en la salud pública, así como un plan viable para su aplicación, y los indicadores para el monitoreo.
5. Elaboración de un informe: Difusión de los resultados a los tomadores de decisiones, al público y a otras partes interesadas.
6. Seguimiento y Evaluación del Proceso de la EIS: Con la finalidad de determinar si la EIS ha añadido valor al proceso de toma de decisiones, así como la evaluación de los resultados de la aplicación de sus recomendaciones.

Los puntos fundamentales de la EIS suelen ser: 1) la calidad del aire, 2) la calidad del agua, 3) el ruido y los patrones de tránsito automotor, 4) los productos químicos que se utilizan y los peligros asociados a cada uno, 5) la huella geográfica y la subsistencia de los usos agrícolas, 6) los cambios demográficos, el empleo y los ingresos y la afluencia de trabajadores, 7) la salud de las comunidades, la identificación de las poblaciones vulnerables, ya sea por enfermedades preexistentes, por la exposición a otras fuentes de contaminación o a inequidades en el acceso a los servicios de salud, y 8) la salud de los trabajadores.

1) CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire se refiere a las características de composición del aire ambiente al que están expuestos los habitantes de una determinada zona geográfica, pueblo o ciudad. La calidad del aire es un concepto que engloba varios indicadores, entre ellos las concentraciones en el aire de material particulado de diferentes tamaños y de gases tales como óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono e hidrocarburos.

Existe una abrumadora evidencia de la vinculación entre la incidencia y prevalencia de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares con la calidad del aire, tanto exterior como intradomiciliario (10). De allí que la OMS recomiende como Indicadores de Salud Ambiental (11) el uso de datos estadísticos de monitoreo de calidad del aire, de los datos aportados por el sistema de salud en relación con la morbilidad y mortalidad por ciertas enfermedades del aparato respiratorio y cardiovascular, así como de otros datos que aportan información relacionada indirectamente con la exposición ambiental a agentes productores de enfermedad. A continuación se presentan algunos de los indicadores de salud ambiental vinculados a la calidad del aire propuestos por la OMS:

- Promedio anual de concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂), PM₁₀^{*}, PM_{2,5}^{**} o partículas suspendidas totales (PST), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃) y su relación con valores de referencia.
- Consumo de tabaco.
- Fuentes de contaminación de aire intradomiciliario (por ejemplo, el tipo de calefacción utilizada).
- Tasa de mortalidad por enfermedades respiratorias agudas o crónicas: infección respiratoria aguda, bronquitis, neumonía, influenza, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).
- Tasa de mortalidad por enfermedades del sistema circulatorio.

* PM₁₀ designa al material particulado respirable conformado por partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual que 10 µm.

** PM_{2,5} designa al material particulado conformado por partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual que 2,5 µm, que constituye la fracción fina del material particulado respirable.

- Consultas hospitalarias por enfermedades respiratorias.
- Consultas hospitalarias por asma.
- Consultas hospitalarias por enfermedades del sistema circulatorio.

Del mismo modo, las Guías de Buenas Prácticas para la Evaluación de Impacto en Salud del ICMM (9) recomiendan la inclusión de estos indicadores a los fines de una mejor estimación de los impactos en salud de los proyectos, sea por los cambios potencialmente negativos que podrían evitarse a partir de la contaminación del aire, las migraciones de personas con enfermedades a las que la población no tiene inmunidad o de los cambios de hábitos de uso de tabaco, como así también los impactos positivos derivados de los mejores ingresos que obtienen las personas, los cambios nutricionales y la mejor accesibilidad a los servicios de salud.

En la cadena de producción de gas de esquisto hay muchas fuentes posibles de contaminantes atmosféricos, entre las cuales, la fractura hidráulica es solo una, que ocurre durante un corto período de tiempo (12). Otras actividades asociadas con potencial de contaminación de aire son:

- la preparación del sitio, la construcción de rutas y la limpieza del área,
- la perforación del pozo,
- el tránsito de camiones para el transporte de los materiales y los residuos desde y hacia el sitio,
- las operaciones de separación y tratamiento (remoción de gases ácidos, de agua, de otros hidrocarburos),
- las estaciones compresoras que presurizan el gas natural y las cañerías de transporte,
- la quema controlada de emisiones,
- las emisiones fugitivas de grietas o fugas,
- las operaciones de purga y venteo.

Las actividades de perforación y de movimiento de arena hacen que, entre los contaminantes de preocupación con respecto a la calidad del aire con posible impacto en la salud pública, estén aquellos relacionados con el polvo o material particulado (PM por su sigla en inglés). El PM incluye las fracciones con diámetro aerodinámico respirable (PM_{10} y $PM_{2,5}$) que se correlacionan directamente con la incidencia y prevalencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. También se deben considerar los metales pesados y metaloides (plomo, arsénico, cadmio, cromo, entre otros), tóxicos o nocivos para las personas, que pueden encontrarse en la composición química del material particulado. Los niveles aceptables de concentración en aire de algunos metales son hasta dos órdenes de magnitud menores que los correspondientes a material particulado. Por ejemplo, para la OMS el nivel aceptable para plomo es de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para PM_{10} es de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es por ello que es necesario el monitoreo conjunto de

las concentraciones en aire tanto de los valores de material particulado como las sustancias químicas que entran en su composición, ya que en alguna circunstancia es posible satisfacer el valor aceptable para PM_{10} pero no para uno o más metales.

El efecto del material particulado sobre la salud es altamente dependiente del tamaño de las partículas, pues el material fino posee la capacidad de ingresar al sistema respiratorio con mayor facilidad que las partículas más gruesas. En general, partículas con diámetros mayores a $15 \mu\text{m}$ no penetran en el sistema respiratorio y sus efectos en la salud se encuentran más bien relacionados con irritaciones oculares. Aquellas partículas entre 10 y $15 \mu\text{m}$ son retenidas en la parte alta del sistema respiratorio, causando irritación en la garganta y en las vías nasales. Si bien algunos autores reservan la categorización de “respirable” a las partículas con diámetro aerodinámico inferior a $4 \mu\text{m}$, la OMS en su última actualización de las Guías de Calidad de Aire (GCA) consideran respirables a las partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor o igual que $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}). Se trata de partículas inhalables, que por su tamaño pueden ingresar al sistema respiratorio y que tienden a permanecer en suspensión, aún con intensidades de viento muy bajas (aproximadamente 1 m/s), como las que se dan en condiciones de calma, debido a su reducida velocidad de caída o de sedimentación (alrededor de $0,007 \text{ m/s}$), pudiendo ser transportadas a distancias considerables e ingresar fácilmente en las viviendas. Las partículas con tamaño menor a $10 \mu\text{m}$ pueden afectar los bronquios, pudiendo dar origen a enfermedades como bronquitis o asma. Por último, se monitorean también las concentraciones en aire de fracciones más finas, que corresponden a las partículas con diámetro aerodinámico $<2,5 \mu\text{m}$, que pueden penetrar en los alvéolos pulmonares, produciendo neumoconiosis (por ejemplo, silicosis) y hasta cáncer en casos extremos, cuando la exposición a determinados agentes cancerígenos es prolongada en el tiempo.

Toda la población puede estar afectada, pero la susceptibilidad puede variar con el estado de salud o la edad de los individuos, así como también en función de la composición química de las partículas.

Las exposiciones a material particulado, que experimentan con mayor intensidad las poblaciones urbanas, tanto en los países desarrollados como en vías de desarrollo, son motivo de regulación por parte de los Estados, a fin de alcanzar niveles de calidad del aire que no den lugar a riesgos o efectos negativos significativos sobre la salud humana o el medio ambiente (en Argentina, Ley N° 20284 de Preservación de Recursos del Aire, Capítulo II y Anexo II).

Para las exposiciones a PM_{10} , la OMS recomienda dos valores como GCA: uno para exposiciones prolongadas, establecido en $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual, y otro para exposiciones breves, definido en $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio para un período de 24 horas (Tablas I, II y III).

Tabla I. Niveles Guía de Calidad del Aire de la OMS para Material Particulado.

	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fundamento
VALOR GUÍA Concentraciones medias anuales	20	10	Estos son los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada al $PM_{2,5}$.
VALOR GUÍA Concentraciones de 24 horas	50	25	Basado en la relación entre los niveles de PM de 24 horas y anuales.

Fuente: OMS (2005).

Tabla II. Concentraciones medias anuales de material particulado y su impacto en la salud por exposiciones prolongadas.

PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Impacto en salud
70	35	Niveles asociados con un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el valor guía.
50	25	A estos niveles se reduce el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%]
30	15	A estos niveles se reduce el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con las concentraciones anteriores.

Fuente: OMS (2005).

Tabla III. Concentraciones de PM para 24 horas y su impacto en la salud por exposiciones breves.

PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Impacto en salud
150	75	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 5% de la mortalidad a corto plazo).
100	50	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 2,5% de la mortalidad a corto plazo).
75	37,5	Basado en coeficientes de riesgo publicados en estudios multicéntricos y metaanálisis (incremento de alrededor del 1,2% de la mortalidad a corto plazo).

Fuente: OMS (2005).

La extracción de gas de esquisto genera emisiones gaseosas que pueden alterar la calidad del aire y, desde luego, las concentraciones serán mayores en las proximidades de la fuente y disminuirán en la medida que las distancias aumentan.

Los contaminantes del aire que se asocian a la fractura hidráulica son:

- Óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado ($\text{PM}_{2,5}$): de preocupación local más que regional.
- Compuestos orgánicos volátiles (COVs) tales como benceno, tolueno, formaldehído.
- Ozono resultante de la reacción de los COVs con la luz solar, de preocupación regional.
- Otros compuestos tóxicos (emisiones de motores diesel, HAPs).

- Gases de efecto invernadero (metano).
- Carbón negro.

Estos contaminantes pueden clasificarse en dos tipos, de acuerdo a las estrategias que se emplean para reducir las emisiones: los que nadie quiere en el aire (p. ej. NO_x , ozono, y formaldehído) y los que la industria puede vender (p. ej. metano, benceno) y por lo tanto desarrollar estrategias para recuperarlos, si está obligada a emitir menos.

La sociedad deberá decidir qué emisiones son aceptables y exigir las reducciones necesarias con la mejor tecnología disponible y las medidas efectivas para controlarlas (p. ej. catalizadores para estaciones de compresión que reducen las emisiones de NO_x , COVs y formaldehído, catalizadores para motores diesel y filtros para MP, cambio de motores diesel por los de gas natural).

La Tabla IV muestra, según los resultados del estudio de Robinson (12), el potencial de emisión con que contribuiría cada fuente y que podría ser reducido con la implementación de tecnologías efectivas. En la última columna se hace referencia a la calidad de la información que tuvo disponible para realizar las estimaciones de riesgo. De acuerdo a este análisis, Robinson afirma que hay un conocimiento razonable de las emisiones de motores diesel (equipos de perforación, bombas de fractura y tráfico de camiones), pero menos de otras fuentes (venteo de finalización, venteo de purga y emisiones fugitivas), por lo que se necesita más información sobre mediciones de los contaminantes en el aire para evaluar su impacto.

Se afirma que, en general, hay escasos datos para una línea de base, ya que se trata generalmente de poblaciones rurales donde no se realiza un monitoreo sistemático de calidad de aire y, por lo tanto, la información es insuficiente para evaluar cambios en la calidad de aire en el tiempo.

Cuando faltan datos, las emisiones se pueden estimar, con cierto grado de incertidumbre, utilizando simulaciones Monte Carlo a partir de datos de la literatura y, conociendo el tamaño de la fuente, la frecuencia de producción del contaminante, la cantidad de gas producido (variable más importante que el número de pozos perforados), las características de operación (potencia), el tiempo de funcionamiento, si se produce gas húmedo o variantes secas (el gas húmedo tiene una mayor fracción de COVs condensados), etc.

Varios estados de los EE.UU. (p. ej. New York, Pensilvania y Virginia Oeste) realizan un inventario de emisiones para modelar el transporte de sustancias químicas en el aire y predecir los impactos regionales (p. ej. todo el este de los EE.UU.).

Si bien la preocupación principal es la potencial afectación de los residentes locales, en los casos que hay

hogares en las proximidades, también debe considerarse la integración de los datos a escala regional, ya que el ozono y los NOx no solo tendrán efectos en los hogares de las proximidades, sino en ciudades que se encuentran lejos. Por otro lado, se debe tener en cuenta lo que ocurre cuando estos contaminantes se mezclan en la atmósfera (p. ej. los NOx, los COVs y el metano se transforman en ozono).

En el Workshop 2012, el Dr. Honeycutt, Director de *Toxicology Division Texas Commission on Environmental Quality*, presentó los resultados de estudios realizados en Texas (13) que demostraron que:

- no se podía cumplir con el estándar para ozono (85 ppb para 8 h),
- se detectaron concentraciones elevadas de benceno, próximas a los niveles aceptables (1,4 ppb para largo plazo), aunque los resultados del monitoreo de largo plazo no indicó que los niveles de benceno representaran un riesgo para la salud. La estimación de riesgo de cáncer mostró valores por debajo del nivel aceptable para la EPA (probabilidad de 1 cada 100.000 personas de contraer cáncer por exposición a ese contaminante durante toda la vida),
- menos del 5% de 1.100 muestras excedieron los valores tolerables para corto plazo, para límites odoríficos (ej. isobutano e isopentano) y para límites de corto plazo basados en salud (ej. benceno y disulfuro de carbono) de VOCs. Los demás estaban dentro de los valores aceptables.

La mayoría de los desvíos se constataron en los comienzos del proceso y se debieron a fallas humanas o mecánicas de la compañía, que se resolvieron con acciones correctivas fáciles de implementar, como el ajuste de válvulas, el reemplazo de juntas, y el cierre de escotillas.

Tabla IV. *Potencial de emisión de contaminantes por distintas fuentes.*

Fuente	NOx	COVs	MP	Tóxicos	Calidad del dato
<i>Desarrollo del pozo</i>					
Equipos de perforación	Alto	Bajo	Alto	Alto	Medio
Bombas de fractura	Alto	Bajo	Alto	Alto	Medio
Tránsito de camiones	Alto	bajo	Alto	Alto	Medio
Venteo de finalización		Alto		Alto	Pobre
Tanques		Bajo		¿?	Pobre
<i>Producción de gas</i>					
Estaciones de compresión	Alto	Alto	Bajo	Alto	Medio
Compresores en boca de pozo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Calentadores y deshidratadores		Bajo	Bajo	Bajo	Medio
Venteo de purga		Bajo		Bajo	Pobre
Tanques de condensado		Alto		Bajo	Pobre
Emisiones fugitivas		¿?		Bajo	Pobre
Neumáticas		bajo		Bajo	Pobre

Fuente: Adaptado de Robinson (2012).

Si bien el monitoreo hizo reducir las quejas por olores de los residentes, las mismas continuaron. Los investigadores habían experimentado también la percepción de olores y la irritación. Se atribuyeron a productos de degradación de glicoles, que no se analizaron en las muestras oportunamente.

El Departamento de Salud de Texas realizó también un estudio en la ciudad de Dish, en respuesta a las manifestaciones de preocupación de sus residentes por los efectos de los proyectos de extracción de gas de esquisto. En 2010 se recogieron muestras biológicas de 28 residentes para analizar VOCs en sangre y sus metabolitos en orina y muestras de agua. Los resultados de los estudios se compararon con los datos nacionales de nutrición y salud y se concluyó que no había exposición de la población muestreada a las emisiones de pozos de gas y estaciones de compresión (14).

2) CALIDAD DEL AGUA

La fractura hidráulica requiere el uso de cantidades significativas de agua. Se estima que se usan entre 8.000 y 16.000 metros cúbicos (8 a 16 millones de litros) de agua durante la vida de un pozo para extracción de gas de esquisto.

Este gran consumo de agua puede amenazar la viabilidad futura de las fuentes existentes, con las proyecciones de consumo calculadas. Puede afectarse la relación entre el agua de superficie y de profundidad, haber intercambio entre acuíferos, y la extracción del agua de profundidad puede hacer que se sequen cursos superficiales, con las consecuentes alteraciones ecológicas e impactos de corto o largo plazo.

Hay seis pasos importantes que describen el ciclo del uso del agua (15):

1. Adquisición del agua, ya sea superficial o de acuíferos y transporte hasta el sitio.
2. Mezcla química necesaria para la extracción de gas. Se prepara en el lugar o se transporta como fluido para ser inyectado.
3. Inyección dentro del pozo para fracturar el esquisto y extraer el gas. El fluido desplaza el gas desde las fisuras de la roca para ser recolectado.
4. Retorno del fluido y agua "producida". Se calcula que aproximadamente un 40% del retorno de fluido se recupera pero varía mucho de pozo a pozo (20 a 80%). El agua producida es la que se recuperó con la extracción de gas. El fluido y el agua contienen grandes concentraciones de arena que fue mezclada durante la inyección, también contiene sustancias químicas y materiales radiactivos presentes naturalmente en la formación geológica, así como hidrocarburos y aditivos químicos.
5. Depósito. El agua se deposita en tanques o a cielo abierto. El fluido tiene alta concentración de

químicos y partículas y se deposita antes de ser tratado o dispuesto.

6. Disposición del agua. El agua se transporta a las instalaciones de tratamiento o se dispone por inyección en pozos profundos o se trata en el lugar.

La preocupación primaria en el desarrollo de las perforaciones es la de asegurar que los acuíferos estén protegidos y que no se perderá gas o petróleo durante el proceso. Aún así, cada uno de los pasos del ciclo del agua en la fractura hidráulica constituye un potencial riesgo de contaminación del recurso hídrico y su consecuente impacto sobre el ambiente. Si bien estos pozos se perforan varios cientos o miles de metros por debajo de los acuíferos y del agua superficial, US EPA está estudiando el impacto de la fractura hidráulica sobre los recursos de agua de bebida (16).

La EIS debe poder estimar la exposición humana a las sustancias químicas que potencialmente contaminan los recursos hídricos en los diferentes escenarios. Si bien las concentraciones de productos químicos en los fluidos constituyen el 1 o 2 % del total, la eventual contaminación del agua de bebida podría superar las concentraciones tolerables, que están en el orden de las ppm o ppb, y constituir una amenaza para la salud pública. También se considerará la potencial migración de los gases y los contaminantes del agua que permanece en el pozo y puede ascender o fluir a largas distancias o acumularse en el suelo (16).

El gran consumo de agua también genera preocupación en el área de la salud pública con respecto al tratamiento y disposición de los efluentes. Si bien en algunos sitios se ha desarrollado la capacidad de reusar o reciclar el agua, en otros, estas aguas residuales se acumulan en fosas donde permanecen expuestas al medio ambiente y son vulnerables a la temperatura y las condiciones meteorológicas, así como a un posible desborde o derrame.

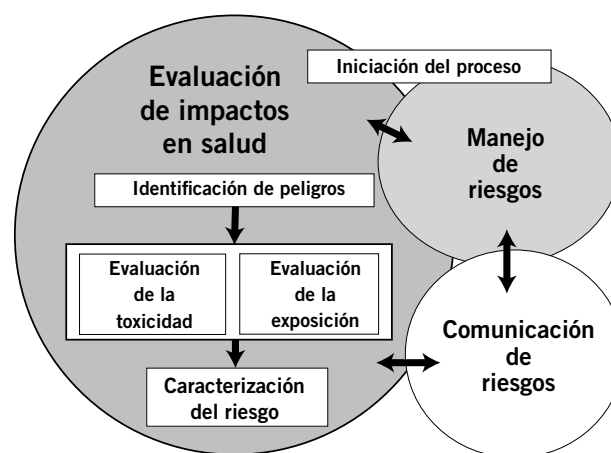


Figura 1. Esquema de la evaluación de impactos tóxicos sobre la salud.

Si bien en algunas localizaciones hay plantas de tratamiento de estos efluentes, éstas no pueden tratar todos los productos químicos residuales, los que pueden acumularse y su destino ambiental es desconocido. Por otro lado, la situación actual es que muchas de estas sustancias no se encuentran en las listas de potenciales contaminantes a evaluar en el agua de bebida ni en las de concentraciones permitidas en aguas residuales. También existen dudas sobre la disponibilidad de métodos analíticos adecuados para medir los contaminantes en las concentraciones que son de interés.

Otro aspecto es la liberación de radionucleidos presentes en la roca. No está claro si la fractura hidráulica moviliza más liberaciones radiactivas que las que normalmente se producen. Se han hallado bromuros, metales trazas y radionucleidos en sedimentos a 300 y 500 metros aguas abajo (17).

En el Workshop 2012 se presentó un estudio (18) que examinó la relación entre la calidad del agua y la distancia a los pozos de gas. Los análisis hidrogeoquímicos y de radionucleidos mostraron valores consistentes con la línea de base. Tampoco se encontraron residuos de fluidos de fracturación en las muestras de agua potable aunque se hallaron elevadas concentraciones de metano y etano en las muestras obtenidas en un área de aproximadamente un kilómetro alrededor del pozo. El estudio no realizó las evaluaciones de riesgos cuantitativas que permitirían entender las consecuencias de una posible exposición humana al fluido de fracturación, incluidos los riesgos de carcinogénesis, de reprotoxicidad (alteraciones en las funciones reproductivas produciendo esterilidad o infertilidad, malformaciones congénitas, alteraciones en el desarrollo intrauterino, etc.), de disrupción endocrina. En otros casos, al no haber estudios de línea de base de concentraciones de sustancias químicas en las aguas utilizadas, también resulta difícil conocer la magnitud del impacto de las tareas de fractura.

Se sabe que el gas de esquisto es metano en un 90%. El metano no está regulado en el agua potable, ya que no altera el color, el gusto ni el olor del agua y no afectaría la potabilidad de la misma. Sin embargo, supone un peligro de asfixia y explosión en espacios confinados si se concentra en el aire. Las autoridades de los EE.UU. recomiendan medidas inmediatas de ventilación de la cabeza del pozo cuando el metano presente en el agua supera concentraciones de 28 mg/L. Cuando la concentración es mayor a 10 mg/L, se debe advertir a los habitantes de los alrededores, retirar fuentes de ignición y tomar medidas para reducir la concentración de metano a menos de 10 mg/L. Se ha recomendado mejorar las investigaciones sobre los efectos de la exposición crónica a bajos niveles de metano, en las personas y los animales (19).

Finalmente, debido a que hay compañías que planean refracturar cada 5 ó 7 años para aumentar la productividad, ello podría tener un impacto acumulativo,

sobre el que no hay estudios. Se puede presumir que la represurización del mismo pozo aumenta el riesgo de fugas y derrames.

3) RUIDO Y PATRONES DE TRÁNSITO AUTOMOTOR

El empleo de maquinarias y el aumento de tránsito vehicular pueden generar un aumento de ruido con consecuencias para la salud.

El ruido sostenido durante un cierto período de tiempo puede afectar el sueño, la cognición, el humor y el desempeño escolar. Los elevados niveles de ruido (de 60-70 decibeles) pueden causar aumentos de cortisol y de la presión arterial. Se propone que las enfermedades cardiovasculares y pulmonares, las tumorales, las alteraciones de la salud mental y algunos marcadores de estrés, tales como la frecuencia cardíaca, el cortisol o la proteína C-reactiva, podrían ser utilizados en el futuro para evaluar algunos de estos aspectos (1).

Los efectos del tránsito de camiones pueden observarse no solamente en los hogares vecinos sino también en la comunidad aledaña por exposición a las emisiones, vibraciones, polvo, así como los riesgos para la seguridad, especialmente si el tránsito ocurre por zonas transitadas por niños.

La construcción de nuevas rutas o aeropuertos puede tener un impacto positivo, ya que puede aumentar la conectividad y facilitar el acceso de las comunidades a bienes y servicios y a cuidados de salud, así como a oportunidades económicas y educacionales en otras localidades, pero también puede tener un efecto negativo sobre la salud, manifestado a través del aumento de las lesiones por colisiones vehiculares, derrames químicos, contaminación del aire y contaminación acústica (1).

4) SUSTANCIAS Y PRODUCTOS QUÍMICOS

Como ya se señaló, un motivo de preocupación primordial es la utilización de distintos productos químicos, potencialmente peligrosos en los fluidos de fractura. La composición de los mismos ha ido evolucionando a lo largo de los años (Tabla V y Figura 2), y los fluidos a base de hidrocarburos utilizados en la década de los '50 han dado lugar a otros de base acuosa, que contienen como aditivos sales metálicas y actualmente surfactantes y polímeros reticulados (5). Aún hoy la composición es muy variada dependiendo de las características del agua y de la formación de esquisto a fracturar, pero típicamente están compuestos por 98-99,2% de agua y 0,8 a 2% de 3 a 12 agentes aditivos químicos.

Un informe de 2011 de la Casa de Representantes de los EE.UU. sobre constituyentes de los fluidos de fractura identificó 2.500 productos que contenían 750 agentes químicos (20). Una lista completa de más de 700 agentes químicos se encuentra en el Informe de progreso del Estudio de Impactos Potenciales de la

Tabla V. *Materiales de los componentes utilizados en los fluidos de fracturamiento hidráulico.*

Ácidos	Estabilizadores de arcilla
Agentes de sostén	Gelificantes
Biocidas	Inhibidores de la corrosión ácida
Control de Hierro	Reductores de fricción
Controladores del pH	Reticulantes
Disolventes	Separadores
Espumantes	Surfactantes

	<i>Sistemas de fluidos</i>	<i>Tecnologías de soporte</i>
2010		Transporte ayudado con fibras
2000	Geles surfactantes viscoelásticos	
1990	Fluidos energizados con espuma	Rompedores encapsulados
1980	Geles a base de polímeros reticulados • Boro, titanio y sales de circonio	Rompedores
1970	Geles a base de polímeros lineales • Derivados de la goma guar • Hidroxietilcelulosa	
1960	Aceites gelificados	
1950	Hidrocarburos	

Fuente: D'Huteau E. y col. (2012)

Figura 2. *Evolución del fluido de fractura.*

Fracturación Hidráulica sobre las fuentes de agua de bebida de la EPA (16).

Otro estudio, publicado también en 2011 (21), hace referencia a 944 productos que contenían 632 agentes químicos. Estos investigadores identificaron 353 sustancias por número de CAS (*Chemical Abstract Service*) y buscaron posibles efectos adversos para la salud en la literatura disponible, hallando que 75% de ellos pueden

afectar la piel, los ojos y otros órganos de los sentidos, el tracto respiratorio y el sistema gastrointestinal, mientras que 40 a 50% pueden afectar el sistema nervioso central, el sistema inmune, el sistema cardiovascular y los riñones (p. ej. tolueno, 2-butoxi-etanol, etilenglicol, plomo y clorhídrico), 35% pueden afectar el sistema endocrino y 25% pueden causar cáncer y mutaciones (p. ej. benceno, naftaleno y diesel). Otros no son peligrosos (sales y ácido cítrico). Altas concentraciones de bromuros pueden ser un problema al interactuar con otros productos químicos (p. ej., los trihalometanos subproductos de la cloración del agua potable).

Se destaca que no hay antecedentes de normas que regulen el registro o uso de los distintos formulados de fluidos de fractura. En los EE.UU. sólo está regulada por la Ley de Agua Potable si se utiliza combustible diesel y, en ese caso, se requiere un permiso, debido al contenido de benceno, tolueno, xilenos y etilbenceno, que son peligrosos para la salud.

Las empresas no siempre están obligadas a informar los productos químicos que utilizan o los que aparecen como trazas o los que se hacen presentes de manera no intencional como resultados de reacciones involuntarias. Este respeto por la confidencialidad de la información puede complicar el acceso a los datos relevantes para la evaluación de riesgos para la salud.

En cuanto a los potenciales efectos para la salud, se deben evaluar los de corto plazo y los de largo plazo. Dado que hay preocupación por la presencia de disruptores endocrinos, también se deberían considerar los riesgos multigeneracionales. Asimismo se distinguen los potenciales efectos sobre la salud de los trabajadores y la salud de las comunidades vecinas.

A los fines de la realización de esta evaluación de los riesgos para la salud de las sustancias y productos químicos, se procede según una metodología ampliamente aceptada, desarrollada en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y por la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR por su sigla en inglés).

Esta "evaluación del riesgo toxicológico" es una actividad científica que valora las propiedades peligrosas del agente químico y las condiciones de exposición humana a dicho agente, tanto para cerciorarse de la posibilidad de que los expuestos sufran efectos adversos como para caracterizar la naturaleza de los efectos que puedan experimentar. Este proceso se liga indefectiblemente con la "gestión del riesgo" que está orientada a decidir si el riesgo evaluado es lo suficientemente significativo como para representar un problema de salud pública o para un colectivo de personas en particular, así como dirigida a establecer cuáles serían los medios apropiados para su control.

Se debe advertir que el término "seguro", cuyo significado común se asocia a "sin riesgo" o "riesgo cero" es simplemente inmensurable en términos de epidemio-

logía ambiental, ya que la ciencia no puede precisar las condiciones bajo las cuales la exposición a una sustancia puede estar absolutamente libre de cualquier tipo de riesgo. Todas las sustancias, incluso las que son consumidas en grandes cantidades todos los días, pueden llegar a producir una respuesta tóxica bajo ciertas condiciones de exposición. En este sentido, todas las sustancias son tóxicas, pero la probabilidad de que el efecto dañino ocurra dependerá de la dosis y de las circunstancias de la exposición. Sin embargo, la ciencia puede describir las condiciones bajo las cuales los riesgos son tan bajos como para que generalmente se consideren sin consecuencias prácticas para las personas en una población.

Por lo tanto, para la evaluación de riesgos los interrogantes importantes no son simplemente los referidos a la toxicidad del material o de la sustancia, sino también los relacionados a la exposición. ¿Cuál es la probabilidad de que las propiedades tóxicas de una sustancia se reconozcan bajo condiciones reales o anticipadas de exposición humana? Para responder a esta pregunta se necesita información y una evaluación más extensa que la simple caracterización de la toxicidad. Así, entre los factores que se tienen en cuenta para determinar la probabilidad están: el origen de la amenaza, la magnitud del peligro potencial, la naturaleza de la vulnerabilidad, la dosis interna que se alcance de un determinado tóxico tras la exposición, la variabilidad interindividual asociada con factores biológicos (genética, edad, sexo, etc.) y de estilos de vida individuales y, por último, la existencia de mecanismos de control y la eficacia de éstos.

El riesgo se expresa a menudo en términos cuantitativos de probabilidad: por ejemplo, el número de muertes adicionales por cáncer en una población de un millón de individuos expuestos. Para la ocurrencia de cáncer suele establecerse como riesgo aceptable, según los países y organismos de control (OMS, EPA), un incremento en la incidencia de un determinado tipo de cáncer en 1 caso cada 10.000, 1 caso cada 100.000 o un caso cada 1.000.000 de habitantes expuestos al contaminante a lo largo de toda la vida.

De esa manera, en el campo de la salud y del medio ambiente, la identificación del peligro y la caracterización del riesgo pretenden un manejo y control adecuados de las probabilidades de que el efecto nocivo ocurra, tratando de reducir al mínimo esa probabilidad. Detrás de toda regulación de calidad de ambiente laboral o de medioambiente en general existe, en forma implícita o explícita, un riesgo aceptable que raramente es cero, que resulta de las condiciones en las que se generan los riesgos y las posibilidades de reducirlos y controlarlos que tienen a su alcance quienes dictan las leyes y los reglamentos.

Las Guías de Buenas Prácticas en Evaluación de Impactos en Salud del ICMM (8) recomiendan la incorpo-

ración de indicadores de contaminación del aire, agua y suelo con materiales potencialmente peligrosos, tales como hidrocarburos y metales pesados. Los mismos pueden originar enfermedades respiratorias, neurológicas, cardiovasculares, dermatológicas, defectos de nacimiento y cánceres. Algunas de estas sustancias pueden incorporarse a la cadena alimentaria y permanecer por décadas.

Finalmente hay que recordar que el uso de productos químicos en las actividades de fractura tienen su correlato potencial de derrames y contaminación. Estos pueden estar relacionados con debilidades en su estructura física, fuga de las tuberías o tanques de almacenamiento. La integridad de los pozos es crítica en su funcionamiento y en la minimización del riesgo. Se sabe que cualquier estructura de ingeniería tiene una tasa de fracaso. Algunos de los pozos están destinados a ser utilizados varias veces y eso es debilitante para la estructura y las operaciones. El líquido es inyectado en el pozo a presiones extremadamente altas, en condiciones que no se conocen por completo.

TRANSPARENCIA EN LA COMUNICACIÓN DE RIESGOS Y ACCESO PÚBLICO A LA INFORMACIÓN

Se destaca la importancia de la transparencia de los procesos y la comunicación al público. Tres ejemplos:

1. El Consejo de Protección de Aguas Subterráneas administra un sitio web, denominado Fracfocus.org, en el que las empresas que explotan los recursos hidrocarburíferos con tecnologías no convencionales notifican en forma voluntaria los productos químicos utilizados en cada sitio (22).
2. La Comisión de Texas para la Calidad Ambiental publica los resultados de los análisis de monitoreo en un mapa interactivo *on line*. Se puede "clickear" en un punto y conocer los datos de laboratorio. Esta es una importante herramienta de comunicación y relación con el público (23).
3. Cumpliendo con la *Emergency Planning and Community Right-to-Know Act*, en los EE.UU., cuando se superan los niveles tolerables de contaminantes atmosféricos, se debe comunicar a la comunidad, lo cual es especialmente relevante para el manejo de emergencias.

5) HUELLA GEOGRÁFICA Y SUBSISTENCIA DE USOS AGRÍCOLAS

Otro aspecto a considerar es la medición de la "huella geográfica" a través del tiempo, a nivel local, regional o nacional, describiendo el impacto de la extracción de gas de esquisto en relación a cambios en superficie, cobertura vegetal, bosques, caminos, recursos hídricos, perforaciones de superficie y áreas residenciales próximas (1).

Estos cambios, así como las modificaciones en la composición del agua y del suelo por el movimiento de materiales, la contaminación con hidrocarburos o fluidos de fractura, podrían alterar la subsistencia de los cultivos en la región.

También se incluyen aquí los impactos que ocurren en áreas alejadas, por ejemplo las zonas donde se encuentran las minas de arena que abastecen al proyecto. No hay claridad aún en las definiciones de lo que constituye una "huella geográfica aceptable o inaceptable" para la extracción de gas de esquisto y se necesita mejor comprensión sobre los impactos a largo plazo.

6) CAMBIOS DEMOGRÁFICOS, EMPLEO E INGRESOS Y AFLUENCIA DE TRABAJADORES

En estos casos, la acelerada expansión de la industria produce también un rápido influjo de población. Un claro ejemplo de ello es lo que ha ocurrido en Vaca Muerta, en Argentina (24). La movilidad de las personas puede generar grupos aislados socialmente (p. ej. las familias que siguieron a los trabajadores de la industria a los nuevos sitios) que padecen la falta de cohesión social, capital social, confianza y valores compartidos, con las consecuentes enfermedades asociadas a estos factores sociales.

Asimismo se generan problemas de infraestructura locales que incluyen daños a las carreteras, trastornos en la seguridad vial, aumentos en los costos de vivienda (los alquileres se han triplicado y hasta cuadruplicado) y disponibilidad (necesidad de construir viviendas y hoteles), requisitos de alcantarillado y de agua, y los requerimientos sobre la policía, los servicios de emergencia y las escuelas (25).

Asimismo se observa que los gobiernos locales no siempre están preparados y generan aumentos en los impuestos para soportar la nueva y mayor infraestructura, produciendo un creciente resentimiento entre los antiguos y los nuevos residentes, con ciclos de auge y caída, con inflación.

Cierta monopolización de la información por parte de la industria puede conducir también a la desconfianza y a la sensación de que hay una toma de poder fuera de la comunidad.

La literatura sociológica y socioepidemiológica demuestra que el ambiente social puede afectar la salud y sugiere metodologías para las investigaciones. La afluencia de población, el aumento del tránsito automotor, del ruido, de las enfermedades de transmisión sexual, de la criminalidad, del consumo problemático de sustancias psicoactivas, los cambios en las condiciones económicas y en la calidad de vida, los cambios en la cohesión social y en el capital social de los individuos, pueden afectar la salud individual y comunitaria.

En cuanto a los cambios comunitarios, se evaluó la disrupción social, los cambios en el modelo familiar, los

efectos potenciales sobre la calidad de vida, la producción de estrés y ansiedad y otros riesgos para la salud mental y la seguridad.

Se evaluaron datos de arrestos policiales y de enfermedades transmitidas sexualmente; y se encontraron patrones que coinciden con el incremento en la introducción, expansión y la disminución de la actividad de perforación (26).

Desde una perspectiva sociológica, los investigadores están observando más conflictos en las comunidades, incluyendo la polarización, la demanda de servicios sociales, los primeros arrendatarios frente a los arrendatarios finales y los recién llegados frente a veteranos. Desde una perspectiva económica, hay efectos sobre los impuestos y la política.

Las Guías de Buenas Prácticas en EIS del ICMM (8) recomiendan la incorporación a la Línea de Base de Salud Humana de los proyectos, de indicadores de riesgo de lesiones por causas externas (LCE): accidentes, violencias e intoxicaciones con productos químicos y metales pesados. Esto se debe a que se contempla que, si bien este tipo de proyectos puede brindar oportunidades de empleo que son relativamente seguras y bien manejadas en comparación con otras opciones disponibles para muchos trabajadores en estas zonas (lo que podría reducir la siniestralidad laboral), las tareas que involucran estos proyectos pueden entrañar riesgo de accidentes relacionados con el uso de productos químicos o con fallas en los equipos y en los movimientos de grandes camiones y maquinarias (retroexcavadoras, perforadoras) que podrían determinar caídas, derrumbes, ahogamientos y deslizamientos de suelo, así como en los traslados de personas entre las ciudades de residencia y el yacimiento en donde se desarrollan las operaciones.

Del mismo modo, podrían observarse modificaciones en la incidencia de otras LCE por efecto indirecto a través de cambios económicos y sociales. Por un lado, podría haber una reducción en los riesgos de violencia en la comunidad debido al empleo mejor remunerado para hombres jóvenes y mejores ingresos y recursos en la comunidad. Sin embargo, la inmigración de grupos grandes, generalmente de hombres, puede algunas veces conducir a disturbios sociales con violencia y agresiones sexuales.

Estos proyectos pueden inducir cambios que afectan los estilos de vida de la población. Pueden aumentar los ingresos de las personas y la disponibilidad y el consumo de tabaco, alcohol y drogas, lo que aumenta el riesgo de enfermedades mentales: suicidio, depresión, estrés y ansiedad. Si bien el acceso a fuentes de trabajo, mejores ingresos, bienes y servicios puede reducir la pobreza, incrementar la autoestima, empoderar a las comunidades y, por consiguiente, mejorar la salud mental y el bienestar reduciendo el estrés, también es cierto que, de no mediar una buena administración, las incer-

tidumbres provocadas por un nuevo proyecto pueden aumentar las preocupaciones, el estrés y los sentimientos de impotencia, particularmente para aquellos que enfrentan la relocalización involuntaria. Si los costos de acceso a la vivienda, alimentos y servicios aumentan como consecuencia del desarrollo del proyecto, el estrés financiero para las familias de bajos ingresos puede ser muy alto. El impacto visual sobre el ambiente, así como también los olores, ruidos y luces asociados pueden alterar el ánimo, elevar los niveles de estrés y producir disturbios en el sueño. La falta de seguridad en el trabajo, si el proyecto solamente brinda contratos de empleo de corto plazo, puede ser otro factor agravante.

También se debe considerar que, como indican las Guías del ICMM, estos proyectos pueden tener impactos positivos sobre los servicios de salud, tanto públicos como privados, a través de la identificación de problemas de salud comunitaria y necesidades, invirtiendo en infraestructura y servicios locales y trabajando conjuntamente con ellos.

Si bien la proporción de hogares que requieren asistencia puede reducirse, es cierto que los proyectos también pueden agregar presiones adicionales sobre los servicios locales de salud y la asistencia social (incluidos los servicios de emergencia) debido al aumento de la población en el área.

El ICMM considera crítico desarrollar un buen perfil de la capacidad basal de los servicios de salud existentes, de las instalaciones de salud tanto públicas como privadas, que ayuden a tener una comprensión clara de la capacidad del sistema de salud local para proporcionar atención sanitaria y social. También propone evaluar las prácticas médicas tradicionales.

Asimismo esta información resulta de interés a fin de elaborar un plan para el fomento de la capacidad de los servicios de salud locales (suministros médicos, equipo y personal), para administrar la demanda y, principalmente, desarrollar e implementar medidas preventivas y de promoción de la salud pública en estrecha asociación con los servicios locales de salud, la asistencia social y los servicios de bienestar social de las organizaciones no gubernamentales.

Es innegable que los impactos socioeconómicos y políticos influyen en la salud pública. Entre las recomendaciones está el control del desarrollo, planificando el arribo de la población nueva, involucrando al gobierno local y a las comunidades en un plan de manejo adaptativo.

Al igual que los metales y el petróleo, el gas natural es un recurso natural no renovable, y cualquier discusión sobre el desarrollo económico relacionados con ellos tiene que reconocer que cuando el recurso se ha ido, la base de la actividad económica se ha ido también (26) (27).

En cuanto al impacto sobre el desempleo, se deben considerar las tres fases de la actividad: desarrollo,

producción y recuperación. La fase de desarrollo es de corta duración y mucha mano de obra, la fase de producción requiere una fuerza de trabajo pequeña y constante y en la fase de recuperación el empleo declina. El número de los trabajadores dependerá del número de equipos de perforación, del número de pozos, y del volumen de empleo en las actividades de soporte (transporte, coordinación, comunicaciones, viviendas de los trabajadores, oficinas, depósitos, servicios, etc.). Es esperable que estos proyectos reduzcan el desempleo y que aumenten los salarios. La experiencia de los EE.UU. dice que alrededor del 75% de los puestos de trabajo no requieren de personas con educación universitaria, siendo ingenieros y geólogos los más buscados para los puestos calificados.

En algunos casos las empresas no contratan localmente, lo que ayudaría a mantener la estabilidad de la comunidad, debido a que las habilidades no están disponibles a nivel local. Algunas empresas ofrecen formación para la población local.

7) SALUD DE LAS COMUNIDADES

Las Guías de Buenas Prácticas en Evaluación de Impactos en Salud del ICMM (9) recomiendan la incorporación de los datos de morbilidad y mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, como indicadores de los cambios que pueden afectar los estilos de vida. Pueden aumentar los ingresos de las personas y la disponibilidad de tabaco, alcohol y drogas, modificando la dieta, el nivel de actividad física, la incidencia de tabaquismo, de consumo de alcohol y de drogas. Todo esto aumenta el riesgo de padecer enfermedades crónicas respiratorias y cardiovasculares, diabetes y cáncer, así como también enfermedades mentales. Las enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares constituyen una de las principales causas de muerte y discapacidad en el planeta. Aún pequeños cambios, en los factores de riesgo de estas enfermedades crónicas, puede tener repercusiones significativas en la salud y el bienestar de las comunidades en el largo plazo.

Del mismo modo recomiendan la incorporación de indicadores de riesgo de enfermedades de transmisión sexual (ETS) tales como VIH /SIDA, gonorrea y clamidia, a las evaluaciones de impacto y, por cuanto consideran que el mejoramiento del estatus económico del área del proyecto y la inmigración de personas que viven alejadas de su familia (en su mayoría varones) puede conducir a un aumento de la demanda de prostitución, un mayor número de trabajadoras del sexo comercial y un aumento de dicho riesgo.

También se recomienda incluir indicadores de riesgo de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua y los alimentos, tales como cólera, fiebre tifoidea, hepatitis A, poliomielitis, esquistosomiasis, amebiasis, giardiasis, entre otras. Otras enfermedades crónicas

originadas en la presencia de contaminantes químicos, presentes en forma endémica en el agua de bebida, son la fluorosis, el hidroarsenicismo crónico regional endémico o las metahemoglobinemias. Esto se fundamenta en que los cambios ambientales, sociales y económicos, originados en el proyecto, pueden modificar la frecuencia en que estas enfermedades aparecen. La utilización de los recursos de agua locales, por ejemplo, puede afectar la provisión de agua segura a las comunidades y generar brotes de enfermedades. La salud y el estado nutricional de los niños de las poblaciones del área de influencia, se encuentran afectados por las condiciones de saneamiento básico, como son la provisión de agua y la eliminación de excretas. Asimismo, hay un potencial riesgo en los alimentos consumidos. En este sentido, las Guías plantean que el proyecto puede anticiparse y desarrollar programas de promoción de salud preventivos de las enfermedades.

Finalmente, se indica la inclusión de indicadores de desórdenes nutricionales (desnutrición, deficiencias vitamínicas, obesidad). Esta recomendación se fundamenta en que los proyectos pueden incrementar el rango, calidad y cantidad de alimentos disponibles, mejorando la nutrición y generando un impacto positivo sobre la salud y el bienestar de las personas. Sin embargo, también pueden reducir el acceso a fuentes de alimentos tradicionales, porque se desvía el uso de la tierra de cultivo para otros propósitos o bien por aumentar los precios de los alimentos como consecuencia de una mayor demanda. También hay riesgos de obesidad y deficiencias de micronutrientes, asociados al incremento de productos alimenticios disponibles ricos en hipercalorías y escasos en vitaminas esenciales y minerales. Todos estos cambios repercuten más en personas vulnerables, como los niños, los ancianos, las personas enfermas y con discapacidades y los sectores de bajos ingresos.

Con respecto al impacto de la contaminación del aire en la salud de las comunidades, en el Workshop 2012 se presentó un estudio realizado por la Escuela de Salud Pública de Colorado, con el objetivo de evaluar el EIS de la explotación no convencional de gas natural en una pequeña comunidad del Oeste de Colorado, Battlement Mesa en Garfield County, donde estas actividades tienen más de una década de historia. Los residentes de Battlement Mesa querían saber cuál era la distancia mínima segura de una perforación hasta sus hogares que no poseía riesgo para su salud y la metodología EIS constituye una herramienta apta para este fin.

Garfield County tiene una población de 50.000 habitantes. En 2010 se extendieron 1.806 permisos de perforación, convirtiéndolo en el segundo condado en número de permisos (Weld County es el primero con 1.854). En 2012 había más de 3.000 pozos de gas natural en Garfield y ya estaban “invadiendo” las áreas pobladas en el fondo del valle, lo que aumentó el interés

de los ciudadanos por conocer sus efectos sobre la salud humana y ambiental.

Se dice que Colorado es un “estado dividido” por el “fracking” ya que hay gente con intereses contrapuestos, por un lado los que viven en los poblados donde se instalan los proyectos y, por el otro, los que tienen los derechos de explotación y quieren ejecutarlos.

El equipo de investigación identificó tres tipos posibles de exposición a noxas: sustancias químicas, noxas no químicas (p. ej. ruido y tránsito) y cambios en la comunidad. Como conclusión, realizó más de 70 recomendaciones para reducir el riesgo de efectos (29-31).

Los patrones climáticos y meteorológicos de Colorado son particulares y contribuyen a la exposición humana a los contaminantes. El clima es seco, por las mañanas el aire es caliente y por la noche se enfría y genera vientos que bajan por la ladera. Además, el río Colorado divide el condado de Garfield y es una fuente de agua potable para muchas personas.

Garfield tiene estaciones de monitoreo de aire de largo plazo, operadas por el Departamento de Salud Pública. Las muestras se recolectan en períodos de 24 horas y se analizan en laboratorios certificados por la EPA, que cuantifican 78 COVs no metano. Para este estudio se analizaron 163 muestras de aire, una cada 6 días durante 3 años (2008 – 2010) correspondientes al período de mayor producción. Además se realizaron tomas de muestras puntuales a través de personas que visitaron el lugar. El equipo observó escotillas abiertas en los tanques que contienen las aguas residuales del pozo, y se percibían fuertes olores. No se observaron viviendas dentro de los 300 metros de la operación.

Se tomaron 24 muestras de agua a distancias entre 50 y 150 metros del pozo, durante el período de retorno de los fluidos provenientes del pozo, que arrastran hidrocarburos.

La evaluación del impacto en la salud obliga a responder antes una serie de preguntas relacionadas con la estimación de la exposición, tales como: ¿Qué duración tienen los pozos en su lugar? ¿Cuánto tiempo demora el desarrollo de un pozo? ¿Cuántos pozos se encuentran en una plataforma? ¿Cuántas plataformas hay en una comunidad?

Se utilizaron métodos de la EPA para estimar los riesgos en dos duraciones: subcrónica (efectos a corto plazo) y crónica (efectos a más largo plazo). El escenario de exposición subcrónica resulta compatible con el período de 9 a 20 meses de desarrollo del proyecto. El escenario de exposición crónica supone un período de 30 años, que es el tiempo máximo de producción de un pozo maduro. Cada pozo se somete muchas veces a fractura hidráulica.

Se consideraron dos categorías, para la distancia de la vivienda a la fuente de exposición, según las quejas de olores: Cercano = ½ milla y Lejano = más de ½ milla.

Se asumen “por defecto” las exposiciones máximas

razonables para las personas, con criterio protector para la salud: permanencia en la ciudad 24 horas por día, 350 días por año y usando el 95 por ciento del límite de confianza superior de las concentraciones medias estimadas para las diferentes sustancias tóxicas del aire, utilizando los datos de las estaciones de monitoreo.

Con estas presunciones se crearon cuatro escenarios de exposición: crónico-lejano; subcrónico-lejano; crónico-cercano; subcrónico-cercano.

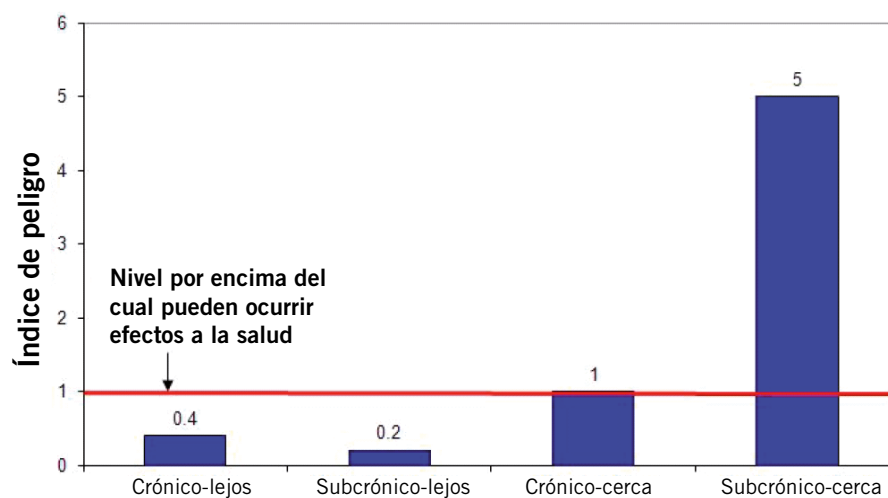
Para cuantificar riesgo para la salud “no cáncer” se utilizó el índice de peligro (HIs). El HI es la razón de la exposición estimada por una determinada vía (oral, dérmica o inhalatoria), expresada como concentración en la matriz estudiada, o como dosis, y la concentración de referencia (RfC según EPA) o dosis con mínimo nivel de riesgo (MRL según ATSDR) para una sustancia. Las RfC y las MRL son los valores de concentración o de dosis a las cuales se estima que la exposición no producirá un efecto adverso “no cáncer”. Las RfC se encuentran catalogadas por el Sistema Integrado de Información de Riesgos de EPA (EPA’s IRIS) y los MRL en las guías de la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (ATSDR por su sigla en inglés). Cuando el HI es mayor que 1 indica la existencia de probable riesgo para la salud asociado a esa exposición, mientras que por debajo de 1 no debería esperarse daño a la salud asociado a la exposición.

En este caso, dado que objeto de estudio eran las emisiones al aire, se utilizaron las RfC. IRIS provee tanto RfCs crónica como subcrónica y cada una fue aplicada en el escenario apropiado. Dado que hay numerosas sustancias implicadas, se utilizó el promedio de los HIs calculados para cada sustancia. En este estudio de casos, la mayoría de los HIs no revelaron un nivel de preocupación.

El proceso para la estimación del riesgo de cáncer es diferente. La exposición promedio a largo plazo para cada cancerígeno fue estimada para un período de 30 años, usando los datos de muestreo de aire. Esta exposición fue multiplicada por la unidad de riesgo inhalatoria, que indica la potencia del carcinógeno para computar el exceso de riesgo de cáncer por el período de toda la vida. El nivel de riesgo fue sumado para los diferentes cancerígenos que fueron detectados, para computar el riesgo acumulado para toda la vida. El riesgo de cáncer para toda la vida es un indicador del número de excesos de cáncer en una población de 1 millón de personas. El criterio usado para evaluar el riesgo es si el mismo es mayor a 1 en un millón (1×10^{-6}). Como ya se mencionó, cabe aclarar que no todos los estados, ni todos los países, consideran intolerable el riesgo incremental de 1 en un millón, siendo aceptables, en algunos casos, riesgos de 1 en 100.000 habitantes.

El HI para exposición crónica-lejana fue 0,4, para crónica-cercana 1, para subcrónica-lejana 0,2 y para subcrónica-cercana 5, mostrando un nivel de preocupación (Figura 3).

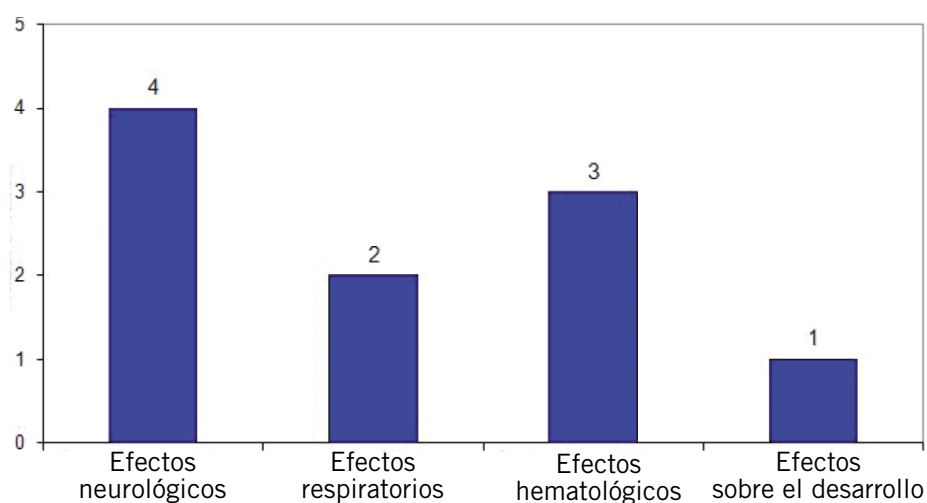
En lugar de promediar todos los HIs para hallar un único HI, es posible categorizar las sustancias químicas tóxicas para un efecto sobre la salud y calcular un HI para efecto neurológico solo, o para efecto respiratorio solo, etc. Para la exposición subcrónica-cercana, los datos fueron apareados sobre la base del efecto sobre la salud. Para efecto neurológico el HI fue 4, para el respiratorio fue 2, para el hematológico fue 3 y para el efecto sobre el desarrollo fue 1. Por lo tanto se debería limitar la exposición de los ciudadanos, porque hay niveles de preocupación para los tres primeros (Figura 4).



ESCENARIO DE EXPOSICIÓN

Fuente: Modificado de Adgate, 2012

Figura 3. Índices de peligro según duración de la exposición y distancia desde la fuente.



CATEGORÍAS DE EFECTOS

Fuente: Modificado de Adgate, 2012

Figura 4. Índices de peligro según categorías de efectos. Escenarios de exposición cercano-subcrónico.

El mayor contribuyente al HI fue el trimetilbenceno, responsable del 46% del riesgo estimado, seguido de los hidrocarburos alifáticos (21%) y xilenos (15%). El benceno tuvo una escasa contribución (5%).

Con esta información se pueden revisar las prácticas y realizar los cambios necesarios para reducir los riesgos para la salud.

El riesgo estimado de cáncer para exposiciones de 30 años estuvo en un rango que no suele justificar preocupación. Riesgo de 6 en 1 millón para residentes que viven lejos y 10 en 1 millón para residentes que viven cerca de la perforación. Esto es mayor al nivel de riesgo de 1 en 1 millón pero inferior al nivel al cual la EPA típicamente requiere remediación. Las concentraciones fueron similares o mayores a las observadas en muchas áreas urbanas. El benceno y el etilbenceno fueron los principales contribuyentes. Los residentes que viven cerca de la perforación están potencialmente expuestos a niveles sustanciales de tóxicos en el aire. Los HI específicos para efectos, así como el riesgo acumulado de efectos no cáncer subcrónico, son mayores a 1 para los residentes que habitan cerca del área de la perforación. También el riesgo estimado de cáncer y el HI de efectos crónicos no cáncer es mayor para los residentes que viven cerca pero están dentro del rango generalmente aceptable.

Hay muchas incertidumbres y limitaciones en este estudio. El tamaño de la muestra fue pequeño usando solamente 24 muestras, para evaluar 78 compuestos, recolectadas desde 150 a 500 pies alrededor del pozo. En general, los datos son limitados para las emisiones en los sitios de perforación. Además, las emisiones de contaminantes no-metano parecen variar sustantiva-

mente según el lugar, el proceso, el número de pozos en un área, así como los controles que se realizan. En este caso no se analizaron contaminantes primarios y secundarios tales como aldehídos, emisiones diesel, etc. Las exposiciones de corto plazo son probablemente importantes y las estrategias de prevención deberían estar dirigidas a minimizar las exposiciones, para reducir el potencial de riesgo no cáncer subcrónico.

8) SALUD DE LOS TRABAJADORES

Según las comunicaciones del Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de los EE.UU. (NIOSH por su sigla en inglés: *National Institute for Occupational Safety and Health*), los sitios de fractura hidráulica tienen riesgos de seguridad similares a los de otros sitios de perforación de petróleo y gas. Se incluyen: golpes por vehículos automotores (*in itinere* y en el sitio) y otros equipos en movimiento, caída de herramientas y objetos, insuficiente iluminación, atrapamientos en los puntos de engranaje, caída desde alturas, golpes por las líneas de alta presión o inesperada liberación de presión, incendios o explosiones de fluidos de flujos de retorno que contengan materiales inflamables (p. ej., metano) y otros materiales inflamables almacenados o usados en el pozo, los trabajos en espacios confinados, sin tomar las precauciones necesarias.

En lo que se refiere a la evaluación de la exposición a sustancias químicas en los trabajadores del sector de explotación de gas y petróleo por fractura hidráulica, el NIOSH comenzó, en el año 2010, un Estudio de Campo (31), cuyos objetivos fueron: 1) identificar procesos y actividades que involucraran sustancias químicas; 2) caracte-

terizar la exposición potencial a gases, vapores, humos y material particulado (p. ej. solventes, particulado diesel, sílica cristalina, ácidos, aldehídos, metales) y 3) en función de los resultados del estudio, recomendar prácticas de trabajo seguras que incluyeran la propuesta y evaluación de eventuales sustituciones por agentes químicos menos peligrosos, controles de exposición a través de medidas de ingeniería y equipos de protección personal adecuados al riesgo.

Entre las sustancias químicas a las que se pueden exponer los trabajadores durante la extracción de gas y petróleo están: sílica cristalina respirable (arena de cuarzo), partículas de diesel (hidrocarburos aromáticos policíclicos), compuestos orgánicos volátiles (COVs) entre los que se incluyen el naftaleno, el benceno, el tolueno, el etilbenceno y los xilenos (NBTEX), sulfuro de hidrógeno (SH₂), gases ácidos (HCl), aldehídos (biocidas) y metales (plomo usado para sellar cañerías) (32).

NIOSH visitó 11 sitios de fractura hidráulica en 5 estados, a diferentes alturas sobre el nivel del mar y en distintos momentos del año.

De las observaciones realizadas surge que la exposición a la sílica cristalina presente en la arena, constituye el riesgo de exposición ocupacional más importante, mayor que a los productos químicos usados durante la fractura hidráulica (33).

En las operaciones de fractura hidráulica se utilizan miles de toneladas de arena conteniendo cuarzo. La arena se manipula, se transporta y genera polvos. La exposición de los trabajadores puede ocurrir en todas las etapas.

La exposición ocupacional a sílica cristalina se asocia con la enfermedad pulmonar conocida como silicosis y está asociada con cáncer de pulmón.

La silicosis es prevenible si se elimina la exposición, pero una vez desencadenada la enfermedad, aunque se discontinúe la exposición, no se detendrá la progresión de la enfermedad que es incurable, irreversible y progresiva.

En los EE.UU., la exposición industrial a sílica cristalina está asociada con 160-200 muertes anuales.

NIOSH recogió más de 100 muestras de aire en las áreas de trabajo de los sitios de operación de fractura hidráulica. Más de la mitad tenían valores de sílica cristalina que superaban las concentraciones máximas permitidas por OSHA y 68% superaban los límites recomendados por NIOSH, en algunos casos (más del 30% de las muestras en algunos sitios) con factores de 10 o más, lo cual excede los factores de protección de los filtros usados en las máscaras habituales, para protección respiratoria, observados en los sitios visitados.

NIOSH identificó fuentes generadoras de polvo y desarrolló recomendaciones para el control pasivo y activo (p. ej. nuevos diseños de equipos para movimiento de arena con control de polvo) (34), uso de operaciones remotas para mantener a los trabaja-

dores alejados de las áreas de alta concentración de polvo, sustitución de arena con cerámica u otros materiales apuntalantes, minimización de la distancia de caída de la arena, programas efectivos de protección respiratoria, etc. Las compañías realizan estudios de función pulmonar en los exámenes preocupacionales y han mejorado los programas de protección respiratoria.

Además de la sílica cristalina, el particulado diesel también es un peligro ocupacional importante, y se debe recordar que la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC por su sigla en inglés *International Agency for Research of Cancer*) lo ha clasificado como cancerígeno demostrado para humanos (35), lo que se atribuye fundamentalmente a la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos cancerígenos en su composición. Estas sustancias han sido los primeros cancerígenos ocupacionales identificados ("cáncer de escroto de los deshollinadores" descrito por Percivall Pott en 1775) y son agentes químicos asociados al cáncer de pulmón, de vejiga y de piel.

Dado que no se trató de un estudio de salud, la NIOSH no ha reportado datos de enfermedades ocupacionales registradas. Tampoco se hace referencia a una vigilancia sistemática de los trabajadores de esta actividad y no se conocen casos centinela de silicosis aguda o acelerada en los trabajadores. Se hace constatar también que se trata de una población trabajadora poco estable, por lo que resulta difícil la vigilancia de las enfermedades a largo plazo. Tampoco se evaluaron mujeres y solamente dos mujeres fueron vistas en las operaciones.

En cuanto a la siniestralidad laboral, en los EE.UU., la rama de actividad de la extracción de gas y petróleo tiene una tasa de accidentes fatales de 27,5 por 100.000 trabajadores (2003-2009) que es siete veces más alta que la media de los trabajadores de los EE.UU. (3,9 por 100.000 trabajadores). La mayoría se debieron a siniestros vehiculares en rutas (29%) y a colisiones de trabajadores con grandes equipos (20%). Le siguen en orden de importancia, las explosiones (8%), los atrapamientos de trabajadores con maquinaria o herramientas (7%) y las caídas desde alturas (6%). Esto ha sido atribuido a una elevada proporción de trabajadores sin experiencia, largas jornadas de trabajo y a la utilización de equipamientos antiguos que no reúnen todas las garantías de seguridad (36).

Cabe señalar que, en Argentina, según datos del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (37), la tasa de fatalidades por accidentes en esta rama de actividad, fue de 5,4 por 100.000 en 2012 (2 muertes con 36.750 personas trabajando) y de 5,9 por 100.000 en 2011. No muy diferente de la que refiere la Superintendencia de Riesgos del Trabajo en su Informe de Accidentabilidad del 2013 para todos los rubros de actividad, que fue de 6,5 fatalidades por 100.000 para 2012 (38).

Transacciones de riesgo

El tema permite un análisis desde una visión más amplia, qué fuente de energía es más sustentable, cómo se asegura la salud a través del ciclo de vida de la producción y el uso de la energía (39). La energía nuclear puede aparecer en primer lugar, aunque siempre existirá alguna pequeña probabilidad de que algo catastrófico ocurra. Una segunda opción es la energía derivada de la quema de biomasa. Similar a lo que ocurre con la energía nuclear, hay gente que apoya el uso de la biomasa para la producción de energía eléctrica, pero numerosos estudios demuestran que la quema de biomasa es un problema para la salud pública. Una tercera opción es la energía eólica. Una vez más, hay personas apoyando la construcción de parques eólicos y otras luchando contra ello.

Algunos científicos proponen analizar los impactos de la fractura hidráulica y las implicancias de la transición desde el carbón hacia el gas natural en el contexto del cambio climático.

El metano es el componente principal del gas natural, y hay fugas de metano en cada punto a lo largo de la cadena de suministro de gas natural desde la producción, hasta la transformación, transporte y combustión. El metano es también un gas de efecto invernadero, y su fuga debe tenerse en cuenta en la comparación con el gas natural y el carbón. Es posible utilizar el potencial de calentamiento global (GWP) que se ha desarrollado para comparar la capacidad de cada gas de efecto invernadero para atrapar el calor en la atmósfera, en relación con el dióxido de carbono. Cuando se realiza una comparación de los efectos de una planta de energía de carbón y una planta de energía de gas natural, se revela que hay una reducción del 20% y cuanto menor es la tasa de fuga de metano, a través de la cadena de suministro, más grandes son los beneficios climáticos de tal cambio, siempre y cuando las tasas de fuga estén por debajo de aproximadamente un 3%.

Datos interesantes revela un informe del Consejo Nacional de Investigación de los EE.UU., solicitado por el Congreso de los EE.UU., sobre las "externalidades" (costos y beneficios ocultos) de la producción, distribución y uso de la energía (NRC, 2010), relacionados a la salud, el medio ambiente, la seguridad y la infraestructura. Se utilizó una modelación para estimar daños basados principalmente en las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), de óxidos de nitrógeno (NOx) y de partículas (PM). El mayor contribuyente a las estimaciones de los daños estaba relacionado con la mortalidad humana. Para daños no climáticos, las plantas de gas natural, generan el 1% de los daños asociados con el carbón. Este hallazgo es debido a los niveles mucho más bajos de contaminantes emitidos durante la combustión de gas natural. Para los efectos del cambio climático, los daños resultan 20 veces mayores para el carbón en comparación con el gas natural.

Recomendaciones para futuros estudios

El *Workshop* 2012 concluye que, aún en los EE.UU., existen muchas "zonas grises" en la regulación de la fractura hidráulica y se requiere armonizar los datos exigidos para la evaluación de impactos de los proyectos, tanto en el ámbito federal como estatal y local.

Hay un llamado a la industria e instituciones de investigación para colaborar, especialmente alrededor de las lagunas de conocimiento. Estas áreas incluyen la comprensión de:

- 1) destino ambiental de los fluidos de fracturación,
- 2) carga tóxica para el análisis de la exposición,
- 3) impacto de las aguas residuales,
- 4) eficacia de las tecnologías de remoción y eliminación de contaminantes,
- 5) impactos acumulativos de la re-fractura hidráulica,
- 6) alternativas de investigación a las prácticas actuales de fractura hidráulica,
- 7) estrategias eficaces de vigilancia que deban aplicarse,
- 8) características y propiedades de los productos químicos y fluidos de fractura,
- 9) modelado de la exposición de las poblaciones, incluidas las poblaciones vulnerables,
- 10) impactos sociales.

Se requiere:

- Línea de base del estado de salud de las comunidades afectadas.
- Caracterización del sitio e identificación de las sustancias y mezclas prioritarias para la realización de las pruebas toxicológicas.
- Coordinación entre los distintos niveles de gobierno y agencias para responder a las comunidades, obtener muestras y datos de salud y comunicar los resultados.
- Educación y capacitación de personal de salud sobre los riesgos y la vigilancia.
- Necesidad de Guías para el monitoreo y la vigilancia.

Algunos autores, especialmente Goldstein, están más preocupados por la toxicidad de los químicos que se extraen del suelo que por los fluidos provenientes de la fractura, que también necesitan ser dispuestos. Por ejemplo, el arsénico y los radionucleidos. Asimismo Goldstein enfatiza la necesidad de que el tema se instale en la agenda pública, se aumente la cantidad de recursos humanos capacitados en las agencias de gobierno y se aumente el presupuesto destinado a investigar los impactos en la salud. Alerta sobre que las inversiones y las erogaciones del estado son para los departamentos de energía, para la US EPA y el departamento del Interior, pero no lo son para mejorar la investigación

y las estrategias de vigilancia de la salud a cargo de las autoridades sanitarias (40).

Conclusiones

La introducción de nuevas tecnologías y nuevas inversiones, como es el caso de la explotación de gas de esquisto, puede mejorar economías locales y regionales con la consecuente mejora en la salud pública, pero también puede introducir nuevos riesgos y preocupaciones para la salud pública. Proteger la salud y prevenir no solamente salva vidas, también permite ahorrar dinero reduciendo o eliminando costos de cuidado de la salud y pérdidas de productividad.

Hay muy poca información publicada sobre la identificación y caracterización de los riesgos químicos de los trabajadores de la extracción de gas y petróleo por estas tecnologías no convencionales. Se necesita más investigación, particularmente en materia de inventario de emisiones, caracterización de exposición y vigilancia de la salud.

Las prácticas seguras, las políticas y procedimientos de seguridad están orientados a prevenir la injuria aguda pero falta una mayor comprensión sobre los riesgos para la salud a largo plazo, resultantes de la exposición a sustancias químicas.

Los pasos que se den para identificar las amenazas para la salud pueden ser usados para mejorar tecnologías, permitiendo continuar avanzando hacia metas económicas y de seguridad de la nación, mientras se protege la salud y se previene la enfermedad.

Se parte de la noción que la salud de las comunidades debería ser considerada tempranamente a la hora de la toma de decisiones en materia de inversiones y planificación, aun cuando se trate de temas estratégicos como es la energía. Generalmente las decisiones políticas se basan en las necesidades energéticas, los potenciales impactos ambientales y las consideraciones económicas, y la salud no suelen estar sobre la mesa. Si estos impactos sobre la salud se evalúan tardíamente en el proceso, cuando las decisiones ya han sido tomadas, los ajustes a realizar, para proteger la salud de las comunidades, frecuentemente son difíciles y sumamente onerosos. Las decisiones en materia de salud no tendrían que estar en contradicción con el crecimiento económico, sino ser consideradas como un socio para asegurar un futuro energético sustentable.

CORRESPONDENCIA

MAGISTER SUSANA GARCÍA
Somellera 4957
1439 CIUDAD AUTÓNOMA DE BUENOS AIRES
E-mail: susanaigarcia@yahoo.es

Referencias bibliográficas

1. Coussens C, Martinez RM, Rapporteurs. Health impact assessment of shale gas extraction. Roundtable on Environmental Health Sciences, Research, and Medicine Board on Population Health and Public Health Practice: Workshop summary. Washington: The National Academies Press; 2014. Disponible en: URL: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=18376. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
2. SIPSE.COM. Búsqueda de petróleo contaminó la sangre de una familia. 2014 Abr 24. Disponible en: URL: <http://sipse.com/mundo/demanda-fracking-familia-petroleo-texas-87086.html>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
3. Congress of the United States. House of Representatives. Letter to the Honorable Kathleen Sebelius. Washington. 2012 Nov 30. Disponible en: URL: <https://energycommerce.house.gov/sites/republicans.energycommerce.house.gov/files/letters/20121130HHS.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
4. YPF.com. Desafío energético. ¿Qué es shale? Disponible en: URL: <http://www.ypf.com/energiaypf/Paginas/que-es-shale.html>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
5. D'Huteau E, Gillard M, Miller M, Peña A, Johnson J, Turner M *et al.* Fracturamiento con canales de flujo abiertos: Una vía rápida para la producción. Traducción del artículo publicado en *Oilfield Review*: 23, no. 3. 2012. Disponible en: URL: http://www.slb.com/~media/files/resources/oilfield_review/spanish11/aut11/01_fracturamiento.pdf. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
6. World Health Organization - Europe. Health and Safety Component of Environmental Impact Assessment, Report of a WHO meeting. Environmental Health Series, No. 15. Copenhagen: WHO-Europe; 1987. Disponible en: URL: http://whqlibdoc.who.int/euro/ehs/EURO_EHS_15.pdf. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
7. Institute of Medicine (US). For the public's health: Revitalizing law and policy to meet new challenges. Washington: The National Academies Press; 2011. Disponible en: URL: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13093. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
8. National Research Council. Improving health in the United States: The role of health impact assessment. Washington: The National Academies Press; 2011. Disponible en: URL: http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13229. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
9. International Council on Mining and Metals. Good practice guidance on health impact assessment. 2010. Disponible en: URL: <http://www.icmm.com/document/792>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
10. Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Ginebra, WHO-Europe; 2006. Disponible en: URL: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
11. WHO Regional Office for Europe European Centre for

- Environment and Health. Environmental Health Indicators. Development of a methodology for the WHO European Region. Bilthoven, WHO-Europe; 2000. Disponible en: URL: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/2001/10/env/wp.19.e.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
12. Robinson AL. Air pollutant emissions from shale gas development and production. PowerPoint presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/~media/Files/Activity%20Files/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-04-30/Robinson.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 13. Honeycutt M. Air quality impacts of natural gas operations in Texas. PowerPoint presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/~media/Files/Activity%20Files/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-04-30/Honeycutt.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 14. Texas Department of State Health Services. "Final Report. DISH, Texas Exposure Investigation". Texas; 2010. Disponible en: URL: <http://www.tceq.texas.gov/airquality/barnettshale/bshale-viewer>; http://www.dshs.state.tx.us/epitox/consults/dish_ei_2010.doc; http://www.dshs.state.tx.us/epitox/reports/dish_presentation.doc. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 15. Swackhamer D. Potential impacts of hydraulic fracturing on water resources. Presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK201899/>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 16. Environmental Protection Agency. Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources. Progress Report. 2012. Disponible en: URL: <http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/hf-report20121214.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 17. Jackson RB. Hydraulic fracturing, water resources, and human health. PowerPoint presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/~media/Files/Activity%20Files/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-04-30/Jackson.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 18. Osborn SG, Vengosh A, Warner NR, Jackson RB. Methane contamination of drinking water accompanying gas-well drilling and hydraulic fracturing. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 108(20):8172–8176. Millbrook, NY, Cary Institute of Ecosystem Studies; 2011. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3100993/pdf/pnas.1100682108.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 19. Jackson RB, Rainey Pearson B, Osborn SG, Warner NR, Vengosh A. 2011. Research and policy recommendations for hydraulic fracturing and shale gas extractions. Durham, NC: Center on Global Change, Duke University. Disponible en: URL: <https://nicholas.duke.edu/cgc/HydraulicFracturingWhitepaper2011.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 20. U.S. House of Representatives. Chemicals used in hydraulic fracturing. Washington; 2011. Disponible en: URL: <http://democrats.energycommerce.house.gov/sites/default/files/documents/Hydraulic-Fracturing-Chemicals-2011-4-18.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 21. Colborn T, Kwiatkowski C, Schultz K, Bachran M. Natural gas operations from a public health perspective. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal 17:1039–1056. London, Taylor & Francis; 2011. Disponible en: URL: <http://cce.cornell.edu/EnergyClimateChange/NaturalGasDev/Documents/PDFs/fracking%20chemicals%20from%20a%20public%20health%20perspective.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 22. GWPC and IOGCC (Ground Water Protection Council and Interstate Oil and Gas Compact Commission); 2013. FracFocus Chemical Disclosure Registry. Disponible en: URL: <http://www.fracfocus.org>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 23. TECQ. Barnett Shale Air Sampling Map Viewer. 2014. Disponible en: URL: <http://www.tceq.texas.gov/airquality/barnettshale/bshale-viewer>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 24. INFONEWS. En Vaca Muerta, el metro cuadrado de tierra es más caro que en Puerto Madero. 2014. Disponible en: URL: <http://www.infonews.com/2014/09/23/economia-163756-en-vaca-muerta-el-metro-cuadrado-de-tierra-es-mas-carro-que-en-puerto-madero.php>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 25. Kelsey TW. Economic & community impacts of gas shale in Pennsylvania. PowerPoint presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/~media/Files/Activity%20Files/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-04-30/kelsey.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 26. Jacquet J. Energy boomtowns & natural gas: Implications for Marcellus Shale local governments & natural communities. NERC RD Rural Development Paper N°. 43, 2009. Disponible en: URL: <http://energy.wilkes.edu/PDFFiles/Issues/Energy%20Boomtowns%20and%20Natural%20Gas.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
 27. Kelsey TW, Shields M, Ladlee JR, Ward M, Brundage TL, Lorson JF, *et al.* Economic impacts of Marcellus Shale in Pennsylvania: Employment and income in 2009. Williamsport, PA: Pennsylvania College of Technology and Penn State Extension. 2011. Disponible en: URL: <http://www.shaletec.org/docs/EconomicImpactFINAUGUST28.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.

28. Schafft KA. Marcellus Shale Gas Development: What Does It Mean for Pennsylvania Schools? 2012. Disponible en: URL: http://cce.cornell.edu/EnergyClimateChange/NaturalGasDev/Documents/PDFs/MFS20PAsch12_20.pdf. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
29. Adgate J. Air pollution exposure and risk near unconventional natural gas drill sites: Examples from Garfield County, Colorado. PowerPoint presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/~media/Files/Activity%20Files/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-04-30/Adgate.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
30. Witter R, McKenzie L, Towle M, Stinson K, Scott K, Newman L, *et al.* Health Impact Assessment for Battlement Mesa, Garfield County Colorado. Draft. Denver, CO: Colorado School of Public Health, University of Colorado Denver. 2011. Disponible en: URL: <http://www.garfield-county.com/public-health/documents/1%20%20Complete%20HIA%20without%20Appendix%20D.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
31. Witter R. Community Impacts of Natural Gas Development and Human Health PowerPoint presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/Activities/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-APR-30/Day-1/Session-4/1-Witter.aspx>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
32. NIOSH. Field effort to assess chemical exposures in oil and gas workers. Fact Sheet. 2010. Disponible en: URL: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2010-130/pdfs/2010-130.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
33. Esswein EJ, Breitenstein M, Snawder J. NIOSH Field Effort to Assess Chemical Exposures in Oil and Gas Workers: Health Hazards in Hydraulic Fracturing PowerPoint presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/~media/Files/Activity%20Files/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-04-30/Esswein.pdf>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
34. OSHA NIOSH Hazard Alert: Worker Exposure to Silica During Hydraulic Fracturing. Disponible en: URL: https://www.osha.gov/dts/hazardalerts/hydraulic_frac_hazard_alert.html. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
35. NIOSH Prevención a través del Diseño (iniciativa NIOSH). 2014. Disponible en: URL: <http://www.cdc.gov/niosh/topics/ptd>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
36. Benbrahim-Tallaa L, Baan RA, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, *et al.* Carcinogenicity of diesel-engine and gasoline-engine exhausts and some nitroarenes. *The Lancet Oncology*, 13:7,663–664. Elsevier. 2012. Disponible en: URL: [http://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045\(12\)70280-2/fulltext](http://www.thelancet.com/journals/lanonc/article/PIIS1470-2045(12)70280-2/fulltext). Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
37. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Oil and gas extraction. Occupational safety and health risks: Fatalities. 2012. Disponible en: URL: <http://www.cdc.gov/niosh/programs/oilgas/risks.html>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
38. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG). Estadística de accidentes de la industria del petróleo y del gas en Argentina. 2013. Disponible en: URL: <http://www.iapg.org.ar/estadisticasacci/estadistica.htm>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
39. Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT). Informe anual de accidentabilidad laboral 2013 Resumen Ejecutivo. Disponible en: URL: www.srt.gov.ar. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
40. Hamburg S. Sustainable Energy for All? Presentation at the Institute of Medicine Workshop on the Health Impact Assessment of New Energy Sources: Shale Gas Extraction, Washington; 2012. Disponible en: URL: <http://www.iom.edu/Activities/Environment/EnvironmentalHealthRT/2012-APR-30/Day-2/Session-1/2-Hamburg.aspx>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.
41. Goldstein BD, Kriesky J, Pavliakova B. Missing from the table: Role of the environmental public health community in governmental advisory commissions related to Marcellus Shale drilling. *Environmental Health Perspectives* 120(4):483–486. 2012. Disponible en: URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3339470/>. Fecha de acceso: 12 de enero de 2015.

Recibido: 19 de octubre de 2014
Aceptado: 12 de enero de 2015