

# En balance

Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte

Análisis especial:  
Registros de la industria minera



Citar como:

CCA (2018), *En balance: emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte*, vol. 15, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 162 pp.

El presente informe fue elaborado, en parte, por SLR Consulting (Canada) Ltd., para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. La información que contiene no necesariamente refleja los puntos de vista de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción de este material sin previa autorización, siempre y cuando se haga con absoluta precisión, su uso no tenga fines comerciales y se cite debidamente la fuente, con el correspondiente crédito a la Comisión para la Cooperación Ambiental. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este documento como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo “Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada”, de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2018

ISBN: 978-2-89700-219-0

*Available in English* – ISBN: 978-2-89700-218-3

*Disponible en français* – ISBN: 978-2-89700-220-6

Depósito legal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018

Depósito legal: Library and Archives Canada, 2018

#### **Particularidades de la publicación**

*Categoría del documento:* En balance

*Fecha de publicación:* abril de 2018

*Idioma original:* inglés

*Procedimientos de revisión y aseguramiento de calidad:*

*Revisión final de las Partes:* septiembre de 2017

QA17.290

*Proyecto:* Iniciativa RETC de América del Norte, 2017. *En balance: Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte, vol. 15*

Si desea más información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, diríjase a:



#### **Comisión para la Cooperación Ambiental**

393, rue St-Jacques Ouest, bureau 200

Montreal (Quebec)

H2Y 1N9 Canadá

t 514.350.4300 f 514.350.4314

info@cec.org / www.cec.org



# En balance

Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte

Análisis especial:  
Registros de la industria minera





|   |            |
|---|------------|
| Sinopsis  | viii       |
| Prefacio  | ix         |
| Resumen ejecutivo   | x          |
| Reconocimientos   | xi         |
| Introducción  | 1          |
| Principales hallazgos   | 6          |
| <b>1. Panorama general de las emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte, 2013</b>  | <b>7</b>   |
| Introducción  | 8          |
| 1.1 Alcance y metodología   | 8          |
| 1.2 Principales sectores industriales y contaminantes a escala regional   | 8          |
| 1.3 Análisis detallado de los datos   | 12         |
| <b>2. El sector minero de América del Norte</b>   | <b>25</b>  |
| Introducción  | 26         |
| 2.1 Presencia geográfica y económica de la industria minera   | 28         |
| 2.2 Procesos y tecnologías  | 42         |
| 2.3 Leyes y reglamentos en materia de minería   | 50         |
| 2.4 Registro de las emisiones y transferencias de contaminantes por establecimientos mineros  | 55         |
| 2.5 Sustentabilidad de la minería de América del Norte  | 64         |
| Referencias   | 75         |
| <b>3. Emisiones y transferencias del sector minero en América del Norte, 2013</b>   | <b>85</b>  |
| Introducción  | 86         |
| 3.1 Alcance y metodología   | 86         |
| 3.2 Panorama general de los registros RETC del sector minero de América del Norte, 2013   | 87         |
| 3.3 Para comprender las emisiones y transferencias de la industria minera   | 91         |
| 3.4 Examen más detallado de los registros de contaminantes por tipo de extracción minera y establecimiento  | 95         |
| 3.5 Análisis: Integridad y comparabilidad de los datos RETC de América del Norte en el marco del sector minero  | 115        |
| 3.6 Conclusión  | 124        |
| Referencias   | 126        |
| <b>Apéndice 1: Uso y comprensión de los datos de <i>En balance</i></b>  | <b>129</b> |
| Requisitos generales de registro de los RETC  | 131        |
| ¿Qué contaminantes han de incluirse en los registros?   | 131        |
| ¿Qué industrias presentan registros?  | 132        |
| <b>Apéndice 2: Principales contaminantes registrados por el sector minero de América del Norte (2009-2013): resumen de datos sobre emisiones y disposición in situ, fuentes y efectos potenciales</b> | <b>136</b> |
| Referencias   | 145        |

# ● Lista de cuadros

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Cuadro 1.   | Datos RETC de América del Norte, 2013  | 9   |
| Cuadro 2.   | Los 25 principales contaminantes registrados (por emisiones y transferencias totales) en 2013  | 13  |
| Cuadro 3.   | Sectores industriales y contaminantes con mayores registros de emisiones al aire en América del Norte, 2013  | 16  |
| Cuadro 4.   | Sectores industriales y contaminantes con mayores registros de emisiones al agua en América del Norte, 2013  | 17  |
| Cuadro 5.   | Selección de contaminantes emitidos al aire en 2013, y sus índices PET   | 19  |
| Cuadro 6.   | Selección de contaminantes emitidos al agua en 2013, y sus índices PET   | 19  |
| Cuadro 7.   | Emisiones al agua de plantas de tratamiento de aguas residuales, 2013  | 22  |
| Cuadro 8.   | Minerales seleccionados y ejemplos de su respectivo uso  | 27  |
| Cuadro 9.   | Ejemplos de emisiones contaminantes comúnmente asociadas a la producción de ciertos productos minerales en América del Norte   | 49  |
| Cuadro 10.  | Principales leyes federales que regulan la contaminación generada por el sector minero en Canadá   | 50  |
| Cuadro 11.  | Principales leyes federales que regulan la contaminación generada por el sector minero en Estados Unidos   | 53  |
| Cuadro 12.  | Principales leyes federales que regulan la contaminación generada por el sector minero en México   | 54  |
| Cuadro 13.  | Características seleccionadas de los registros de emisiones y transferencias de contaminantes de América del Norte   | 57  |
| Cuadro 14.  | Umbrales de registro de los RETC nacionales para contaminantes seleccionados del sector minero   | 60  |
| Cuadro 15.  | Categorías de registro en sitio de cada sistema RETC (2013)  | 62  |
| Cuadro 16.  | Perfiles de los registros RETC del sector minero de América del Norte, 2013  | 88  |
| Cuadro 17.  | Emisiones y transferencias registradas por el sector minero, por país (2013)   | 89  |
| Cuadro 18.  | Umbrales de registro nacionales de los diez principales contaminantes del sector minero  | 92  |
| Cuadro 19.  | Potencial de equivalencia tóxica (PET) de contaminantes seleccionados emitidos al aire y al agua por el sector minero, 2013  | 94  |
| Cuadro 20.  | Contaminantes derramados en la mina de carbón de Obed, en Alberta, Canadá, en comparación con las emisiones al agua totales de las actividades de extracción de carbón mineral (2013)    | 99  |
| Cuadro 21.  | Principales contaminantes asociados al sector minero, medias y variabilidad (2009-2013)  | 119 |
| Cuadro 22.  | Principales derrames en minas activas o abandonadas de América del Norte en relación con los registros RETC, 2013-2015   | 122 |
| Cuadro 23.  | Cobertura del sector minero en los RETC de América del Norte   | 125 |
| Cuadro A-1. | Características de los tres RETC de América del Norte  | 130 |
| Cuadro A-2. | Contaminantes con registros más elevados en los RETC (2009-2013) por parte del sector minero: resumen de los datos, las fuentes y los posibles efectos de las emisiones y transferencias | 137 |
| Cuadro A-3. | Principales contaminantes declarados por el sector minero (en función de sus emisiones o eliminación anuales promedio, 2009-2013)  | 144 |

# Lista de gráficas



|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gráfica 1.  | Plantas industriales que presentaron registros a los RETC de América del Norte, 2013   | 9  |
| Gráfica 2.  | Emisiones y transferencias registradas en 2013 en América del Norte  | 11 |
| Gráfica 3.  | Transferencias transfronterizas de contaminantes en América del Norte, 2013  | 12 |
| Gráfica 4.  | Emisiones y transferencias registradas en 2013: perfiles nacionales  | 15 |
| Gráfica 5.  | Emisiones al aire registradas por centrales eléctricas en América del Norte, 2006-2013   | 21 |
| Gráfica 6.  | Emisiones al agua registradas en la cuenca hidrográfica del río San Lorenzo, 2013  | 23 |
| Gráfica 7.  | Tasas de reciclaje de metales comunes en Estados Unidos (promedio 2010-2014)   | 27 |
| Gráfica 8.  | Elementos de un teléfono inteligente   | 28 |
| Gráfica 9.  | Provincias geológicas de América del Norte   | 29 |
| Gráfica 10. | Distribución simplificada de los principales depósitos minerales de México   | 32 |
| Gráfica 11. | Índice mundial de precios de los metales, 1980 a 2016  | 33 |
| Gráfica 12. | Producción mundial de aluminio, cobre, mineral de hierro y níquel, 1995-2014   | 34 |
| Gráfica 13. | Producción de minerales de América del Norte respecto de la producción mundial   | 35 |
| Gráfica 14. | Papel de los minerales en la economía de Estados Unidos (2015)   | 36 |
| Gráfica 15. | Valor de la producción minera de América del Norte y de cada país (2013)   | 37 |
| Gráfica 16. | Tendencia en el valor anual de la producción de minerales en Canadá, 1999-2014   | 39 |
| Gráfica 17. | Cambio porcentual de 2004 a 2014 en la cantidad y el valor de producción de los 10 principales productos minerales de Canadá       | 39 |
| Gráfica 18. | Tendencia en el valor anual de la producción de minerales en Estados Unidos, 2000-2014   | 40 |
| Gráfica 19. | Cambio porcentual de 2004 a 2014 en la cantidad y el valor de producción de seis productos minerales principales de Estados Unidos | 40 |
| Gráfica 20. | Tendencia en el valor anual de la producción de minerales en México, 2005-2013   | 41 |
| Gráfica 21. | Cambio porcentual de 2005 a 2013 en la cantidad y el valor de producción de productos minerales seleccionados de México            | 41 |
| Gráfica 22. | Diagrama de flujo del beneficio habitual de minerales metálicos (menas)  | 42 |
| Gráfica 23. | Lixiviación en montones  | 43 |
| Gráfica 24. | Posibles emisiones contaminantes a lo largo del ciclo de vida de una mina  | 46 |

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Gráfica 25.  | Las tres esferas de la sustentabilidad  | 65  |
| Gráfica 26.  | Ciclo de vida de una mina   | 68  |
| Gráfica 27.  | Barrera reactiva permeable, ejemplo de tratamiento pasivo a largo plazo de aguas afectadas por la minería   | 71  |
| Gráfica 28.  | Presiones de referencia en materia de agua en América del Norte   | 73  |
| Gráfica 29.  | Emisiones y transferencias del sector minero en América del Norte, por categoría (2013)   | 88  |
| Gráfica 30.  | Los 15 contaminantes con registros más elevados (por emisiones y transferencias totales registradas), 2013: sector minero frente al resto de los sectores           | 90  |
| Gráfica 31.  | Diez principales contaminantes del sector minero, por emisiones y transferencias totales registradas, 2013  | 92  |
| Gráfica 32.  | Diez contaminantes emitidos al aire y el agua en mayores proporciones por el sector minero de América del Norte (2013)  | 93  |
| Gráfica 33.  | Emisiones al aire, el agua y el suelo, en sitio, por tipo de extracción minera (código SCIAN de cinco dígitos), 2013  | 95  |
| Gráfica 34.  | Contribución a las emisiones y transferencias totales de la minería por contaminantes seleccionados según el tipo de mina (código de cinco dígitos del SCIAN), 2013 | 96  |
| Gráfica 35.  | Minería de carbón mineral (código SCIAN 21211)  | 97  |
| Gráfica 36.  | Minería de mineral de hierro (código SCIAN 21221)   | 100 |
| Gráfica 37.  | Minería de minerales de oro y plata (código SCIAN 21222)  | 102 |
| Cuadro 38.   | Minería de cobre, níquel, plomo y zinc (código SCIAN 21223)   | 104 |
| Gráfica 39.  | Minería de otros minerales metálicos (código SCIAN 21229)   | 107 |
| Gráfica 40.  | Minería de piedra caliza, mármol y otras piezas dimensionadas (código SCIAN 21231)  | 109 |
| Gráfica 41.  | Minería de arena, grava, tezontle, tepetate, arcillas y otros minerales refractarios (código SCIAN 21232)   | 111 |
| Gráfica 42.  | Minería de otros minerales no metálicos (código SCIAN 21239)  | 113 |
| Gráfica 43.  | Impactos del derrame minero de Mount Polley (2014) en las emisiones totales al agua registradas en Canadá, 2005-2014  | 123 |
| Gráfica A-1. | Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte  | 134 |



# Siglas, acrónimos y abreviaturas



|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>ART</b>      | azufre reducido total; categoría de registro en el NPRI (en inglés: <i>total reduced sulfur</i> , TRS)   |
| <b>CAC</b>      | contaminante atmosférico de criterio   |
| <b>CAS</b>      | servicio de información sobre productos químicos Chemical Abstracts Service, Estados Unidos  |
| <b>CCA</b>      | Comisión para la Cooperación Ambiental   |
| <b>ECCC</b>     | ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá ( <i>Environment and Climate Change Canada</i> ; anteriormente <i>Environment Canada</i> , EC) |
| <b>EPA</b>      | Agencia de Protección Ambiental ( <i>Environmental Protection Agency</i> ), Estados Unidos   |
| <b>GEI</b>      | gases de efecto invernadero  |
| <b>kg</b>       | kilogramo  |
| <b>MPO</b>      | “manufactura, procesamiento u otros usos” de una sustancia, como referente para el establecimiento de umbrales de actividad                              |
| <b>NOM</b>      | Norma Oficial Mexicana   |
| <b>NPRI</b>     | Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes ( <i>National Pollutant Release Inventory</i> ): RETC de Canadá  |
| <b>ONG</b>      | organización no gubernamental  |
| <b>PET</b>      | potencial de equivalencia tóxica   |
| <b>PTPP</b>     | plantas de tratamiento (de agua y aguas residuales) de propiedad pública (en Estados Unidos denominadas: <i>publicly owned treatment works</i> , POTW)   |
| <b>RETC</b>     | registro(s) de emisiones y transferencias de contaminantes (de América del Norte)  |
| <b>RETC</b>     | Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes: RETC de México   |
| <b>SCIAN</b>    | Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte   |
| <b>Semarnat</b> | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (México)   |
| <b>STPB</b>     | sustancia tóxica persistente y bioacumulable   |
| <b>TRI</b>      | Inventario de Emisiones Tóxicas ( <i>Toxics Release Inventory</i> ): RETC de Estados Unidos  |

## Sinopsis

Esta edición de *En balance* examina los datos de los contaminantes declarados por establecimientos industriales de Canadá, Estados Unidos y México a los respectivos registros nacionales de emisiones y transferencias (RETC) en 2013. El objetivo de la publicación es mejorar el conocimiento que se tiene de las fuentes, ubicación y manejo de las sustancias con las que la industria opera, a fin de fomentar la prevención de la contaminación y apoyar la integración de los datos RETC en un marco de referencia global para el manejo de contaminantes en América del Norte.

El informe de este año presenta un análisis especial de los registros de la industria minera de la región. Describe los procesos con los que se extrae una diversidad de minerales, así como los riesgos propios de las sustancias generadas en el curso de estas actividades. Los análisis de datos por planta industrial de los tres países revelan importantes brechas en los registros de América del Norte y en el informe se sugieren formas sobre cómo superar tales discrepancias.

Mediante la presentación de análisis de datos e información para ayudar a los lectores a entender mejor el contexto de las emisiones y transferencias por establecimiento industrial, *En balance* contribuye al fortalecimiento de los programas RETC nacionales y promueve una toma de decisiones mejor fundamentada, en todas las esferas, en relación con la contaminación industrial y la sustentabilidad ambiental.

## Prefacio

Tengo el gusto de presentar la decimoquinta edición del informe *En balance*, serie emblemática de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) dedicada a ofrecer al público datos e información sobre las emisiones y transferencias de contaminantes declaradas por establecimientos industriales de Canadá, Estados Unidos y México en sus respectivos programas nacionales de registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC). Con apego al espíritu del derecho a la información, este esfuerzo promueve una mayor conciencia y comprensión respecto de los montos, fuentes y clases de contaminantes industriales generados en América del Norte; asimismo, sustenta la toma de decisiones informadas, en todas las esferas, para la prevención y reducción de la contaminación.

El análisis especial de *En balance* de este año, centrado en los registros del sector minero de América del Norte, representa un logro notable, ya que incluyó la decisiva participación de un amplio abanico de grupos de interés —empresas privadas, gobiernos, organizaciones no gubernamentales e instituciones académicas y de investigación— en torno a cuestiones de sustentabilidad ambiental de este importante sector industrial. La decisión de explorar los datos RETC de las instalaciones mineras surgió de los diálogos que tuvieron lugar durante una reunión pública celebrada en la Ciudad de México en noviembre de 2014, en la que diversos grupos de interés señalaron con preocupación las disparidades entre los registros de las actividades mineras a escala regional. La CCA convocó entonces a un taller de dos días, realizado en diciembre de 2015, con los funcionarios de los RETC de América del Norte, representantes del sector minero y técnicos especialistas, en el que se examinaron datos e información del sector en el contexto de los requisitos de registro de cada uno de los tres RETC nacionales. Cabe señalar que representantes de grupos de interés de diversas tendencias revisaron los apartados preliminares del informe. El documento resultante es, por tanto, producto de un esfuerzo constructivo de verdadera colaboración.

Como se describe en el informe, un examen más a fondo de los datos del sector minero revela considerables discrepancias que podrían deberse a la falta de congruencia entre los programas RETC nacionales en campos de registro clave. Los análisis también dan pie a reflexiones en torno a las limitaciones de los requerimientos de registro de los RETC por cuanto a la contaminación heredada de sitios otrora en operación, y las posibles mejoras de los programas nacionales para permitir un más eficaz rastreo de contaminantes en casos de accidentes o derrames. El intercambio de información e ideas sobre cómo mejorar la integridad, calidad y comparabilidad de los datos RETC de toda la región es fundamental para la iniciativa RETC de América del Norte, tal como se describe en el *Plan de acción para fomentar la comparabilidad de los registros de emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte*.

Mediante la iniciativa *En balance* y con la participación permanente de los múltiples grupos de interés, la CCA persiste en su compromiso de impulsar el diálogo y la colaboración en aspectos relativos a la contaminación industrial y enriquecer el acceso público a los datos RETC de América del Norte a través del sitio web *En balance en línea* y su base de datos integrados con motor de búsqueda. A fin de mejorar la utilidad de los datos y mejorar su interpretación, hemos incorporado en el sitio web funciones adicionales que permiten realizar búsquedas por cuencas hídricas de América del Norte, y tenemos previstas más mejoras para los próximos años. Como siempre, valoramos las sugerencias de los lectores acerca de cómo *En balance* y la iniciativa RETC de América del Norte pueden evolucionar para responder mejor a sus necesidades y contribuir aún más a garantizar un medio ambiente compartido saludable.

César Rafael Chávez

Director ejecutivo de la CCA

## Resumen ejecutivo

La presente edición de *En balance* examina los datos sobre emisiones y transferencias de contaminantes declarados por las plantas industriales de América del Norte para 2013, que corresponde al año más reciente para el que se disponía de datos de los tres países al momento de la redacción del informe. Estos datos corresponden a los declarados a los tres programas nacionales de registro de emisiones y transferencias (RETC) de la región, es decir:

- Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes (*National Pollutant Release Inventory*, NPRI) de Canadá;
- Inventario de Emisiones Tóxicas (*Toxics Release Inventory*, TRI) de Estados Unidos, y
- Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (*RETC*) de México

El informe muestra que las instalaciones industriales de América del Norte registraron casi 5,230 millones de kilogramos de emisiones y transferencias, y que unos cuantos sectores industriales de importancia y un número relativamente pequeño de contaminantes dieron cuenta de proporciones importantes del total. Con objeto de brindar cierto contexto a los datos, *En balance* aborda la cuestión del riesgo mediante información adicional sobre los factores que es preciso tener en cuenta al evaluar el potencial de daño para la salud humana o para el ambiente derivado de las emisiones de un determinado contaminante, así como a través de la ponderación de las emisiones al aire y el agua según los valores de potencial de equivalencia tóxica (PET) disponibles para múltiples contaminantes.

Un tema recurrente a lo largo de este informe es el relativo a las diferencias entre los programas RETC nacionales por cuanto a los requisitos de registro aplicables a los sectores industriales y sustancias contaminantes de mayor importancia. Una mirada más a fondo de las emisiones al agua por parte del sector de tratamiento de aguas residuales revela los efectos que tales discrepancias tienen en la visión de conjunto de las descargas de contaminantes en una cuenca hidrográfica compartida. *En balance* ofrece también información relativa a las emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas de América del Norte, así como a las iniciativas que han, con el tiempo, contribuido a disminuir este tipo de emisiones.

El análisis especial sobre los registros del sector minero revela variaciones muy amplias en los datos de la región en cuanto a cantidades y clases de contaminantes registrados, y los tipos de minas que registran las emisiones y transferencias más cuantiosas. El informe muestra que las minas de Canadá y Estados Unidos dieron cuenta de la mayor parte de los registros; tal discrepancia obedece, en gran medida, a la falta de uniformidad entre los requisitos de registro de los RETC nacionales. Las reflexiones que resultan de este análisis a fondo buscan nutrir procesos de mejora futura de los programas RETC en relación con tan importante sector.

Con la presentación y el análisis de los datos RETC, *En balance* se propone crear una mayor conciencia y fortalecer el conocimiento acerca de las fuentes, ubicación y tipos de emisiones y transferencias de contaminantes en la región, así como fomentar una mayor comparabilidad de los datos y promover el diálogo a través de las fronteras y de un sector industrial a otro. De esta manera, el informe amplía los objetivos de la CCA de brindar información para la toma de decisiones y propiciar la colaboración y la participación ciudadanas con el fin de impulsar la conservación, protección y mejoramiento del medio ambiente de América del Norte.

## Reconocimientos

La elaboración del presente informe se concretó gracias a los esfuerzos de diversos integrantes del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) y, en especial, del equipo de la unidad *Calidad ambiental*, integrado por Orlando Cabrera Rivera, titular; Danielle Vallée, líder de proyecto, y Zakir Jafry, coordinador de herramientas geográficas y SIG. La tarea de edición, traducción y publicación del informe en tres idiomas corrió a cargo del personal del área de publicaciones: Douglas Kirk, Jacqueline Fortson y Johanne David, con apoyo de Marilou Nichols. El diseño y la formación de páginas estuvieron al cuidado de Gray Fraser.

El análisis especial de las emisiones y transferencias del sector minero contenido en el informe no habría sido posible sin la contribución especializada del equipo de SLR Consulting, formado por Joan Eamer, consultora y autora principal, y Christina Brow, ingeniera de proyecto, cuyos conocimientos, ardua labor y dedicación dieron como fruto información accesible y comprensible sobre este importante y a la vez complejo sector industrial.

La CCA desea agradecer también la contribución de las siguientes personas y organizaciones que brindaron su tiempo y conocimientos para la revisión de datos e información en las diversas etapas de la elaboración de este informe:

- Tawny Bridgeford: Asociación Nacional Minera de Estados Unidos (*US National Mining Association*)
- Olga Briseño: Grupo México
- Roussos Dimitrakopoulos: Universidad McGill
- Erik Edgar: Abt Associates
- Paloma García: Cámara Minera de México (Camimex)
- Marisa Jacott: Fronteras Comunes (ONG mexicana)
- Justyna Laurie-Lean: Asociación Minera de Canadá (*Mining Association of Canada*)
- Kelly Payne: Rio Tinto
- Gerald Roose: Freeport McMoRan, Inc.
- Fred Turatti: Rio Tinto
- Else Wolff: Escuela de Minería de Colorado (*Colorado School of Mines*), Estados Unidos
- Ugo Lapointe: Mining Watch Canada (ONG canadiense)
- Steve DeVito, Sandra Gaona y Diana Wahler: Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA), Estados Unidos
- Jody Rosenberger, Paulo Costa, Cynthia Tremblay, Sarah Bennett y Dylan Morgan: ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (*Environment and Climate Change Canada*, ECCC)
- Ernesto Navarro: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), México

Por último, un especial agradecimiento al invaluable apoyo por parte de Pangaea Information Technologies, Ltd, al igual que del personal del área de tecnología de la información de la CCA (Jean-Sébastien Goulet, Cezar Anghel y Mireille Pasos), para la creación del sitio web *En balance en línea*, <[www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)>. En el espíritu de contribuir al derecho de acceso a la información, la base de datos de *En balance* reúne datos de los tres programas nacionales de registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) de América del Norte y, con su motor de búsqueda, permite acceder a información de utilidad para la toma de decisiones fundamentadas, en todas las escalas, encaminadas a proteger el medio ambiente que compartimos.

|   |  |                  |
|---|--|------------------|
|   | Bario (y compuestos)                   |                  |
|   | Cromo (y compuestos) <b>M C D P</b>    |                  |
|   | Arsénico (y compuestos) <b>M C D P</b> |                  |
|   | Azufre reducido total                  | <u>107-21-1</u>  |
|   | Etilén glicol                          | <u>108-88-3</u>  |
|   | Tolueno <b>D</b>                       | <u>7647-01-0</u> |
|   | Ácido clorhídrico                      | =                |
|   | Xilenos                                | =                |
|   | Vanadio (y compuestos) <b>M C</b>      | <u>7789-75-5</u> |
|   | Fluoruro de calcio                     | <u>1332-21-4</u> |
|   | Asbestos (friables) <b>C</b>           | <u>110-54-3</u>  |
|   | n-Hexano                               | <u>7429-90-5</u> |
|   | Aluminio (humo o polvo) <b>M</b>       | <u>100-42-5</u>  |
|   | Estireno <b>C</b>                      | <u>7664-39-3</u> |
|   | Ácido fluorhídrico                     | =                |
|   | Ciertos Éteres de Glicol               | <u>75-05-8</u>   |
|   | Acetonitrilo                           | =                |
| 8 | Cobalto (y compuestos) <b>M C</b>      | <u>872-50-4</u>  |
| 9 | N-Metil2-pirrolidona <b>D</b>          | <u>100-41-4</u>  |
| 0 | Etilbenceno <b>C</b>                   | <u>108-10-1</u>  |
| 1 | Metil isobutil cetona                  | <u>74-85-1</u>   |
| 2 | Etileno                                | <u>75-09-2</u>   |
| 3 | Cloruro de metileno <b>C</b>           | <u>95-63-6</u>   |
| 4 | 1,2,4-Trimetilbenceno                  | <u>68-12-2</u>   |
| 5 | N,N-Dimetilformamida                   | <u>115-07-1</u>  |
| 6 | Propileno                              | <u>50-00-0</u>   |
| 7 | Formaldehído <b>C</b>                  | <u>71-36-3</u>   |
| 8 | Alcohol n-butílico                     | <u>463-58-1</u>  |
| 9 | Sulfuro de carbonilo                   | <u>71-43-2</u>   |
| 0 | Benceno <b>C D</b>                     | <u>64-18-6</u>   |

## Introducción

La presente edición del informe *En balance* reúne datos e información sobre las fuentes, tipos y volúmenes de contaminantes emitidos y transferidos por plantas industriales en América del Norte durante 2013, el año más reciente del que se tenían datos disponibles de los tres países a la fecha de elaboración del informe. Los datos se extrajeron de los programas nacionales de registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC), a saber:

- Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes (*National Pollutant Release Inventory*, NPRI) de Canadá;
- Inventario de Emisiones Tóxicas (*Toxics Release Inventory*, TRI) de Estados Unidos, y
- Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (*RETC*) de México

### ¿Qué es un registro de emisiones y transferencias de contaminantes?

Los registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) contienen datos recabados anualmente a escala nacional sobre los volúmenes de contaminantes liberados en sitio al aire, el agua y el suelo (emitidos o eliminados); inyectados al subsuelo, o bien transferidos fuera de sitio para su eliminación o disposición final, reciclaje, tratamiento u otra forma de manejo de residuos. Los RETC constituyen una herramienta innovadora que sirve a diversos propósitos: al permitir el rastreo de sustancias químicas específicas, ayudan a industria, gobiernos y ciudadanos a determinar la mejor manera de disminuir las emisiones y transferencias de esas sustancias, contribuir a un uso más responsable de las mismas, prevenir la contaminación y reducir la generación de residuos. Las empresas usan los datos a efecto de dar a conocer su desempeño ambiental e identificar oportunidades para reducir y prevenir la contaminación; los gobiernos, con el propósito de orientar sus prioridades programáticas y evaluar los resultados, y las comunidades, organizaciones no gubernamentales y ciudadanía en general, para mejorar su comprensión de las fuentes y el manejo de los contaminantes, así como también a manera de apoyo para entablar un diálogo con instalaciones industriales y autoridades públicas.

Los RETC recopilan datos sobre contaminantes individuales, y no sobre el volumen global de desechos conformados por mezclas de sustancias, por lo que permiten dar seguimiento a los datos sobre las emisiones y transferencias de las sustancias químicas de manera individual. Los informes por planta o establecimiento industrial son esenciales para ubicar la fuente de las emisiones y quién o qué las genera. Buena parte de la fuerza de los RETC radica en la divulgación o difusión pública de los datos —lo mismo completos que en forma sintética— entre una amplia gama de usuarios. La disponibilidad pública de los datos organizados específicamente por contaminante y por planta permite a personas y grupos interesados identificar las fuentes de emisiones industriales en su localidad, además de facilitar análisis regionales y de otra índole con base en criterios geográficos.

En este informe se analizan las emisiones y transferencias de más de 5,000 millones de kilogramos (kg) de contaminantes registrados por alrededor de 27,000 plantas industriales y casi 200 sectores de la industria. No obstante, según podemos deducir de los datos, un número relativamente pequeño de sectores y contaminantes fueron responsables de la mayoría de las emisiones y transferencias ocurridas en 2013 y hubo una total falta de uniformidad en los registros de toda la región. Por supuesto que esto se debe en parte a la composición y el tamaño de la industria de cada país, pero también es resultado de otros factores, uno de los cuales —y de ningún modo el menos importante— lo representan las diferencias entre los tres programas RETC.

El informe de este año incluye un análisis especial de los registros presentados por la industria minera. Este sector tan importante de la economía —que incluye las operaciones de extracción minera de carbón, de minerales metálicos y de minerales no metálicos— se ha mantenido entre los sectores que más emisiones y transferencias registran en América

del Norte. Uno de los objetivos principales de dicho análisis ha sido brindar información adicional sobre ciertas actividades mineras y prácticas de manejo de residuos en toda la región, sobre los contaminantes que generan y los problemas que pueden surgir con el ingreso de estas sustancias al medio ambiente.

La información presentada sobre las actividades y procesos extractivos en América del Norte resalta el hecho de que los riesgos para la salud humana o los ecosistemas generados por la extracción de minerales no necesariamente son aquellos que por lo común se asocian directamente con la manufactura y otros segmentos de la industria, sino que las más de las veces se derivan de la acumulación al paso del tiempo de grandes cantidades de contaminantes que deben gestionarse en forma apropiada en el sitio. El informe examina los datos de la industria minera por tipo específico de extracción y saca a la luz los factores que contribuyen a las amplias discrepancias observadas en toda la región, incluidas diferencias clave entre los requisitos de registro de los tres programas RETC nacionales en relación con una práctica específica de manejo de residuos común al sector y con ciertos contaminantes asociados a las actividades mineras de América del Norte.

A través de la presentación y el análisis de datos e información de este importante sector, el informe *En balance* apoya el objetivo fundamental de los RETC nacionales y la iniciativa RETC en América del Norte de la CCA: poner la información sobre emisiones y transferencias de contaminantes a disposición de la ciudadanía para contribuir a la prevención de la contaminación y promover la sustentabilidad ambiental dentro de la industria.

El informe está organizado de la siguiente manera:

- El capítulo 1** presenta un panorama general de las emisiones y transferencias registradas en los tres programas RETC para el año 2013, con información adicional sobre las emisiones al aire y el agua, en particular.
- El capítulo 2**, primer capítulo del análisis especial sobre el sector minero de América del Norte, provee información relativa a esta industria: su presencia geográfica y económica en la región, los minerales extraídos y los procesos empleados en su extracción y los contaminantes asociados a los diversos tipos de minería. También presenta información acerca de las leyes y reglamentos ambientales que regulan el sector minero de cada país, así como conceptos y ejemplos de minería sustentable.
- El capítulo 3** presenta los datos registrados por establecimientos mineros de los tres países y un examen más minucioso de los datos por tipo de minería. Asimismo, provee información sobre el potencial de toxicidad de contaminantes asociados a estas actividades y analiza tanto las lagunas presentes en los datos, resultado de la falta de uniformidad en los requisitos de registro, como la forma en que éstas se podrían subsanar.

Además, el informe incluye dos apéndices con información útil para comprender los datos presentados:

- El apéndice 1: Uso y comprensión de los datos de *En balance*** muestra las características principales de los tres programas RETC de América del Norte y ofrece información sobre el alcance y las limitaciones de los datos RETC.
- El apéndice 2: Principales contaminantes registrados por el sector minero de América del Norte (2009-2013): resumen de datos sobre emisiones y disposición en sitio, fuentes y efectos potenciales** presenta información sobre los contaminantes que suelen emitirse o disponerse en sitio en instalaciones mineras.

Para obtener más información sobre los contaminantes registrados en los tres países y comprendidos en el más reciente conjunto de datos de *En balance*, los lectores pueden consultar la lista de contaminantes registrados en los RETC de América del Norte, en: <Los RETC y sus requisitos generales de registro>.



## Comparación de los datos RETC de Canadá, Estados Unidos y México

*En balance* presenta los datos RETC de Canadá, Estados Unidos y México, con lo que proporciona el panorama más completo de que se dispone actualmente de las emisiones y transferencias industriales de contaminantes en América del Norte. Este panorama abarca datos que pueden haberse registrado de forma distinta en cada país dadas las variaciones en los requisitos de registro y los diferentes métodos empleados por las plantas para calcular sus emisiones. En el apéndice 1 se describen las características propias de cada programa RETC nacional y esta información amplía el contexto para comprender mejor las emisiones y transferencias de contaminantes registradas en toda la región.

### Acceso a datos de los RETC de América del Norte a través de *En balance en línea*

The image displays the user interface of the 'En balance en línea' website. On the left, a map of North America shows a red pin in Nevada. On the right, a search panel titled 'Buscar en la base de datos' includes social media sharing options and a search type dropdown set to 'TIPO DE INFORME'. The dropdown menu lists several report types: 'Informe por establecimiento', 'Informe por industria', 'Informe por país', 'Informe por entidad federativa', 'Cuenca hidrográfica', and 'Informe por contaminante'. Below this, there are filters for 'AÑO' (2013-2006) and 'UBICACIÓN' (PAÍS), with 'Todos los países' selected. A larger map of the United States and Mexico is overlaid with numerous red location pins. In the bottom left, a sidebar titled 'En balance en línea' provides navigation options: 'BUSCAR EN LA BASE DE DATOS', 'TRANSFERENCIAS TRANSFRONTERIZAS', and 'GRÁFICOS DE RESUMEN', each with a brief description of the tool's function.

Además de los análisis que figuran en el presente informe, el lector puede usar *En balance en línea*, la base de datos integrada de los RETC de América del Norte ([www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)), para encontrar respuesta a sus preguntas sobre las emisiones y transferencias de contaminantes por año, establecimiento, ubicación, contaminante o sector industrial. Por ejemplo:

---

### ¿Desea conocer las industrias que registran los mayores volúmenes de emisiones a la atmósfera en su estado, provincia o territorio?

**Paso 1:** En ‘Tipo de informe’, elija ‘Informe por industria’.

**Paso 2:** En ‘Año’, indique uno o más años.

**Paso 3:** En ‘Ubicación’, seleccione su estado, provincia o territorio.

**Paso 4:** En ‘Tipos de emisiones y transferencias’, elija ‘Emisiones al aire, en sitio’

**Paso 5:** Haga clic en ‘Enviar’.

*Nota:* En esta página usted tiene también la opción de personalizar su búsqueda mediante la selección de contaminantes o categorías de contaminantes y sectores industriales específicos.

Una vez en la página de resultados de la búsqueda, haga clic en el nombre de la industria de su interés para obtener un desglose de las emisiones al aire por establecimiento, contaminante y tipo de contaminante. Se tienen las siguientes opciones:

- Agregar o cambiar el tipo de emisiones o transferencias haciendo clic en el botón ‘Mostrar/ocultar las columnas’, arriba del cuadro de resultados.
- Desglosar los resultados de su búsqueda por contaminante o país.
- Clasificar los datos en orden decreciente, según los volúmenes registrados.
- Ver la ubicación de los establecimientos en el mapa desplegado.
- Hacer clic en el botón ‘Exportar’, debajo del cuadro de resultados, para descargar los datos de esta página en una hoja de cálculo Excel o bien como un archivo kml o kmz para su despliegue en *Google Earth*.

---

### ¿Desea saber qué contaminantes se emitieron al agua en la cuenca del río Columbia?

**Paso 1:** En ‘Tipo de informe’, elija ‘Informe por contaminante’.

**Paso 2:** En ‘Año’, seleccione uno o más años.

**Paso 3:** En ‘Ubicación’, seleccione ‘Río Columbia’ como la cuenca hidrográfica ‘Nivel II’.

**Paso 4:** En ‘Tipos de emisiones y transferencias’, elija ‘Descargas en aguas superficiales, en sitio’.

**Paso 5:** Haga clic en ‘Enviar’.

*Nota:* En esta página usted también tiene la opción de elegir una categoría de contaminante (por ejemplo, ‘Carcinógeno conocido o presunto’) o sólo aquellos contaminantes comunes a los países seleccionados. Puede también elegir un sector industrial específico.

Una vez en la página de resultados de la búsqueda, usted tiene las siguientes opciones:

- Agregar o cambiar el tipo de emisiones o transferencias haciendo clic en el botón ‘Mostrar/ocultar las columnas’, arriba del cuadro de resultados.
- Para las emisiones al aire o el agua únicamente, también puede marcar el cuadro ‘PET’ y obtener valores ponderados en función de los riesgos de efectos cancerígenos o no-cancerígenos (por ejemplo, toxicidad que afecta el desarrollo o la reproducción).
- Listar los datos en orden decreciente, según los volúmenes registrados o las calificaciones PET asignadas.
- Hacer clic en el nombre de un contaminante para obtener un desglose de las emisiones al medio seleccionado registradas por establecimiento, estado/provincia/territorio y sector industrial.
- Ver la ubicación de los establecimientos en el mapa desplegado.
- Hacer clic en el botón ‘Exportar’, debajo del cuadro de resultados, para descargar los datos de esta página en una hoja de cálculo Excel o bien como un archivo kml o kmz para su despliegue en *Google Earth*.

### Otras búsquedas de interés:

- Haga una búsqueda por establecimiento para uno o más países; luego exporte los resultados de la búsqueda como un archivo kml o kmz para visualizar los datos en *Google Earth*.
- Use la herramienta ‘Gráficos de resumen’, en el menú de la columna derecha, y obtenga una síntesis de los volúmenes registrados en uno o más países por contaminantes o sectores principales.
- Use la herramienta ‘Transferencias transfronterizas’, en el menú de la columna derecha, para ver detalles de los contaminantes transferidos entre los tres países.

## Factores a considerar al utilizar datos RETC en la evaluación de riesgos

La evaluación de los riesgos creados por los contaminantes que registran las plantas industriales es una tarea compleja, ya que los datos RETC no son suficientes por sí solos para determinar el grado de exposición humana a los contaminantes o para calcular los posibles riesgos para la salud del ser humano y el medio ambiente; sin embargo, si se les combina con información adicional bien pueden emplearse como punto de partida para la evaluación de riesgos. Otros factores a considerar son:

**Toxicidad y forma de la sustancia:** La toxicidad de las sustancias registradas en los RETC varía muchísimo de una sustancia a otra, de ahí que una sustancia emitida en grandes cantidades no necesariamente representa un riesgo mayor (si acaso) para la salud humana y medioambiental que las emisiones en pequeñas cantidades de sustancias químicas sumamente tóxicas. El potencial de exposición también depende de la forma adoptada por una sustancia en el medio ambiente y de los cambios que en su caso sufra con el tiempo. Por ejemplo, la luz solar, el calor o los microorganismos pueden degradar ciertas sustancias químicas haciéndolas menos tóxicas, en tanto que los metales son persistentes y no se degradan en el medio ambiente.

**Bioconcentración de la sustancia en la cadena alimentaria:** Las sustancias químicas pueden concentrarse o bien dispersarse a medida que se incorporan a la cadena alimentaria. En el caso de una sustancia —como el mercurio— que se bioacumula (se acumula y aumenta de concentración en los organismos a medida que avanza en la cadena alimentaria), las emisiones aun en bajas cantidades pueden ser una fuente de exposición significativa para el ser humano; por ejemplo, el consumo de pescado contaminado.

### Tipo de emisiones y eficacia de prácticas de prevención de la contaminación o de manejo de desechos:

El potencial de exposición a una sustancia depende del medio (aire, agua, suelo) al que se emite, y esto a su vez determina los posibles tipos de exposición (inhalación, exposición cutánea, ingestión, etcétera). La cantidad de una sustancia que al final logra ingresar al medio ambiente depende de si una planta sigue prácticas de prevención de la contaminación y de cómo se usó y manejó la sustancia.

La siguiente imagen permite apreciar los factores que influyen en el riesgo que representan las emisiones de sustancias (de fuentes y contaminantes cubiertos por los RETC, así como de otras fuentes y sustancias):<sup>1</sup>




Fuente: Adaptada de EPA, *Factors to Consider When Using Toxics Release Inventory Data*.

1. Se recuerda a los lectores que fuentes y sustancias no cubiertas por los RETC también contribuyen a la contaminación del ambiente. El apéndice 1 contiene más información respecto de los alcances y limitaciones de los datos RETC.

## Principales hallazgos

- En total, 24,144 plantas industriales declararon a los tres programas nacionales de registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) de la región, casi 5,230 millones de kilogramos de sustancias contaminantes emitidas y transferidas —en sitio: al aire, el agua y el suelo, así como fuera de sitio: para eliminación o disposición final, reciclaje u otro tratamiento— correspondientes al año 2013. Las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, representaron 40% del total declarado, seguidas por las transferencias fuera de sitio para reciclaje (24%) y otras transferencias para tratamiento y manejo ulterior (10%). Las emisiones al agua y el aire (en sitio) dieron cuenta de 9 y 4 por ciento, respectivamente, del total.
- El informe también revela que una cantidad relativamente pequeña de los sectores industriales (extracción de petróleo y gas y minería de minerales metálicos) y alrededor de 25 contaminantes (incluidos metales y compuestos de azufre) dieron cuenta de por lo menos 90% de las emisiones y transferencias totales registradas en América del Norte. Sin embargo, debido a las diferencias entre los requisitos de registro de los RETC nacionales, los informes de algunos de estos sectores y contaminantes con mayores registros no son uniformes en toda la región. Estas discrepancias distorsionan nuestra comprensión de las clases y cantidades de contaminantes fabricados, empleados y potencialmente emitidos al medio ambiente de América del Norte.
- El informe también subraya la importancia de examinar más de cerca los datos de emisiones y transferencias, así como de evaluar otros tipos de información clave, como la toxicidad del contaminante y su ruta de exposición, cuando se valora el riesgo potencial de una sustancia declarada. *En balance* incorpora en su análisis los valores del potencial de equivalencia tóxica (PET) disponibles para múltiples contaminantes, a fin de ayudar a los lectores a interpretar mejor las emisiones de tales sustancias al aire y el agua. Asimismo, se señalan otras fuentes de información que es posible consultar.
- Los datos sobre emisiones y transferencias del sector minero, presentados en el análisis especial, muestran que dicha industria dio cuenta de más de 1,670 millones de kilogramos, o casi una tercera parte, del total de 2013. Las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, constituyeron casi 99% de los volúmenes totales declarados por el sector, y la mayor parte correspondió a minas de Canadá y Estados Unidos. El desequilibrio observado entre las emisiones al suelo del sector minero de Canadá y Estados Unidos y las de México arroja luz sobre los efectos que ciertas diferencias de peso entre los tres programas RETC nacionales —en particular, en lo relativo al registro de emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, y también de ciertos contaminantes propios de la minería— tienen en nuestra comprensión de las actividades de este sector y sus posibles consecuencias.
- El análisis especial demuestra, así mismo, que el volumen total de las emisiones y transferencias del sector minero no es, en sí, una medida directa o indicador preciso de los efectos de la contaminación asociada a las actividades mineras ni de los riesgos que éstas entrañan para la salud humana y ambiental. Aunque, por otro lado, indica los datos y la información que pueden resultar más útiles, incluidos detalles sobre derrames u otras emisiones imprevistas ocurridas tras el cierre de operaciones de las minas.
- El conocimiento adquirido con la compilación y el análisis de los datos registrados en los tres países puede contribuir a lograr mejoras futuras en los requisitos de registro de los RETC y apoyar la sustentabilidad ambiental de la industria de América del Norte.



**Panorama general de las  
emisiones y transferencias  
de contaminantes  
en América del Norte, 2013**

## Introducción

Las plantas industriales de América del Norte declararon a los tres registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) de la región, en total, emisiones y transferencias de sustancias contaminantes —emisiones en sitio al aire, el agua y el suelo (incluidas operaciones de eliminación), así como transferencias fuera de sitio para eliminación o disposición final, reciclaje u otro tratamiento— por casi 5,230 millones de kilogramos (kg) para el año 2013 (cuadro 1). Estos datos, que se resumen en el presente capítulo, reflejan las actividades de muchos de los grandes sectores industriales y los desechos asociados con el elevado número y los grandes volúmenes de sustancias que fabrican, procesan o consumen diariamente dichas instalaciones.

Los datos también acusan los efectos de las diferencias entre los programas RETC de los tres países en términos de contaminantes y sectores y actividades industriales que deben presentar registros. Estas diferencias, que se explican con más detenimiento en “Uso y comprensión de los datos de *En balance*” (apéndice 1), pueden dificultar la comparación entre conjuntos de datos de los RETC nacionales y crear enormes vacíos en nuestro panorama de la contaminación industrial en América del Norte.

### 1.1 Alcance y metodología

Este capítulo presenta un panorama resumido de los datos sobre emisiones y transferencias de contaminantes de 2013 registrados por plantas industriales de América del Norte en sus respectivos programas RETC. Son los datos más recientes de los tres países con que se contaba a la fecha de redacción y se pueden consultar en *En balance en línea* ([www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)), la base de datos RETC integrada de América del Norte, creada por la CCA.

Es común que los programas nacionales publiquen actualizaciones de los datos anuales sobre emisiones y transferencias de contaminantes, luego de las revisiones de control y aseguramiento de la calidad y de las correcciones por parte de los establecimientos industriales mismos. Por ello, los datos de *En balance en línea* también se actualizan periódicamente a fin de incorporar tales ajustes y correcciones. En los casos en que los datos comprendidos en el análisis del presente informe se reconocen como errores de registro que aún es necesario revisar, se incluye la correspondiente advertencia para el lector.<sup>2</sup> Los datos empleados para los análisis de este informe se obtuvieron a partir de los conjuntos de datos NPRI, TRI y *RETC* de septiembre de 2016, noviembre de 2016 y agosto de 2014, respectivamente.

### 1.2 Principales sectores industriales y contaminantes a escala regional

Un total de 24,144 plantas industriales registraron emisiones y transferencias de contaminantes en los tres programas RETC durante 2013.<sup>3</sup> En comparación con 2010 (el último año del que se analizaron datos en *En balance*), hubo un decremento de aproximadamente 200 millones de kg en las emisiones y transferencias registradas.<sup>4</sup> En el cuadro 1 se muestra la distribución de los datos en América del Norte, observándose variaciones considerables entre los tres países tanto en los volúmenes totales como en el número de contaminantes registrados, con apenas 43 sustancias comunes a los tres países. De hecho, sólo 60 contaminantes, en total, están sujetos a registro en los tres programas RETC.<sup>5</sup>

2. Una advertencia relevante tiene que ver con el registro del azufre reducido total (ART; en inglés: *total reduced sulfur*, TRS). Sujeto a la presentación de informes únicamente en el NPRI de Canadá, este contaminante se registra en grandes proporciones por parte del sector de extracción de petróleo y gas, sobre todo en dos categorías: emisiones en sitio por inyección subterránea, y eliminación o disposición final fuera de sitio. Los requisitos de presentación de informes de Canadá cambiaron a partir del año de registro de 2014 para el ART y sus componentes (en particular, ácido sulfhídrico [o sulfuro de hidrógeno], su principal elemento constitutivo, que también se registra por separado en el NPRI), de manera que ahora sólo se tienen que registrar las emisiones al aire de ART. Sin embargo, los datos de 2013 incluyen todavía registros de algunas plantas industriales con cantidades duplicadas tanto de ART como de ácido sulfhídrico (o sulfuro de hidrógeno). Se ha incluido una nota al respecto en los casos en que dichos datos se presentan en este capítulo. El asunto del “conteo doble” del ART y el disulfuro de carbono por parte de las instalaciones mineras de Canadá también se aborda en el capítulo 3.
3. Cada año, cierto número de plantas registra cero emisiones y transferencias (por ejemplo, debido a bajas en la producción o a que no se alcanzan los umbrales que exigen registro). Los análisis de *En balance* sólo incluyen plantas y contaminantes con volúmenes registrados de 0.0001 kg como mínimo (las cantidades se redondean a 2 puntos decimales).
4. Si desea examinar los datos de 2013 o años anteriores, ingrese a *En balance en línea*, en: <[www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)>. Cabe recordar a los lectores que en ocasiones las plantas ajustan sus datos de años anteriores, por lo que los datos empleados en este informe pueden presentar ciertas variaciones con respecto a los conjuntos de datos nacionales.
5. La palabra “contaminante” se refiere en algunos casos a una sustancia y sus compuestos relacionados (por ejemplo, “plomo y sus compuestos”). Si se requiere conocer detalles de los contaminantes registrados en los programas RETC de América del Norte y los países en que están sujetos a registro, véase la lista correspondiente en: <Los RETC y sus requisitos generales de registro>.

Cuadro 1. Datos RETC de América del Norte, 2013

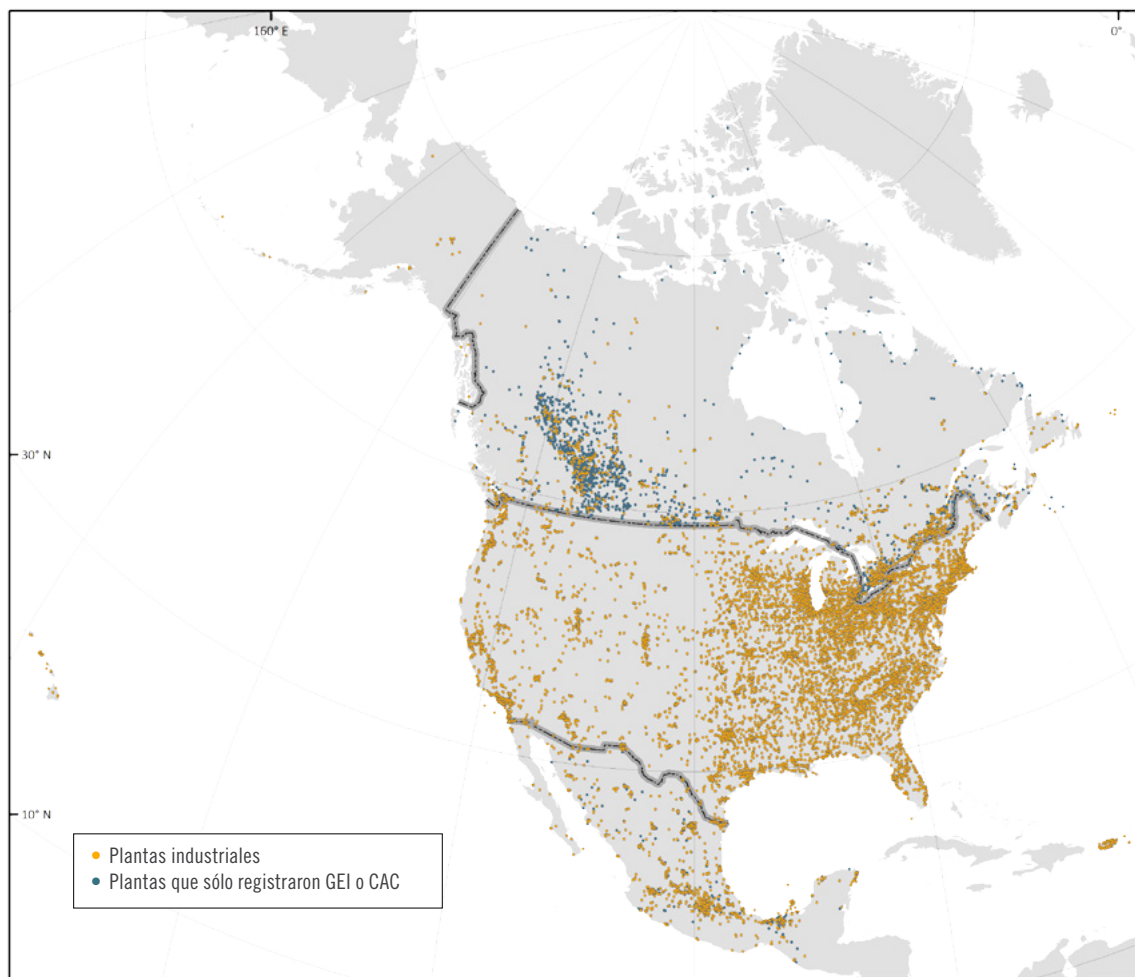
| Programa RETC                   | Número de plantas que presentaron registros, 2013* | Sustancias registradas, 2013*                           | Total, 2013 (kg)     | Total, 2010 (kg)     |
|---------------------------------|--|---|----------------------|----------------------|
| NPRI canadiense                 | 2,435  | 192   | 1,846,695,595        | 2,361,561,811        |
| RETC mexicano                   | 2,639  | 52  | 43,703,200           | 35,060,539           |
| TRI estadounidense              | 19,070   | 459   | 3,336,621,309        | 3,031,187,854        |
| <b>Total, América del Norte</b> | <b>24,144</b>                                      | <b>520 (43 contaminantes comunes a los tres países)</b> | <b>5,227,020,104</b> | <b>5,427,810,204</b> |

\* El número de plantas industriales y de sustancias corresponde a los datos analizados en este informe (es decir, con cantidades declaradas de al menos 0.0001 kg).

Notas: Más de la mitad de los establecimientos que presentan registros al NPRI de Canadá y ciertos establecimientos industriales que informan al RETC de México no están incluidos en el análisis porque únicamente declararon emisiones de contaminantes atmosféricos de criterio o gases de efecto invernadero, dos grupos excluidos de *En balance* debido a las diferencias en los requisitos nacionales de registro (véase el recuadro 1).

Se recuerda a los lectores que al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

Gráfica 1. Plantas industriales que presentaron registros a los RETC de América del Norte, 2013



Notas: De las plantas canadienses y mexicanas mostradas en este mapa, 5,836 (representadas con puntos azules) sólo registraron emisiones de contaminantes atmosféricos de criterio o gases de efecto invernadero, dos grupos de contaminantes excluidos de los análisis de este informe.

Se recuerda a los lectores que al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales. Para obtener más información, véase "Uso y comprensión de los datos de *En balance*" (apéndice 1).

### Recuadro 1. Emisiones de contaminantes atmosféricos de criterio y gases de efecto invernadero de las plantas

El impacto de las diferencias en los contaminantes sujetos a registro en cada uno de los RETC de América del Norte se puede apreciar en el mapa de plantas que presentaron registros (gráfica 1). Los puntos azules corresponden a las plantas canadienses (la mayoría en el sector de extracción de petróleo y gas) que sólo registraron emisiones de contaminantes atmosféricos de criterio (CAC) en el NPRI, así como a los establecimientos mexicanos que en el *RETC* registraron sólo emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Los CAC (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles, etc.) y los GEI (dióxido de carbono, metano y gases fluorados, entre otros) son emitidos por diversas actividades industriales, como extracción y refinación de petróleo y gas, producción de cemento, generación de energía, etc., y tienen efectos en la salud pública, los ecosistemas y el clima.

En vista de las diferencias en los requisitos de registro nacionales para estos dos grupos de contaminantes, no se les incluye en el informe *En balance*, lo que da como resultado que casi dos terceras partes de las plantas que presentan registros al NPRI de Canadá y alrededor de 900 que declaran al *RETC* de México queden excluidas de la base de datos *RETC* de América del Norte (cuadro 1). Sin embargo, existen otras fuentes de información sobre las emisiones de estos contaminantes en los tres países (véase el apéndice 1: “Uso y comprensión de los datos de *En balance*”).

En la gráfica 2 se ilustran las emisiones y transferencias registradas por plantas industriales de América del Norte en 2013, junto con los sectores de la industria y los contaminantes que dieron cuenta de los porcentajes más altos.<sup>6</sup> La gráfica muestra, por ejemplo, que las **minas de minerales metálicos** fueron responsables de más de tres cuartas partes del total de las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, declaradas en 2013, categoría que constituyó 40% del total para ese año.<sup>7</sup> Estos establecimientos registraron altos índices de metales (y sus compuestos) como plomo, manganeso y zinc, así como fósforo (total), ácido nítrico y compuestos nitrados y amoniaco. Las emisiones y transferencias registradas por la industria minera de América del Norte se examinan con más detenimiento en el análisis especial de este informe (capítulos 2 y 3).

Las transferencias fuera de sitio para reciclaje representaron la segunda categoría más importante en 2013, con 24% del total registrado. El sector de la **industria básica del hierro y del acero** fue responsable de casi 20% de este volumen, seguido por las **industrias de metales no ferrosos** (por ejemplo, fundiciones). Estos sectores registraron transferencias para reciclaje de metales valiosos (y sus compuestos), como zinc, manganeso y cobre, además de ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. Cabe señalar que el sector de la industria básica del hierro y el acero también transfirió muchas de las mismas sustancias fuera de sitio para su eliminación o disposición final, y ocupó el segundo lugar en esa categoría. El tercer lugar en transferencias para reciclaje correspondió al sector de la **fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón**, 88% de cuyas transferencias totales registradas en esta categoría correspondieron a ácido sulfúrico.

Las emisiones al aire dieron cuenta de 9% del total registrado para 2013. Las plantas de **generación de energía eléctrica** registraron 25%, seguidas por los **fabricantes de pulpa, papel y cartón**. Entre las principales sustancias emitidas por ambos sectores figuran amoniaco, ácido clorhídrico y ácido sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno), ácido sulfúrico (sobre todo de las centrales eléctricas) y metanol (cuyas mayores emisiones provinieron del sector de pulpa y papel). El sector en tercer lugar fue el de **fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos**, que registró cantidades muy elevadas de amoniaco, además de metanol, ácido sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno) y otros contaminantes.

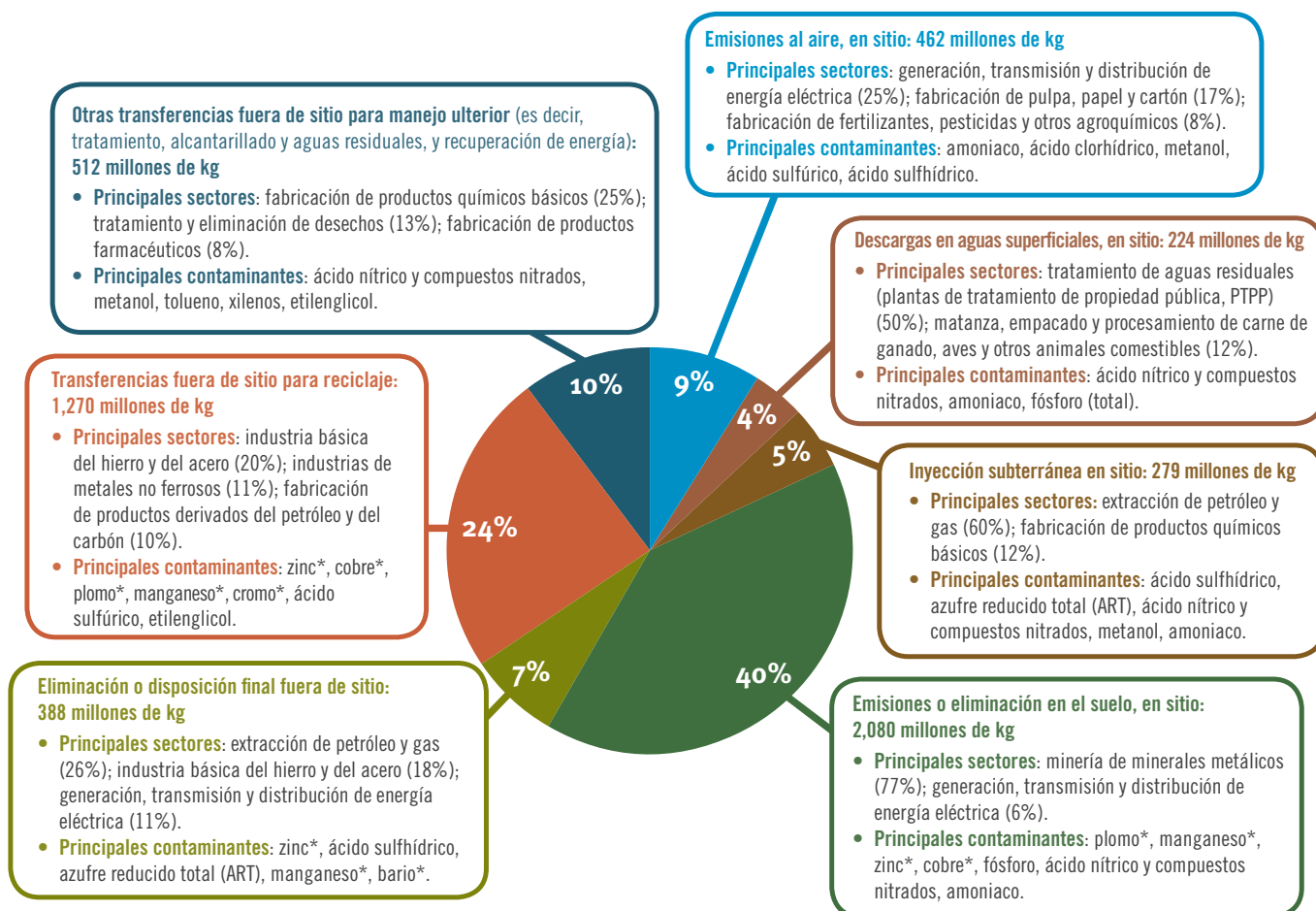
Las emisiones al agua declaradas representaron 4% del total para 2013. El sector de **tratamiento de aguas residuales** —incluidas las plantas municipales, a las que también se denomina “plantas de tratamiento de propiedad pública” (PTPP)— fue

6. A menos que se especifique lo contrario, los datos contenidos en este informe correspondientes a sectores de registro se presentan con sus códigos SCIAN de cuatro dígitos.

7. La categoría “emisiones o eliminación en el suelo, en sitio” incluye contaminantes emitidos directamente al suelo en las instalaciones del establecimiento, aplicación en suelos agrícolas, inyección subterránea, embalses superficiales, derrames y fugas, y disposición o eliminación en rellenos sanitarios.



Gráfica 2. Emisiones y transferencias registradas en 2013 en América del Norte



Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tener en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.  
\* significa "y sus compuestos".

responsable de la mitad de dichas emisiones, seguido del sector de **matanza, empacado y procesamiento de carne de ganado, aves y otros animales comestibles**, con 12 por ciento. Ambos sectores registraron elevados porcentajes de ácido nítrico y compuestos nitrados, y las PTPP —en particular— emitieron grandes cantidades de amoníaco y fósforo (total). Más adelante, en este mismo capítulo (apartado 1.3.2), se proporciona información adicional sobre emisiones al aire y el agua.

En dos categorías, eliminación o disposición final fuera de sitio e inyección subterránea en sitio (con 7 y 5 por ciento del total, respectivamente), predominó el **sector de extracción de petróleo y gas**, cuyas instalaciones registraron proporciones muy elevadas de ácido sulfhídrico (sulfuro de hidrogeno) y azufre reducido total (ART).<sup>8</sup>

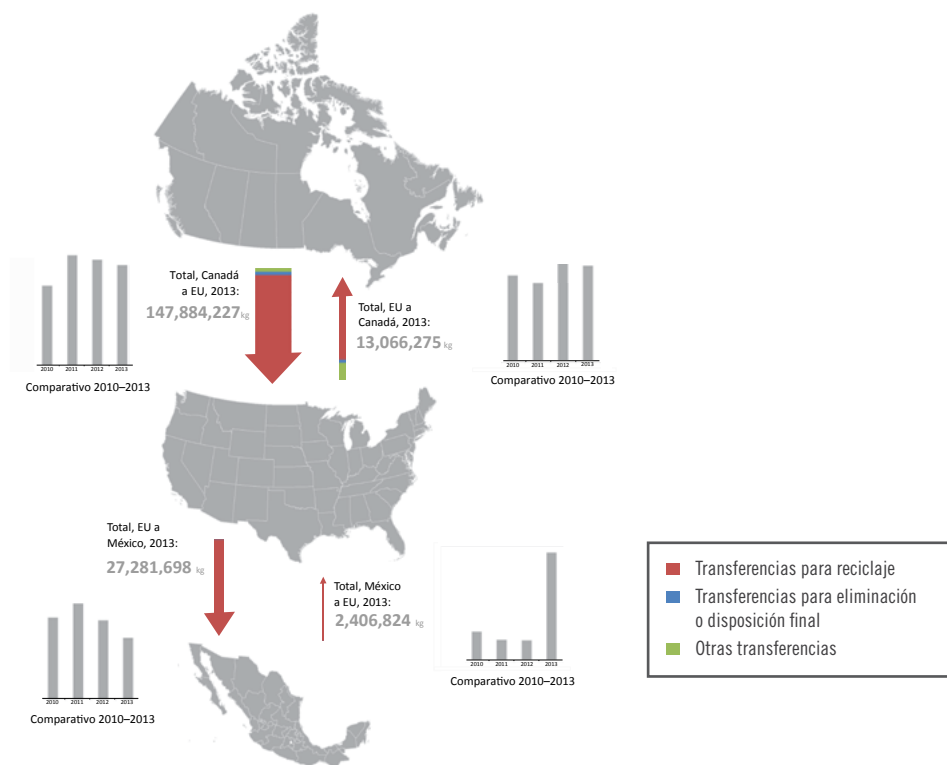
Los sectores de **fabricación de productos químicos básicos** y **fabricación de productos farmacéuticos**, juntos, fueron responsables de alrededor de un tercio de las transferencias fuera de sitio para manejo ulterior registradas, seguidos del sector de **tratamiento y eliminación de desechos**, con 13 por ciento. Estos sectores informaron sobre transferencias de muchos de los mismos contaminantes, incluidas grandes proporciones de ácido nítrico y compuestos nitrados, metanol, tolueno, xilenos y etilenglicol. Porcentajes elevados de estas sustancias se transfirieron a otros establecimientos para la recuperación de energía (por ejemplo, transferencia de tolueno de una planta de manejo de desechos a una

8. Se recuerda a los lectores que los datos del NPRI para 2013 aún incluyen algunos registros de instalaciones con cantidades duplicadas de azufre reducido total (en inglés: *total reduced sulfur*, TRS) y ácido sulfhídrico.

cementera o a instalaciones de eliminación de residuos peligrosos). En algunos casos se les transfirió, incluso, a otro país para su tratamiento o eliminación en instalaciones receptoras especializadas.

La gráfica 3 ilustra las transferencias transfronterizas registradas al interior de América del Norte en 2013. En total, las plantas de los tres países declararon más de 190 millones de kg, lo que significa un incremento de 24 millones en comparación con 2010. La mayoría de estos contaminantes fueron transferidos por plantas canadienses a Estados Unidos para su reciclaje; el ácido sulfúrico de **refinerías de petróleo** dio cuenta de 80% del volumen registrado. De las transferencias de Estados Unidos a Canadá, más de 40% correspondió a cobre enviado por **fabricantes de productos metálicos** para su reciclaje. Al igual que en 2010,<sup>9</sup> las transferencias de Estados Unidos a México constaron casi en su totalidad de zinc (y sus compuestos) enviado para reciclaje: **fabricantes de metales primarios** (como siderúrgicas) estadounidenses remitieron más de 20 millones de kg a la planta Zinc Nacional en Nuevo León. La mayor parte (casi 2 millones de kg) de las transferencias de México a Estados Unidos fueron de plomo y sus compuestos, enviados para reciclaje por una planta, TED de México, ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua, que fabrica **componentes eléctricos** para vehículos. Los datos de las transferencias transfronterizas de América del Norte se pueden consultar utilizando la herramienta “Transferencias transfronterizas” de *En balance en línea*, en: <[www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)>.

Gráfica 3. **Transferencias transfronterizas de contaminantes en América del Norte, 2013**



Nota: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

### 1.3 Análisis detallado de los datos

El panorama regional de las emisiones y transferencias, presentado en el apartado anterior, se ve enormemente afectado por las diferencias entre los tres RETC nacionales en cuanto a las sustancias y sectores de la industria sujetos a registro. Como se demuestra a lo largo de este informe, es preciso tomar en cuenta estas diferencias al interpretar la información registrada en los RETC.

9. Véase: *En balance*, vol. 14.

El cuadro 2 muestra los 25 principales contaminantes —de un total de 520— registrados por plantas industriales de América del Norte en 2013,<sup>10</sup> mismos que representaron casi 4,800 millones de kg o 91% de las emisiones y transferencias totales declaradas ese año. Diez de esas 25 sustancias son metales (o sus compuestos) y sólo cuatro (zinc, manganeso, plomo y cobre), junto con ácido nítrico y compuestos nitrados y ácido sulfhídrico, dieron cuenta de más de la mitad de todas las emisiones y transferencias registradas en 2013.

Cuadro 2. Los 25 principales contaminantes registrados (por emisiones y transferencias totales) en 2013

| Contaminante   | Emisiones y transferencias totales | Emisiones al aire, en sitio | Descargas en aguas superficiales, en sitio | Inyección subterránea, en sitio | Emisiones o eliminación en el suelo, en sitio | Eliminación o disposición final fuera de sitio | Transferencias fuera de sitio para reciclaje | Otras transferencias fuera de sitio |
|--|------------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------------|---|--|--|-------------------------------------|
| Zinc* (CA, EU)   | 722,361,910                        | 2,685,595                   | 663,213                                    | 1,380,842                       | 379,837,547                                   | 86,169,664                                     | 251,621,878                                  | —                                   |
| Manganeso* (CA, EU)  | 573,382,586                        | 699,219                     | 4,012,921                                  | 4,577,370                       | 412,957,850                                   | 37,732,797                                     | 113,400,858                                  | —                                   |
| Plomo* (CA, EU, MX)  | 564,531,821                        | 1,428,695                   | 152,283                                    | 97,861                          | 388,627,028                                   | 18,832,508                                     | 155,393,445                                  | —                                   |
| Cobre* (CA, EU)  | 426,543,657                        | 626,945                     | 193,479                                    | 1,125,684                       | 164,007,332                                   | 13,252,793                                     | 247,335,356                                  | —                                   |
| Ácido nítrico y compuestos nitrados (CA, EU)                     | 284,759,902                        | 870,652                     | 153,866,317                                | 22,779,716                      | 7,059,533                                     | 9,025,838                                      | 1,908,458                                    | 89,248,747                          |
| Ácido sulfhídrico (CA, EU, MX)                                   | 229,310,583                        | 24,979,367                  | 284,558                                    | 101,937,110                     | 164,843                                       | 50,549,776                                     | 9,739,728                                    | 41,654,469                          |
| Metanol (CA, EU)   | 210,890,156                        | 63,587,115                  | 3,554,506                                  | 21,740,343                      | 1,637,849                                     | 21,078,931                                     | 10,925,935                                   | 88,361,876                          |
| Ácido sulfúrico (CA, EU)   | 190,641,347                        | 54,423,034                  | 61,851                                     | 1                               | 845   | 367,640  | 133,218,689                                  | 2,565,486                           |
| Fósforo (total) (CA)   | 189,386,843                        | 66,997                      | 5,412,021                                  | 8,439                           | 166,010,274                                   | 10,016,652                                     | 2,828,471                                    | 5,043,909                           |
| Amoniaco (CA, EU)  | 174,838,182                        | 75,862,155                  | 50,731,666                                 | 19,231,713                      | 10,937,188                                    | 5,527,308                                      | 1,500,068                                    | 11,047,879                          |
| Níquel* (CA, EU, MX)   | 154,958,337                        | 1,150,407                   | 196,125                                    | 134,685                         | 60,466,010                                    | 9,011,716                                      | 83,998,738                                   | —                                   |
| Bario* (EU)  | 152,575,185                        | 602,511                     | 473,055                                    | 60,542                          | 128,866,095                                   | 20,980,393                                     | 1,529,589                                    | —                                   |
| Cromo* (CA, EU, MX)  | 138,573,714                        | 496,038                     | 188,225                                    | 1,726,259                       | 37,195,662                                    | 11,759,179                                     | 87,206,863                                   | —                                   |
| Arsénico* (CA, EU, MX)   | 137,763,358                        | 402,127                     | 37,673                                     | 27,539                          | 134,683,763                                   | 2,156,080                                      | 456,176                                      | —                                   |
| Azufre reducido total (ART) (CA)                                 | 104,464,638                        | 7,614,798                   | 324,902                                    | 57,937,269                      | 2,359   | 38,548,343                                     | 34,735                                       | 1,949                               |
| Etilenglicol (CA, EU)  | 83,613,993                         | 946,189                     | 871,073                                    | 735,392                         | 12,680,791                                    | 8,281,217                                      | 37,282,825                                   | 22,814,047                          |
| Tolueno (CA, EU)   | 77,438,934                         | 13,267,195                  | 100,763                                    | 709,984                         | 2,014,345                                     | 2,083,442                                      | 13,293,172                                   | 45,961,628                          |
| Ácido clorhídrico (CA, EU)                                       | 73,087,760                         | 64,626,230                  | 0  | 157,600                         | 4,766,952                                     | 115,507  | 2,860,445                                    | 559,203                             |
| Xileno (todos los isómeros) (CA, EU)                             | 64,291,264                         | 9,180,213                   | 24,745                                     | 600,431                         | 1,750,073                                     | 1,842,004                                      | 19,361,784                                   | 31,527,614                          |
| Vanadio* (CA, EU)  | 49,606,498                         | 278,911                     | 258,275                                    | 654,120                         | 33,759,260                                    | 4,667,182                                      | 9,988,399                                    | —                                   |
| Fluoruro de calcio (CA)  | 45,401,949                         | 28,816                      | 26,770                                     | —                               | 43,566,181                                    | 564,374  | 1,211,180                                    | 4,627                               |
| Asbesto (forma friable) (CA, EU, MX)                             | 41,316,994                         | 907                         | 0  | 0                               | 39,259,037                                    | 1,937,196                                      | 27,096                                       | 92,759                              |
| n-Hexano (CA, EU)  | 30,987,116                         | 19,673,075                  | 10,925                                     | 43,685                          | 3,627,302                                     | 582,501  | 2,858,237                                    | 4,189,892                           |
| Aluminio (humo o polvo) (CA, EU)                                 | 30,759,660                         | 685,181                     | 3,264                                      | 0                               | 9,452,400                                     | 7,868,839                                      | 12,749,976                                   | —                                   |
| Estireno (CA, EU, MX)  | 21,941,402                         | 14,054,928                  | 830  | 97,077                          | 371,860                                       | 866,483  | 239,848                                      | 6,307,669                           |
| <b>Total, 25 contaminantes principales</b>                       | <b>4,773,427,790</b>               | <b>358,237,302</b>          | <b>221,449,442</b>                         | <b>235,763,661</b>              | <b>2,043,702,379</b>                          | <b>363,818,362</b>                             | <b>1,201,034,947</b>                         | <b>349,381,755</b>                  |
| <b>Total (520 contaminantes)</b>                                 | <b>5,227,020,104</b>               | <b>462,828,876</b>          | <b>224,380,028</b>                         | <b>278,600,117</b>              | <b>2,084,158,040</b>                          | <b>387,700,445</b>                             | <b>1,276,850,558</b>                         | <b>512,428,952</b>                  |
| <b>Porcentaje, 25 principales contaminantes del total de 520</b> | <b>91</b>                          | <b>77</b>                   | <b>98</b>                                  | <b>85</b>                       | <b>98</b>                                     | <b>94</b>                                      | <b>94</b>                                    | <b>68</b>                           |

Notas: Se recuerda a los lectores que los datos del NPRI para 2013 aún incluyen algunos registros de instalaciones con cantidades duplicadas de azufre reducido total y ácido sulfhídrico. "CA" (Canadá, NPRI), "EU" (Estados Unidos, TRI) y "MX" (México, RETC) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro. "—" significa "no registrado". "\*" significa "y sus compuestos".

10. Sustancias registradas en volúmenes de cuando menos 0.0001 kilogramos.

Este cuadro muestra también que sólo siete de las 25 sustancias con mayores registros están sujetas a registro en los tres RETC. A partir de 2006 (el primer año para el que se incluyeron datos de los tres países en el informe *En balance*), las plantas han declarado emisiones y transferencias de más de 600 contaminantes (o grupos de contaminantes) pero, como se mencionó en el apartado anterior, sólo 60 de ellos son comunes a los tres programas.<sup>11</sup> La falta de inclusión —en uno o más de los RETC— de sustancias que por lo general se asocian con ciertas actividades industriales puede crear grandes vacíos en los registros de toda la región. En la última edición del informe *En balance*, por ejemplo, el análisis especial sobre el sector de fabricación de pulpa y papel recaló la disparidad en el registro de metanol (sustancia que con frecuencia se emite como subproducto en operaciones de elaboración de pasta y blanqueo) porque no está incluido en la lista de contaminantes del *RETC* mexicano. Es preciso tomar en cuenta esas diferencias en los requisitos de registro de los tres países al hacer interpretaciones de datos RETC de la región.

### 1.3.1 Perfiles de registro nacionales

La gráfica 4 presenta las distintas clases de emisiones y transferencias registradas por país para el año de datos 2013. Según se aprecia, los perfiles nacionales difieren significativamente entre sí, cada cual con una distribución singular de las principales emisiones y transferencias declaradas, así como de los sectores que contribuyeron con los porcentajes más altos.

Por ejemplo, en Canadá y Estados Unidos las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, representaron el porcentaje más alto del total de cada país para 2013, seguidas por las transferencias fuera de sitio para reciclaje. En Estados Unidos, las transferencias para manejo ulterior (por ejemplo, recuperación de energía) representaron 14% del total, en comparación con 2% en cada uno de los otros dos países. En México, las transferencias para reciclaje también representaron un alto porcentaje del total. Sin embargo, en comparación con Canadá y Estados Unidos, las emisiones al aire (43% del total) dominaron el registro en ese país.

Estos perfiles de las emisiones y transferencias nacionales presentan un panorama muy distinto del que se muestra en el apartado precedente. Por ejemplo, la gráfica 4 revela que gran parte de las **emisiones o eliminación en el suelo, en sitio** (declaradas en buena medida por el sector minero y correspondientes a 40% de las emisiones y transferencias totales de América del Norte, gráfica 2) se registraron casi en su totalidad en Canadá y Estados Unidos. Como se describe en detalle en los capítulos 2 y 3, las grandes diferencias entre los requisitos de registro de los RETC nacionales desempeñan un papel central en las variaciones que presentan los datos del sector minero en el ámbito regional.

La falta de uniformidad en los requisitos de registro de los RETC nacionales también repercute en las **emisiones en sitio por inyección subterránea** declaradas en la región. La práctica de inyectar al subsuelo ciertos desechos de producción es propia de un número limitado de industrias, tales como la de extracción y producción de petróleo y gas, y la industria química. La gráfica 4 muestra que, de los 279 millones de kg de emisiones en sitio por inyección subterránea para 2013, un porcentaje elevado corresponde a establecimientos de extracción de petróleo y gas de Canadá, donde el azufre reducido total (ART), sujeto a informe sólo en ese país, es una de las principales sustancias declaradas.<sup>12</sup> En Estados Unidos, las instalaciones de extracción de petróleo y gas no están sujetas a registro en el TRI, en tanto que en México, donde el registro de ese sector sí es obligatorio, la inyección subterránea no existe como categoría separada en el programa *RETC* (sino que está agregada a la categoría *emisiones al suelo en sitio*).

En términos de **transferencias para reciclaje**, la composición industrial de cada país —y en consecuencia las sustancias objeto de manufactura, procesamiento u otro uso— repercute indiscutiblemente en las variaciones de los volúmenes y cantidades de contaminantes registrados. No obstante, como se muestra en el cuadro 2, muchos de los principales contaminantes declarados como transferidos para reciclaje no son comunes a los tres países. Más aún, cuando las sustancias se transfieren de un país a otro —por ejemplo, el zinc a México, en donde este contaminante no está sujeto a registro— resulta difícil rastrear la información relativa a su suerte y destino final.

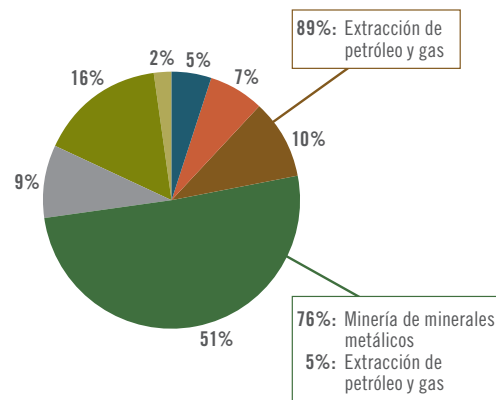
11. Al año de registro 2014, la lista de contaminantes del *RETC* mexicano se había ampliado de 104 a 200 sustancias.

12. Se recuerda a los lectores que los datos del NPRI para 2013 aún incluyen algunos registros de instalaciones con cantidades duplicadas de azufre reducido total y ácido sulfhídrico.

Gráfica 4. Emisiones y transferencias registradas en 2013: perfiles nacionales

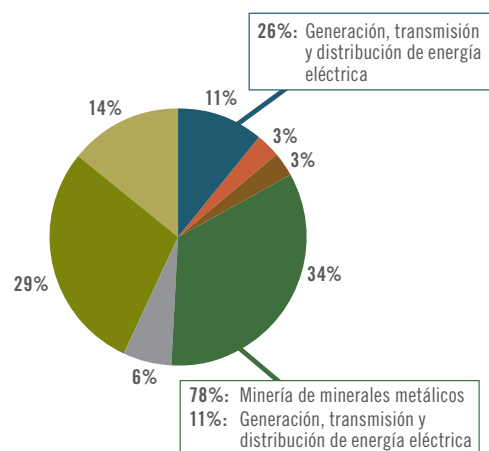
Emisiones y transferencias registradas, **NPRI canadiense**

|  | Kilogramos           | # de contaminantes | # de plantas |
|--|----------------------|--------------------|--------------|
| Emisiones al aire, en sitio                              | 93,401,030           | 167                | 1,462        |
| Descargas en aguas superficiales, en sitio               | 127,005,945          | 91                 | 453          |
| Inyección subterránea, en sitio                          | 185,213,760          | 56                 | 110          |
| Emisiones o eliminación en el suelo, en sitio            | 937,606,263          | 95                 | 400          |
| Eliminación o disposición final fuera de sitio           | 165,883,545          | 116                | 934          |
| Transferencias fuera de sitio para reciclaje             | 294,919,169          | 95                 | 913          |
| Otras transferencias fuera de sitio para manejo ulterior | 42,592,795           | 132                | 549          |
| <b>Total nacional</b>                                    | <b>1,846,695,595</b> | <b>192</b>         | <b>2,435</b> |



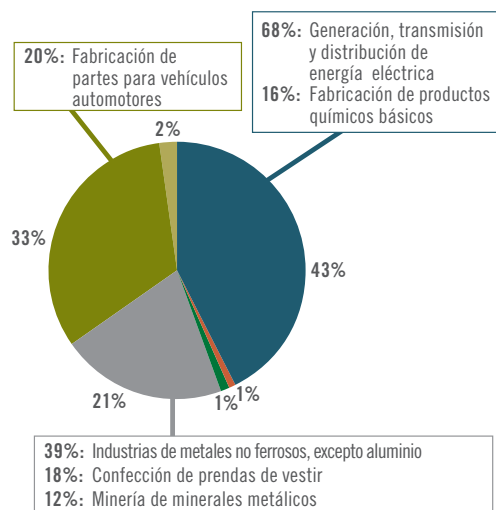
Emisiones y transferencias registradas, **TRI estadounidense**

|  | Kilogramos           | # de contaminantes | # de plantas  |
|--|----------------------|--------------------|---------------|
| Emisiones al aire, en sitio                              | 350,607,082          | 444                | 15,595        |
| Descargas en aguas superficiales, en sitio               | 96,937,677           | 211                | 3,223         |
| Inyección subterránea, en sitio                          | 93,386,357           | 137                | 105           |
| Emisiones o eliminación en el suelo, en sitio            | 1,146,309,157        | 184                | 1,938         |
| Eliminación o disposición final fuera de sitio           | 212,820,057          | 324                | 7,988         |
| Transferencias fuera de sitio para reciclaje             | 967,416,945          | 166                | 7,680         |
| Otras transferencias fuera de sitio para manejo ulterior | 469,144,034          | 393                | 5,716         |
| <b>Total nacional</b>                                    | <b>3,336,621,309</b> | <b>459</b>         | <b>19,070</b> |



Emisiones y transferencias registradas, **RETC mexicano**

|  | Kilogramos        | # de contaminantes | # de plantas |
|--|-------------------|--------------------|--------------|
| Emisiones al aire, en sitio                              | 18,820,764        | 46                 | 673          |
| Descargas en aguas superficiales, en sitio               | 436,406           | 17                 | 635          |
| Inyección subterránea, en sitio                          | NA                | NA                 | NA           |
| Emisiones o eliminación en el suelo, en sitio            | 242,619           | 17                 | 637          |
| Eliminación o disposición final fuera de sitio           | 8,996,843         | 27                 | 1,234        |
| Transferencias fuera de sitio para reciclaje             | 14,514,445        | 21                 | 441          |
| Otras transferencias fuera de sitio para manejo ulterior | 692,123           | 30                 | 603          |
| <b>Total nacional</b>                                    | <b>43,703,200</b> | <b>52</b>          | <b>2,639</b> |



\* Valores de registro superiores a 0.0001 kg.

Nota: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

### 1.3.2 Emisiones registradas al aire y el agua

Los contaminantes emitidos al aire y el agua suelen recibir mayor atención que otros tipos de emisiones y transferencias industriales por el hecho de que ingresan al medio ambiente de manera directa. Como se mencionó en el apartado 1.2, las emisiones al aire para 2013 fueron del orden de 462,828,876 kg, o 9% de las emisiones y transferencias totales registradas, en tanto que al agua fueron de 224,380,028 kg, o 4% del total. En este apartado se presenta información adicional acerca de algunos de los contaminantes que se informó fueron emitidos al aire y el agua, y también sobre dos de los sectores con registros de volúmenes más elevados.

El cuadro 3 presenta los sectores industriales y contaminantes con mayores registros, responsables de casi dos terceras partes de todas las emisiones al aire registradas en 2013. Se observa que el primer lugar correspondió al sector de generación de energía eléctrica, que —como se mencionó ya— dio cuenta de 25% de todas las emisiones al aire de ese año. Del total de 495 contaminantes emitidos al aire por todas las plantas de América del Norte que presentaron informes, los ocho que se muestran en este cuadro dieron cuenta de casi la mitad de las emisiones al aire totales. De ser inhaladas, estas sustancias —que incluyen amoníaco, metanol y gases ácidos como ácido clorhídrico y ácido sulfúrico— pueden

Cuadro 3. Sectores industriales y contaminantes con mayores registros de emisiones al aire en América del Norte, 2013

| Sector industrial (código SCIAN-4)  | Emisiones al aire, 2013 (kg) | Contaminante                                      | Emisiones al aire, 2013 (kg) | NPRI Canadá (%) | TRI EU (%) | RETC México (%) |
|---|------------------------------|---|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica (2211)                                  | 114,200,707                  | Ácido clorhídrico (CA, EU)                        | 44,125,817                   | 18%             | 82%        | --              |
|   |                              | Ácido sulfúrico (CA, EU)                          | 40,396,364                   | 2%              | 98%        | --              |
|   |                              | Ácido sulfhídrico (CA, MX, EU)                    | 12,593,282                   | 0%              | 0.02%      | 99.98%          |
| Fabricación de pulpa, papel y cartón (3221)   | 80,224,858                   | Metanol (CA, EU)                                  | 47,249,839                   | 19%             | 81%        | --              |
|   |                              | Amoniaco (CA, EU)                                 | 7,808,486                    | 21%             | 79%        | --              |
|   |                              | Ácido clorhídrico (CA, EU)                        | 7,380,675                    | 27%             | 73%        | --              |
| Fabricación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos (3253)                                | 39,173,221                   | Amoniaco (CA, EU)                                 | 31,810,672                   | 26%             | 74%        | --              |
|   |                              | Metanol (CA, EU)                                  | 3,468,675                    | 15%             | 85%        | --              |
|   |                              | Ácido sulfhídrico (CA, EU, MX)                    | 1,312,711                    | --              | 100%       | --              |
| Fabricación de productos químicos básicos (3251)  | 35,223,021                   | Etileno (CA, EU)                                  | 5,668,308                    | 9%              | 91%        | --              |
|   |                              | Amoniaco (CA, EU)                                 | 4,469,009                    | 2%              | 98%        | --              |
|   |                              | Sulfuro de carbonilo (CA, EU)                     | 3,833,241                    | 0.5%            | 99.5%      | --              |
| Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón (3231)                                 | 20,866,144                   | Ácido sulfúrico (CA, EU)                          | 3,609,800                    | 23%             | 77%        | --              |
|   |                              | Amoniaco (CA, EU)                                 | 2,918,341                    | 6%              | 94%        | --              |
|   |                              | Cianuro de hidrógeno (CA, EU)                     | 2,610,134                    | 2%              | 98%        | --              |
| <b>Total, cinco sectores con mayores registros</b>  | <b>289,687,951</b>           | <b>Total, contaminantes con mayores registros</b> | <b>219,255,353</b>           |                 |            |                 |
| <b>Total, emisiones al aire</b>   | <b>462,828,876</b>           |   |                              |                 |            |                 |
| <b>Porcentaje (%), cinco sectores con mayores registros respecto del total de emisiones al aire</b> | <b>63%</b>                   |   |                              |                 |            |                 |

Notas: Al hacer la interpretación de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“CA” (Canadá, NPRI), “EU” (Estados Unidos, TRI) y “MX” (México, RETC) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro.

“--” significa “no registrado”.

causar dolor de cabeza y mareo, irritación del tracto respiratorio y dificultad para respirar. En el medio ambiente, los gases ácidos pueden contribuir a la deposición ácida y a la acidificación de cuerpos de agua dulce.<sup>13</sup>

Este cuadro muestra una distribución muy dispereja en los registros de los tres países; los únicos datos de México corresponden a emisiones de ácido sulfhídrico (sulfuro de hidrógeno) de las centrales eléctricas, toda vez que —de entre las sustancias representadas en el cuadro— dicho producto es el único contaminante sujeto a registro en el *RETC* de México.

El cuadro 4 muestra los principales sectores industriales y contaminantes que dieron cuenta de 81% del total registrado de emisiones al agua en 2013. Como se mencionó ya, el sector de tratamiento de aguas residuales —incluidas las plantas municipales, a las que también se denomina “plantas de tratamiento de propiedad pública” (PTPP)— dio cuenta de cerca de la mitad de los 224 millones de kilogramos de emisiones al agua registradas ese año (véase la gráfica 2).<sup>14</sup>

Cuadro 4. Sectores industriales y contaminantes con mayores registros de emisiones al agua en América del Norte, 2013

| Sector industrial (código SCIAN-4)  | Emisiones al agua, 2013 (kg) | Contaminante                                      | Emisiones al agua, 2013 (kg) | NPRI Canadá (%) | TRI EU (%) | RETC México (%) |
|---|------------------------------|---|------------------------------|-----------------|------------|-----------------|
| Red de acueductos, drenajes y otros sistemas (2213)   | 113,650,578                  | Ácido nítrico y compuestos nitrados (CA, EU)      | 63,007,913                   | 97%             | 3%         | --              |
|   |                              | Amoniaco (CA, EU)                                 | 45,864,955                   | 100%            | 0%         | --              |
|   |                              | Fósforo, total (CA)                               | 4,221,603                    | 100%            | --         | --              |
| Matanza, empaquetado y procesamiento de carne de ganado, aves y otros animales comestibles (3116)   | 26,147,730                   | Ácido nítrico y compuestos nitrados (CA, EU)      | 25,777,765                   | 1%              | 99%        | --              |
|   |                              | Nitrito de sodio (CA, EU)                         | 303,697                      | --              | 100%       | --              |
|   |                              | Ácido sulfúrico (CA, EU)                          | 37,020                       | 100%            | 0%         | --              |
| Industria básica del hierro y el acero (3311)   | 16,283,131                   | Ácido nítrico y compuestos nitrados (CA, EU)      | 15,453,963                   | 3%              | 97%        | --              |
|   |                              | Nitrito de sodio (CA, EU)                         | 477,414                      | 0%              | 100%       | --              |
|   |                              | Amoniaco (CA, EU)                                 | 109,366                      | 67%             | 33%        | --              |
| Fabricación de pulpa, papel y cartón (3221)   | 14,619,044                   | Ácido nítrico y compuestos nitrados (CA, EU)      | 5,063,311                    | 38%             | 62%        | --              |
|   |                              | Manganeso* (CA, EU)                               | 3,057,024                    | 33%             | 67%        | --              |
|   |                              | Amoniaco (CA, EU)                                 | 2,475,192                    | 68%             | 32%        | --              |
| Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón (3241)                                 | 10,844,936                   | Ácido nítrico y compuestos nitrados (CA, EU)      | 10,385,805                   | 3%              | 97%        | --              |
|   |                              | Amoniaco (CA, EU)                                 | 255,984                      | 31%             | 69%        | --              |
|   |                              | Etilenglicol (CA, EU)                             | 32,176                       | --              | 100%       | --              |
| <b>Total, cinco sectores con mayores registros</b>  | <b>181,545,418</b>           | <b>Total, contaminantes con mayores registros</b> | <b>176,523,188</b>           |                 |            |                 |
| <b>Total, emisiones al agua</b>   | <b>224,380,028</b>           |   |                              |                 |            |                 |
| <b>Porcentaje (%), cinco sectores con mayores registros respecto del total de emisiones al agua</b> | <b>81%</b>                   |   |                              |                 |            |                 |

Notas: Al hacer la interpretación de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“CA” (Canadá, NPRI), “EU” (Estados Unidos, TRI) y “MX” (México, *RETC*) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro.

“\*” significa “y sus compuestos”.

“--” significa “no registrado”.

13. El apéndice 2 de este informe contiene información más amplia sobre los posibles efectos de algunos de estos contaminantes.

14. En el cuadro 4, casi 100% de los datos asociados con el sector “Red de acueductos, drenajes y otros sistemas” (SCIAN 2213) puede atribuirse al segmento de las plantas de tratamiento de aguas residuales (SCIAN 22132).

De las 247 sustancias para las que los establecimientos industriales de América del Norte, en conjunto, registraron descargas al agua, las siete que aparecen en el cuadro 4 representan cerca de 80% del volumen total de las descargas declaradas. La mayor proporción corresponde —con mucho— al ácido nítrico y los compuestos nitrados (casi 70%), seguidos por el amoníaco. Como se describe en el volumen 13 del informe *En balance*, estas descargas contaminantes contribuyen a las cargas de nutrientes en sistemas de agua dulce y a entornos con poco oxígeno para los peces, o bien son tóxicas para la vida acuática.<sup>15</sup>

Tal como sucede con las emisiones al aire registradas, este cuadro permite apreciar la acusada falta de uniformidad en la distribución de las descargas en aguas superficiales, en sitio, registradas en toda la región, sin datos de México para los principales contaminantes registrados, debido a que no están sujetos a registro en el *RETC* de este país. Otra discrepancia entre los *RETC* nacionales que resulta especialmente relevante para el registro de emisiones al agua es el hecho de que en Estados Unidos las plantas de tratamiento de aguas residuales de propiedad pública (denominadas en ese país: *publicly owned treatment works*, POTW) no están sujetas a registro en el TRI.

### *Potencial de equivalencia tóxica (PET)*

Como se explicó en el recuadro de texto de la introducción a este informe, “Factores a considerar al utilizar datos *RETC* en la evaluación de riesgos”, determinar —mediante datos de emisiones y transferencias— los riesgos para la salud humana o el medio ambiente derivados de la exposición a sustancias contaminantes es una tarea compleja, toda vez que los volúmenes registrados no indican por sí solos el riesgo —en caso de haberlo— asociado a la emisión de un contaminante. Para comprender con precisión los posibles riesgos es necesario contar con información esencial sobre la forma y toxicidad de la sustancia, su curso y destino en el medio ambiente, y el potencial de exposición. Asimismo, los lectores deben recordar que los datos *RETC* tienen cobertura limitada en términos de contaminantes y fuentes industriales (véase el apéndice 1). Con el propósito de contribuir al estudio de los riesgos asociados a las sustancias contaminantes, el informe *En balance* incorpora un factor de ponderación denominado “potencial de equivalencia tóxica” (PET) en la evaluación de las emisiones al aire y el agua de sustancias para las que se dispone de valores PET. El potencial de equivalencia tóxica permite calificar el riesgo relativo que una unidad de determinado contaminante representa en comparación con una unidad de una sustancia química de referencia cuyo factor de riesgo para la salud humana sea bien conocido. La sustancia de referencia para carcinógenos es el benceno, en tanto que el tolueno lo es para otros efectos en la salud (en el desarrollo o la reproducción, por ejemplo).<sup>16</sup>

Una calificación PET no constituye en sí una evaluación de niveles de riesgo reales, sino un indicador —como el propio término sugiere— del potencial de riesgo con base en el volumen liberado y la toxicidad inherente de una sustancia, sin tomar en consideración otros factores de riesgo asociados. Los factores de ponderación PET son útiles porque atraen la atención sobre sustancias altamente tóxicas que muchas veces son emitidas en cantidades más bien pequeñas y, por ello, pasan inadvertidas como contaminantes de importancia. Los valores PET se basan en el conocimiento disponible, por lo que sin duda habrá lagunas; de hecho, algunas sustancias pueden representar un riesgo para la salud humana, pero la información de que se dispone sobre ellas es insuficiente para estimar su correspondiente PET. Una restricción más estriba en que, a escala de América del Norte, ciertos contaminantes se registran como grupos de sustancias relacionadas (por ejemplo, un metal y sus compuestos), de modo que formas químicas más tóxicas acaban agrupadas con formas menos tóxicas.

El cuadro 5 presenta los índices PET de riesgos cancerígenos y no-cancerígenos de contaminantes seleccionados declarados como emitidos al aire en 2013. Este cuadro da cuenta de que ciertas sustancias, aunque emitidas en proporciones relativamente pequeñas (por ejemplo, dioxinas y furanos), tienen potencial para generar un riesgo para la salud humana mucho mayor que aquellas clasificadas en los primeros lugares en cuanto a volumen total de emisiones.<sup>17</sup> Y, si

15. Véase: *En balance*, vol. 13, disponible en la biblioteca virtual de la CCA, en: <[www3.ccc.org/islandora/es](http://www3.ccc.org/islandora/es)>.

16. El término “no-cancerígeno” agrupa diversas repercusiones en la salud, como efectos en el desarrollo o la reproducción. No todos los contaminantes se han evaluado en términos de su toxicidad potencial; es decir, no todas las sustancias tienen asignado un PET. Si desea saber más de este tema, véase el apéndice 1: “Uso y comprensión de los datos de *En balance*”.

17. *En balance en línea* también contiene información relativa a las categorías de sustancias *RETC* (por ejemplo, carcinógenos conocidos o presuntos). Los requisitos de registro de los *RETC* nacionales para dioxinas y furanos varían, por lo que se invita a los lectores a consultar los programas nacionales si desean conocer información más precisa.



bien seis de los diez contaminantes presentados en el cuadro están sujetos a registro en los tres RETC de América del Norte, los elevados índices PET en el caso de otras sustancias (como los compuestos de talio) resaltan cuán importante es contar con datos comparables en toda la región de las emisiones de contaminantes de interés especial.

De manera similar, los contaminantes seleccionados —metales en su mayoría— que se registraron como emisiones al agua (véase el cuadro 6) presentan índices PET muy altos, especialmente en relación con efectos no-cancerígenos. Sólo cinco de estos diez contaminantes están sujetos a registro en los tres programas RETC de América del Norte, lo que da como resultado la falta de datos comparables de las emisiones de ciertos contaminantes particularmente preocupantes (por ejemplo, bario y cobre).

Cuadro 5. Selección de contaminantes emitidos al aire en 2013, y sus índices PET

| Contaminante                    | Emisiones al aire, 2013 (kg) | Índice PET de riesgos cancerígenos (en aire), 2013 | Índice PET de riesgos no-cancerígenos (en aire), 2013 |
|---------------------------------|------------------------------|--|---|
| Amoniaco (CA, EU)               | 75,862,155                   | 0  | 288,276,190   |
| Ácido clorhídrico (CA, EU)      | 64,626,230                   | 0  | 775,514,761   |
| Ácido sulfhídrico (CA, EU, MX)  | 24,979,367                   | 0  | 849,298,494   |
| Zinc* (CA, EU)                  | 2,685,595                    | 0  | 510,263,119   |
| Plomo* (CA, EU, MX)             | 1,428,695                    | 40,003,468   | 828,643,272,965                                       |
| Níquel* (CA, EU, MX)            | 1,150,407                    | 3,221,138  | 3,681,301,113   |
| Arsénico* (CA, EU, MX)          | 402,127                      | 6,434,034,451                                      | 33,778,680,867  |
| Mercurio* (CA, EU, MX)          | 297,022                      | 0  | 4,158,306,504,373                                     |
| Talio* (EU)                     | 1,362                        | 0  | 16,340,755,861  |
| Dioxinas y furanos (CA, EU, MX) | 82                           | 97,885,900,732                                     | 71,782,993,870,079                                    |

Notas: Para ciertos contaminantes (por ejemplo, dioxinas y furanos) pueden aplicarse múltiples umbrales de registro u otros criterios. Véanse detalles al respecto en los correspondientes programas nacionales. “CA” (Canadá, NPRI), “EU” (Estados Unidos, TRI) y “MX” (México, RETC) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro. El índice PET se calcula multiplicando el potencial de equivalencia tóxica (PET) asignado a un contaminante por el volumen del mismo emitido al aire o el agua. “\*” significa “y sus compuestos”.

Cuadro 6. Selección de contaminantes emitidos al agua en 2013, y sus índices PET

| Contaminante                    | Descargas a aguas superficiales, 2013 (kg) | Índice PET de riesgos cancerígenos (en agua), 2013 | Índice PET de riesgos no-cancerígenos (en agua), 2013 |
|---------------------------------|--|--|---|
| Manganeso* (CA, EU)             | 4,012,921                                  | 0  | 14,045,225  |
| Zinc* (CA, EU)                  | 663,213                                    | 0  | 9,284,985   |
| Bario* (EU)                     | 473,055                                    | 0  | 22,706,622  |
| Vanadio* (CA, EU)               | 258,275                                    | 0  | 183,375,363   |
| Cobre* (CA, EU)                 | 193,479                                    | 0  | 2,321,744,756   |
| Plomo* (CA, EU, MX)             | 152,283                                    | 304,566  | 6,395,889,251   |
| Arsénico* (CA, EU, MX)          | 37,673                                     | 150,691,323  | 753,456,617   |
| Cadmio* (CA, EU, MX)            | 37,094                                     | 70,477,730   | 5,193,095,894   |
| Mercurio* (CA, EU, MX)          | 5,861                                      | 0  | 76,194,288,031  |
| Dioxinas y furanos (CA, EU, MX) | 1  | 826,593,718  | 587,001,336,096                                       |

Notas: Para ciertos contaminantes (por ejemplo, dioxinas y furanos) pueden aplicarse múltiples umbrales de registro u otros criterios. Véanse detalles al respecto en los correspondientes programas nacionales. “CA” (Canadá, NPRI), “EU” (Estados Unidos, TRI) y “MX” (México, RETC) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro. El índice PET se calcula multiplicando el potencial de equivalencia tóxica (PET) asignado a un contaminante por el volumen del mismo emitido al aire o el agua. “\*” significa “y sus compuestos”.

El problema de comparabilidad de los datos sobre emisiones y transferencias para la región se extiende también a los umbrales a partir de los cuales se deben registrar los contaminantes. Por ejemplo, entre las sustancias que se muestran en los cuadros 5 y 6, comunes a los tres RETC, sólo los compuestos de mercurio tienen umbrales de “actividad” comparables (aproximadamente 5 kilogramos).<sup>18</sup> Es muy frecuente que los umbrales de registro nacionales presenten grandes variaciones, como ocurre con la muy marcada discrepancia en los umbrales para cadmio y sus compuestos del NPRI de Canadá y el RETC de México (5 kg), en comparación con el umbral del TRI estadounidense (11,340 kg). Los umbrales de diversas sustancias conocidas por su toxicidad potencial para la salud humana o el medio ambiente se han reducido a fin de facilitar el rastreo y manejo de sus emisiones. Para el año de registro 2014, la lista de contaminantes del RETC mexicano pasó de 104 a 200 y también se redujeron muchos de los umbrales de registro de contaminantes originales.

### *Emisiones al aire provenientes de plantas de generación de electricidad, 2006-2013*

Los datos del cuadro 3 muestran que el sector de generación de electricidad fue responsable de poco más de 114,000 millones de kg de contaminantes emitidos a la atmósfera —sobre todo elevados porcentajes de ácido clorhídrico, ácido sulfúrico y ácido sulfhídrico—, lo que equivale a casi una cuarta parte del total de las emisiones al aire registradas por las plantas industriales de América del Norte para 2013. Estos datos reflejan la falta de comparabilidad entre los programas RETC en relación con ciertos contaminantes, pero también las singulares características de la composición y dimensiones del sector industrial de cada país. En Estados Unidos y México, la electricidad se genera utilizando sobre todo combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural, pero en diferentes proporciones; y aunque estos combustibles también se utilizan en Canadá, más de la mitad de la energía eléctrica de este país proviene de centrales hidroeléctricas.

La última edición del informe *En balance* presentó datos de las emisiones al aire de plantas de generación de electricidad de América del Norte entre 2005 y 2010, que tuvieron un decremento significativo a lo largo de esos años.<sup>19</sup> Los datos correspondientes al periodo de 2006 a 2013, que reflejan el actual conjunto trinacional de datos de *En balance en línea*, se presentan en la gráfica 5 y muestran que esta tendencia a la baja se mantiene, impulsada sobre todo por las plantas de Estados Unidos. En ese país, los decrementos sustanciales en las emisiones al aire de contaminantes como el ácido clorhídrico pueden atribuirse, en parte, a que se tiene más conciencia de los efectos que las emisiones generadas por la quema de combustibles fósiles tienen en la calidad del aire y la salud humana. Diversos instrumentos de política, como las reformas a la Ley de Aire Limpio (*Clean Air Act*) de 1990 y el Reglamento Interestatal sobre Aire Limpio (*Clean Air Interstate Rule*) de 2005, establecieron reglamentos e incentivos económicos para enfrentar problemas como la lluvia ácida generada por las emisiones de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno de las centrales eléctricas. El resultado fue que muchas centrales instalaron controles para la contaminación o bien cambiaron a carbón con bajo contenido de azufre, o a gas natural.<sup>20</sup>

En la gráfica 5, los datos correspondientes a Canadá muestran que las emisiones de las plantas generadoras de electricidad se mantuvieron más o menos constantes durante todo el periodo. Sin embargo, un análisis más a fondo de los datos de *En balance en línea* revela que en Ontario las emisiones de este sector se redujeron en forma drástica, de alrededor de 4.5 millones de kg en 2007 a 644,000 kg en 2013.<sup>21</sup> El Reglamento que Elimina el Uso del Carbón (*Cessation of Coal Use Regulation*) de 2007, de alcance provincial, impulsó la transición hacia una mezcla energética de fuentes nucleares, gas natural y otras fuentes renovables distintas a la hidroelectricidad. A este reglamento le siguió la Ley de Eliminación del Carbón en Favor de un Aire más Limpio (*Ending Coal for Cleaner Air Act*) de 2013, que generó un cambio en el combustible o el cierre de las restantes cuatro centrales eléctricas a base de carbón.<sup>22</sup> El cambio introducido por Ontario para dejar de usar carbón produjo un fuerte decremento en las emisiones de gases ácidos, partículas suspendidas y

18. Los umbrales “de actividad” a que se refiere este apartado corresponden a la manufactura, procesamiento u otros usos (MPO) de un contaminante y establecen el nivel a partir del cual se le debe registrar. México también tiene umbrales de emisión, y las plantas industriales deben informar cuando los alcanzan. Si se desea consultar los umbrales de registro de todos los contaminantes declarados a los RETC de América del Norte, véase: <Los RETC y sus requisitos generales de registro>.

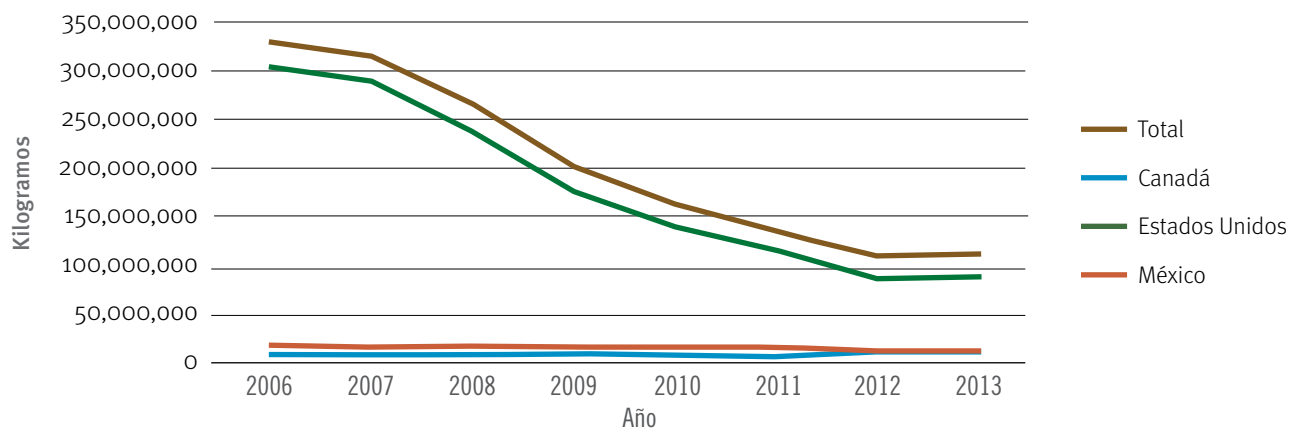
19. Véase: *En balance*, vol. 14, disponible en la biblioteca virtual de la CCA, en: <[www3.cec.org/islandora/es](http://www3.cec.org/islandora/es)>.

20. Véase: <[www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=10151](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=10151)>.

21. Los datos pueden consultarse en el sitio *En balance en línea*, en: <[www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)>.

22. Cessation of Coal Use Regulation No. 496/07, en: <[www.ontario.ca/laws/regulation/070496](http://www.ontario.ca/laws/regulation/070496)> y <[www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTIxMDQ3&statusId=MTk3MjEz](http://www.ebr.gov.on.ca/ERS-WEB-External/displaynoticecontent.do?noticeId=MTIxMDQ3&statusId=MTk3MjEz)>.

Gráfica 5. Emisiones al aire registradas por centrales eléctricas en América del Norte, 2006-2013



**Centrales eléctricas en América del Norte:**

| contaminantes seleccionados     | 2006 (kg)          | 2007 (kg)          | 2008 (kg)          | 2009 (kg)          | 2010 (kg)          | 2011 (kg)          | 2012 (kg)          | 2013 (kg)          |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Ácido clorhídrico (CA, EU)      | 220,623,693        | 210,196,337        | 165,981,043        | 112,272,806        | 76,201,300         | 58,329,625         | 43,796,613         | 44,125,817         |
| Ácido sulfúrico (CA, EU)        | 57,671,646         | 54,185,933         | 50,931,324         | 47,938,596         | 49,128,529         | 45,121,165         | 38,721,642         | 40,396,364         |
| Ácido sulfhídrico (CA, EU, MX)  | 17,852,484         | 16,167,903         | 18,323,708         | 15,908,515         | 16,254,130         | 15,664,782         | 13,308,825         | 12,593,282         |
| Bario* (EU)                     | 739,250            | 791,025            | 744,841            | 640,180            | 617,208            | 546,432            | 472,908            | 428,024            |
| Zinc* (CA, EU)                  | 568,777            | 583,407            | 663,545            | 376,090            | 352,407            | 349,076            | 148,385            | 148,641            |
| Selenio* (CA, EU)               | 237,172            | 241,429            | 194,605            | 125,989            | 113,498            | 97,337             | 69,735             | 69,172             |
| Níquel* (CA, EU, MX)            | 173,776            | 186,282            | 152,753            | 113,685            | 91,311             | 58,276             | 48,650             | 55,536             |
| Plomo* (CA, EU, MX)             | 77,416             | 77,537             | 67,709             | 51,015             | 47,331             | 39,318             | 33,235             | 30,442             |
| Mercurio* (CA, EU, MX)          | 44,325             | 44,665             | 42,219             | 33,889             | 31,548             | 27,088             | 22,687             | 22,946             |
| Arsénico* (CA, EU, MX)          | 39,644             | 40,587             | 37,275             | 29,879             | 29,868             | 25,465             | 18,751             | 18,832             |
| <b>Total, 138 contaminantes</b> | <b>330,736,574</b> | <b>315,007,131</b> | <b>266,010,342</b> | <b>200,941,389</b> | <b>164,156,310</b> | <b>138,332,130</b> | <b>112,277,693</b> | <b>114,200,707</b> |

Nota: Al hacer la interpretación de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales. "CA" (Canadá, NPRI), "EU" (Estados Unidos, TRI) y "MX" (México, RETC) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro. "\*" significa "y sus compuestos".

óxido de azufre, lo que —a su vez— ha dado como resultado menos días con smog, así como un descenso anual de 17% en emisiones de gases de efecto invernadero. Por todo lo anterior, esta iniciativa se reconoce como la medida individual de reducción de gases de efecto invernadero más importante de América del Norte.<sup>23</sup>

Los datos de esta gráfica revelan que tales esfuerzos por reducir las emisiones de partículas suspendidas finas y de gases ácidos han dado paso a beneficios suplementarios, incluidas reducciones de las emisiones de otros contaminantes atmosféricos asociados con la quema de combustibles fósiles. Como se indicó en el apartado dedicado al potencial de equivalencia tóxica (PET), algunos de estos contaminantes (por ejemplo, los compuestos de mercurio) presentan un riesgo alto para la salud humana.

23. Véase: <[www.iisd.org/sites/default/files/publications/end-of-coal-ontario-coal-phase-out.pdf](http://www.iisd.org/sites/default/files/publications/end-of-coal-ontario-coal-phase-out.pdf)>.

### Descargas al agua por el sector de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (o negras) generaron 113,650,157 kg de emisiones al agua; es decir, la mitad de todas las emisiones al agua registradas para 2013 (según se aprecia en el cuadro 4). Estas plantas constituyen un sector distinto de otros sectores industriales que presentan registros en los RETC de América del Norte por cuanto a que reciben y dan tratamiento a emisiones de las más diversas fuentes residenciales, industriales, comerciales y no puntuales (por ejemplo, escorrentía agrícola y escurrimiento de aguas pluviales). La complejidad de su naturaleza y los elevados volúmenes de las aguas residuales que requieren tratamiento en estas plantas dificultan el manejo de las descargas contaminantes en aguas superficiales.

El cuadro 7 presenta los diez contaminantes con registros de volúmenes más elevados —de un total de 31— declarados como descargas en aguas superficiales por el sector de tratamiento de aguas residuales, y que constituyen casi 100% del total. También indica en qué países tales sustancias están sujetas a registro RETC y demuestra, asimismo, los efectos de las diferencias entre los criterios de programas nacionales: el tercer contaminante en importancia, el fósforo total, está sujeto a registro únicamente en Canadá, y sólo una de las diez sustancias, el plomo, se declara en México.

El hecho de que las plantas de tratamiento de aguas residuales (por lo general de propiedad pública [PTPP]; en Estados Unidos denominadas: *publicly owned treatment works*, POTW) no estén sujetas al programa TRI de Estados Unidos también redundante en una escasez de datos sobre

emisiones al agua en ese país. Como se muestra en el cuadro 4, sólo se registraron descargas relativamente pequeñas —de poco menos de 2 millones de kg, casi todos de ácido nítrico y compuestos nitrados— por parte de una instalación privada: una procesadora de carne de Nebraska. En México, las emisiones contaminantes al agua sí suelen estar sujetas a registro en el *RETC*, ya que el programa cubre descargas a cuerpos de agua nacionales (que incluyen gran parte de los cuerpos de agua del país); sin embargo, las plantas de tratamiento de aguas residuales son de jurisdicción municipal y, por tanto, existe cierta ambigüedad en cuanto a los requisitos de registro para este sector. Ante esta falta de uniformidad, casi todos los datos mostrados en el cuadro fueron registrados por plantas canadienses.

La gráfica 6 plasma las emisiones al agua en 2013 de todos los sectores sujetos a registro en la cuenca hidrográfica del río San Lorenzo, la cual se extiende a lo largo de la frontera Canadá-Estados Unidos.<sup>24</sup> Los círculos proporcionales amarillos (distribuidos entre los verdes) representan descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales, mismas que registraron más de 70 millones de kg de muchos de los contaminantes incluidos en el cuadro 7. Esta cifra muestra claramente que todas las plantas de tratamiento de aguas residuales que presentan registros se ubican en el lado canadiense de la frontera. Por tanto, la falta de datos de Estados Unidos para el sector dificulta la comprensión de las cargas de contaminantes a esta importante cuenca hidrográfica compartida.

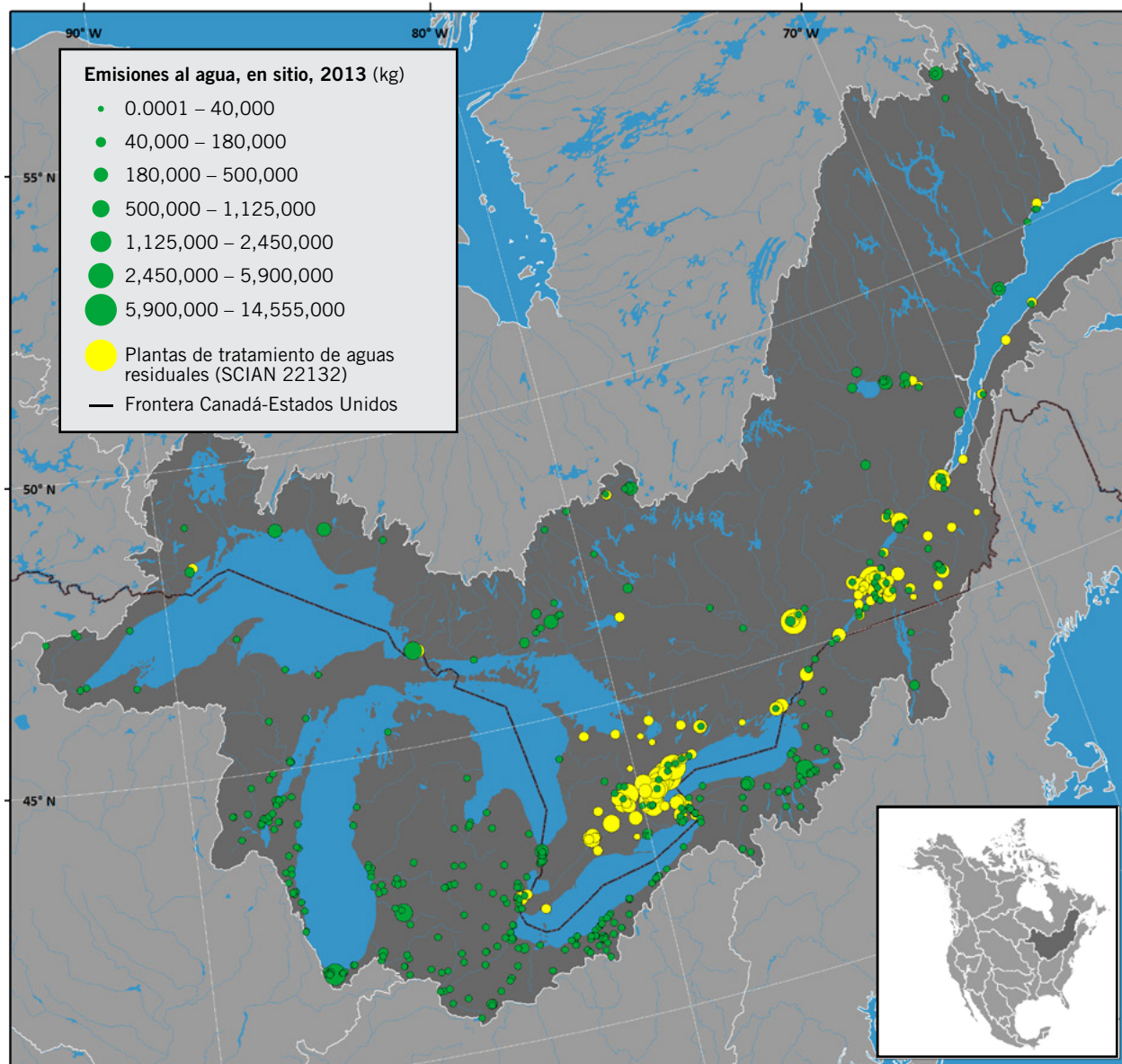
Cuadro 7. Emisiones al agua de plantas de tratamiento de aguas residuales, 2013

| Contaminante                                 | Descargas a aguas superficiales, 2013 (kg) |
|--|--|
| Ácido nítrico y compuestos nitrados (CA, EU) | 63,007,913                                 |
| Amoniaco (CA, EU)                            | 45,864,955                                 |
| Fósforo (total) (CA)                         | 4,221,603                                  |
| Zinc* (CA, EU)                               | 134,529                                    |
| Etilenglicol (CA, EU)                        | 95,590                                     |
| Manganeso* (CA, EU)                          | 90,584                                     |
| Cobre* (CA, EU)                              | 44,334                                     |
| Azufre reducido total (ART) (CA)             | 31,260                                     |
| Plomo* (CA, EU, MX)                          | 27,111                                     |
| Nonilfenol y etoxilatos (CA)                 | 23,200                                     |
| <b>Todos los demás contaminantes (21)</b>    | <b>109,080</b>                             |
| <b>Total: 31 contaminantes</b>               | <b>113,650,157</b>                         |

*Nota:* Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales. "CA" (Canadá, NPRI), "EU" (Estados Unidos, TRI) y "MX" (México, *RETC*) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro. "\*" significa "y sus compuestos".

24. La función más reciente de *En balance en línea* permite hacer búsquedas de datos de emisiones en cuencas hidrográficas de América del Norte mediante la capa cartográfica de cuencas hidrográficas del *Atlas ambiental de América del Norte* de la CCA.

Gráfica 6. Emisiones al agua registradas en la cuenca hidrográfica del río San Lorenzo, 2013



Nota: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

### *Mejoramiento de la integración y la comparabilidad de los datos*

El ejemplo de la cuenca hidrográfica del río San Lorenzo destaca cuán importante es contar con datos comparables de las emisiones de contaminantes a ecosistemas compartidos a fin de comprender los posibles impactos de estas emisiones en la salud humana o ambiental. Este tema se trató durante la reunión pública de la iniciativa RETC de América del Norte de la CCA, celebrada en octubre de 2016 en Washington, DC. Las presentaciones tuvieron como eje las dificultades en la integración de datos e información relativa a ecosistemas compartidos, así como las acciones tomadas para tratar de superarlas. Una de tales acciones fue el *Proyecto sobre salud humana e integración de bases de datos ambientales en la cuenca de los Grandes Lagos*, por parte de la Comisión Conjunta Internacional (CCI), dependencia responsable de la protección de este ecosistema compartido.<sup>25</sup> El proyecto analizó cómo integrar los conjuntos de datos disponibles sobre

salud ambiental y humana relativos a la cuenca de los Grandes Lagos con miras a apoyar decisiones en temas de interés, como contaminación atmosférica transfronteriza, floraciones de algas nocivas, contaminación de los peces, especies invasoras, etc., y determinó que los programas NPRI de Canadá y TRI de Estados Unidos constituyen —ambos— valiosas fuentes de información en torno a factores de presión ambiental que, al combinarse con datos sobre exposición humana y problemas de salud, podrían usarse para prestar apoyo a asociaciones de salud y medio ambiente.

Por conducto de la CCA, los programas RETC de los tres países colaboran con regularidad en la integración y armonización de datos, a los que se puede acceder a través del sitio *En balance en línea*. Canadá, Estados Unidos y México se han comprometido también a emprender acciones para mejorar la integridad, calidad y comparabilidad de datos e información RETC, como se describe en el *Plan de acción para fomentar la comparabilidad de los registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) de América del Norte* (recuadro 2), de modo que los datos de emisiones y transferencias de contaminantes sirvan de apoyo a investigación, políticas e iniciativas que atiendan problemas e inquietudes relativos a los ecosistemas compartidos de la región.

### Recuadro 2. *Plan de acción para fomentar la comparabilidad de los RETC de América del Norte*

El *Plan de acción para fomentar la comparabilidad de los RETC de América del Norte* refleja la participación de los tres países a lo largo de las últimas dos décadas, según se ha manifestado en diversas resoluciones de Consejo.<sup>25</sup> Este plan de acción, actualizado y publicado en 2014, es fruto de la colaboración entre la CCA, los tres programas nacionales de registro de emisiones y transferencias de contaminantes y grupos interesados, tales como industria, organizaciones no gubernamentales (ONG), sector académico, ciudadanía y medios. Contiene diez recomendaciones y acciones relacionadas para incrementar el alcance, calidad, comparabilidad y comprensión de los datos de la región. A la fecha se han obtenido avances en diversas áreas; por ejemplo:

- Intercambio entre los programas RETC de información referente a la inclusión en listas de contaminantes o actividades industriales adicionales, y reducción de los umbrales de registro.
- Involucramiento de representantes del sector industrial, ONG y el sector académico en la revisión de información y datos para análisis especiales de *En balance* (pulpa y papel, minería, etc.), e identificación de problemas de calidad en los datos, lagunas y áreas de mejoramiento.
- Acciones en materia de calidad de datos, a fin de atender problemas específicos de las transferencias transfronterizas registradas por las plantas.
- Adición de información de contexto y herramientas a *En balance en línea* para facilitar la comprensión del usuario (por ejemplo, información basada en contaminantes, opción de búsqueda por cuenca hidrográfica y videos informativos).
- Reuniones para analizar el uso de datos e información RETC para hacer frente a problemas ambientales y apoyar actividades en el marco de la iniciativa RETC de América del Norte.

La disponibilidad de datos RETC completos, comparables y exactos en toda América del Norte redundará en múltiples beneficios, entre los que se incluyen: información confiable que industria, gobiernos y ciudadanos pueden utilizar como indicador para ayudar a mejorar los resultados ambientales y de salud humana, así como transparencia pública sobre el manejo y uso de contaminantes por las plantas industriales. De esta forma, los RETC contribuyen a fomentar la rendición de cuentas y prácticas de gestión ambiental sustentables en todas las escalas.

25. Véase: *Health and Environmental Data in the Great Lakes Basin - Integrating Data Collection and Analysis*, informe presentado a la Comisión Conjunta Internacional por el Consejo Consultivo de Profesionales en Salud, 25 de septiembre de 2013.

26. Véase el *Plan de acción*, en: <[www.ccc.org/enbalance](http://www.ccc.org/enbalance)>.

# El sector minero de América del Norte



## Introducción

Este primer capítulo del análisis especial sobre el sector minero de América del Norte muestra un panorama de la industria, incluida su presencia geográfica y económica, los procesos y tecnologías que emplea y los ordenamientos que rigen sus actividades, y tiene por objetivo servir de antecedente y de contexto para la interpretación de los datos —presentados en el capítulo 3— sobre las emisiones y transferencias de contaminantes de este sector para el año de registro 2013. Sin embargo, cabe mencionar que este análisis no se limita a las minas que estaban activas en 2013 y que el examen del contexto normativo, del procesamiento o beneficio de minerales, de las emisiones de contaminantes y de la sustentabilidad ambiental de la minería toma en consideración lo mismo prácticas pasadas que los avances más recientes.

Para los propósitos de este informe, las actividades que abarcan estos dos capítulos incluyen la extracción de metales, minerales no metálicos y carbón, pero no de petróleo y gas. “Minería” significa extracción de minerales, seguida muchas veces por procesos de trituración y separación para concentrar los minerales valiosos. Se incluyen minas subterráneas, minas a cielo abierto y canteras, así como actividades asociadas: almacenamiento y manejo de productos minerales; tratamiento de residuos; eliminación o disposición final de residuos en sitio; emisiones al suelo, agua y aire, y transferencias de residuos fuera de sitio para reciclaje, eliminación o tratamiento. La fundición (fusión de minerales para extraer los metales), otros procesos de refinación de metales y la industria metálica están fuera del alcance de este informe.<sup>27</sup> Las operaciones mineras normalmente abarcan todas las etapas del ciclo de vida de la mina, desde prospección y exploración hasta desmantelamiento, pero el tema de esta visión de conjunto son las minas en su etapa productiva.

### *El papel de la minería en las sociedades modernas*

Son pocos los aspectos de la vida moderna que no dependen de los metales y otros minerales. Caminos, construcciones, comunicaciones, suministro de agua, generación de energía, producción de alimentos y gran parte de la infraestructura que sostiene nuestras actividades culturales y recreativas dependen de las materias primas producidas por las minas (cuadro 8). Factores como crecimiento demográfico, desarrollo económico acelerado de algunas naciones —sobre todo China— y avances tecnológicos han contribuido al incremento en el consumo mundial de minerales en las últimas décadas. La demanda de minerales para la fertilización de cultivos, por ejemplo, crece a ritmo constante. Entre 30 y 50 por ciento de la producción agrícola mundial se debe a los fertilizantes, en cuya elaboración se emplean roca fosfórica y potasa como ingredientes principales. Se estima que el consumo de roca fosfórica en el mundo se incrementó 10% de 2013 a 2017 (Wellington y Mason, 2014). Las tecnologías modernas utilizan un abanico cada vez más diverso de minerales y como consecuencia la demanda de metales utilizados en productos electrónicos y de aleaciones especializadas en particular ha crecido con asombrosa rapidez (Graedel *et al.*, 2015).

Una forma de reducir la demanda de metales es aumentando el reciclaje, ya que de esta manera se conservan las reservas de metales, se atenúa el impacto de la minería y la fundición sobre el ambiente y son menos los residuos que llegan a los rellenos sanitarios. Se trata de una medida eficaz de mitigación del cambio climático, ya que si en todo el mundo se maximizara el reciclaje de metales, en especial de los de mayor uso —hierro, acero y aluminio—, las emisiones de gases de efecto invernadero de la industria metálica se podrían reducir entre 13 y hasta 23 por ciento, que corresponde a 1% de las emisiones de dichos gases en el mundo (Ciacci *et al.*, 2016). Éstos son algunos ejemplos de ahorros por unidad en materiales y energía (ISRI, 2015):

- El reciclaje de una tonelada de acero, en comparación con la producción de una tonelada del metal a partir de fuentes primarias, consume 56% menos energía y conserva 1.1 toneladas de mineral de hierro, 635 kg de carbón y 54 kg de piedra caliza.
- El reciclaje de una tonelada de aluminio consume 92% menos energía y conserva más de 4 toneladas de bauxita.

El reciclaje de metales comunes se practica desde hace mucho tiempo, con diferentes grados de éxito en el reciclaje dependiendo del elemento (véase la gráfica 7). Sin embargo, el grueso del reciclaje de estos metales industriales lo constituyen

27. Con excepción de los casos en que una instalación que opera también una fundidora registra tales actividades bajo un código SCIAN correspondiente al sector de la minería.



Cuadro 8. **Minerales seleccionados y ejemplos de su respectivo uso**

|   |  |
|---|--|
| <b>Aluminio</b>                               | Barcos, aviones, puertas, ventanas, techos, aislantes, envases, procesamiento de alimentos, utensilios domésticos, conductores eléctricos                        |
| <b>Arcilla</b>                                | Alfarería, tabiques, tejas y baldosas, cemento y concreto para la construcción de carreteras, cimientos para edificios y casas habitación                        |
| <b>Carbón</b>                                 | Fuente de energía para la producción de acero y generación de electricidad; agente reductor en la fundición de hierro para producir acero                        |
| <b>Cobre</b>                                  | Conductores eléctricos, motores, aparatos, tuberías, monedas, aleaciones metálicas   |
| <b>Oro</b>                                    | Joyería y artículos decorativos, computadoras y aparatos electrónicos, equipo médico e instrumentos científicos, monedas y lingotes                              |
| <b>Hierro</b>                                 | Acero, imanes, medicinas, investigación biomédica, pinturas, tintas de impresión, plásticos, cosméticos, colorantes  |
| <b>Molibdeno</b>                              | Acero inoxidable, hierro fundido, sustancias químicas, lubricantes, aleaciones   |
| <b>Roca fosfórica</b>                         | Fertilizantes, aditivos de alimento para ganado, sustancias químicas   |
| <b>Metales del grupo platino<sup>1</sup></b>  | Computadoras, automóviles híbridos, televisores de pantalla plana, dispositivos médicos, joyería   |
| <b>Elementos de tierras raras<sup>2</sup></b> | Computadoras, televisores, baterías recargables, industria de productos magnéticos, aplicaciones metalúrgicas, cerámica, iluminación, sistemas de comunicaciones |
| <b>Plata</b>                                  | Conductores eléctricos, joyería y artículos decorativos, industria química, usos dentales y médicos  |
| <b>Zinc</b>                                   | Revestimientos protectores para acero, aleaciones, medicinas, pinturas, cosméticos, productos farmacéuticos  |

1. Metales del grupo platino: seis metales, el platino incluido, con propiedades similares y tendencia a localizarse en el mismo yacimiento mineral.

2. Elementos de tierras raras: 17 metales con propiedades similares que muchas veces se los encuentra juntos en yacimientos minerales. Ejemplos: itrio, neodimio, europio, erbio y samario.

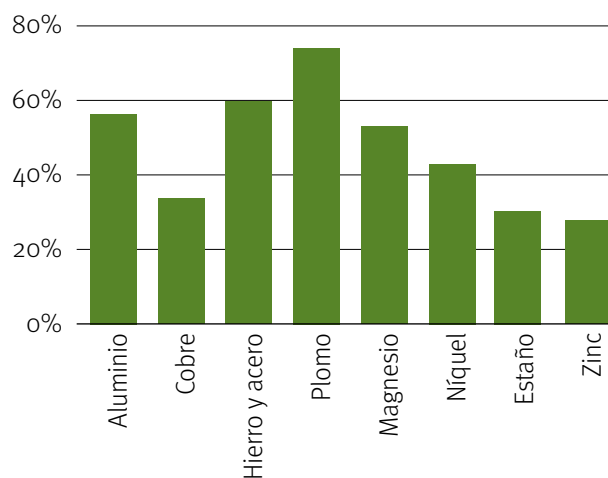
Fuente: Adaptado a partir de Mine-Engineer.com, 2016.

los desperdicios de las actividades productivas, y no la recuperación de metales de productos de posconsumo. Las tasas de reciclaje varían dependiendo de los tipos de metal y de productos, la tecnología y otros factores, como diferencias en la vida útil de los artículos. Una lata de aluminio, por ejemplo, llega al reciclaje poco después de su elaboración, mientras que un alambre de cobre puede seguir en uso durante décadas. Ni siquiera el reciclaje más eficiente puede proveer metal suficiente para satisfacer la demanda de algunos productos.

En las últimas dos a tres décadas se ha visto un aumento descomunal en la pérdida de metales debida a los desechos electrónicos (desechos-e), que se han convertido en la corriente de desechos de más rápido crecimiento del mundo, con una tasa de 4 a 5 por ciento anual (Williams, 2016, Baldé *et al.*, 2015), aunque sigue siendo una proporción relativamente pequeña entre los desechos metálicos en general. La generación de desechos-e per cápita para 2014 se estimó en 20 kg para Canadá, 22 kg para Estados Unidos y 8 kg para México (Baldé *et al.*, 2015).

La vida útil de computadoras, teléfonos celulares y otros productos de alta tecnología que incorporan metales preciosos y minerales raros es generalmente corta, y la tasa de reciclaje baja. Los métodos más empleados para disponer de los metales de mayor valor son la incineración, los rellenos sanitarios o el reciclaje informal (en países en desarrollo),

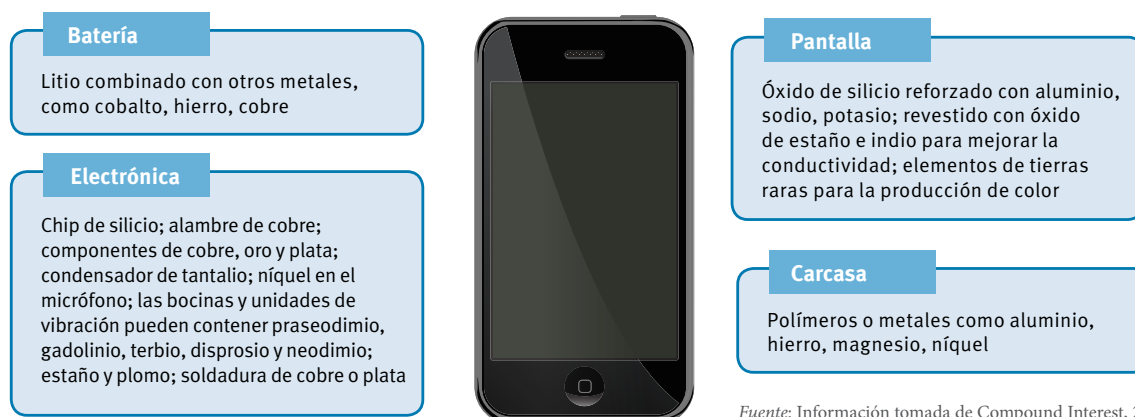
Gráfica 7. **Tasas de reciclaje de metales comunes en Estados Unidos (promedio 2010-2014)**



Nota: La tasa de reciclaje es la cantidad reciclada, en porcentaje, de la suma de producción de la mina, importaciones netas y cantidad reciclada.

Fuente: Datos del US Geological Survey (Papp, 2016).

Gráfica 8. Elementos de un teléfono inteligente



a menudo mediante procedimientos poco seguros y de efectos negativos para el medio ambiente (Izatt *et al.*, 2014). Un teléfono inteligente ordinario de reciente manufactura contiene hasta 62 metales diferentes (véase la gráfica 8) (Rohrig, 2015). La recuperación de pequeñas cantidades de muchos tipos de metales de cada unidad es una labor difícil y cara desde la perspectiva tecnológica. Para incrementar las tasas de reciclaje de productos de posconsumo se necesitan cambios en objetivos y prioridades sociales, sistemas más eficientes de recolección y reprocesamiento y, sobre todo en el caso de los desechos-e, tecnología mejorada de recuperación de metales (Izatt *et al.*, 2014).

A pesar de que la conservación de los metales mediante el reciclaje promete reducir la necesidad de nuevos metales, el uso tan difundido de los mismos y las necesidades cambiantes que acarrea la innovación tecnológica son clara señal de que seguirán buscándose nuevas reservas de minerales y abriéndose nuevas minas en América del Norte. La contaminación, el eje central de este informe, no es sino uno más de los problemas asociados a las minas, y no siempre el principal. La evaluación de las minas propuestas por lo general apunta a preocupaciones que van más allá de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente generados por la contaminación. El uso de tierras, así como de cuerpos y corrientes de agua, para la minería puede contraponerse a otros usos establecidos o afectar oportunidades de desarrollo a futuro. Los posibles beneficios para las comunidades son generación de empleos y crecimiento económico, pero los aspectos negativos pueden ser pérdidas económicas y daño para la salud y el bienestar de la comunidad. La minería puede tener efectos descomunales en las comunidades indígenas porque con frecuencia los depósitos minerales se ubican en sus tierras tradicionales. En términos más generales, esta industria afecta los medios de subsistencia y la calidad de vida de comunidades rurales por los cambios que provoca en el suelo, como deforestación o agotamiento de los recursos hídricos. Otros posibles efectos son pérdida o degradación del hábitat de los peces y la vida silvestre, alteración del paisaje o inestabilidad del terreno.

Las políticas y ordenamientos modernos en materia de minería, así como las normas e iniciativas de la industria, buscan tomar en cuenta los intereses de los habitantes locales y minimizar los posibles efectos negativos de la extracción. En este capítulo se resumen marcos normativos e iniciativas de sustentabilidad de los tres países, en particular en su relación con la contaminación.

## 2.1 Presencia geográfica y económica de la industria minera

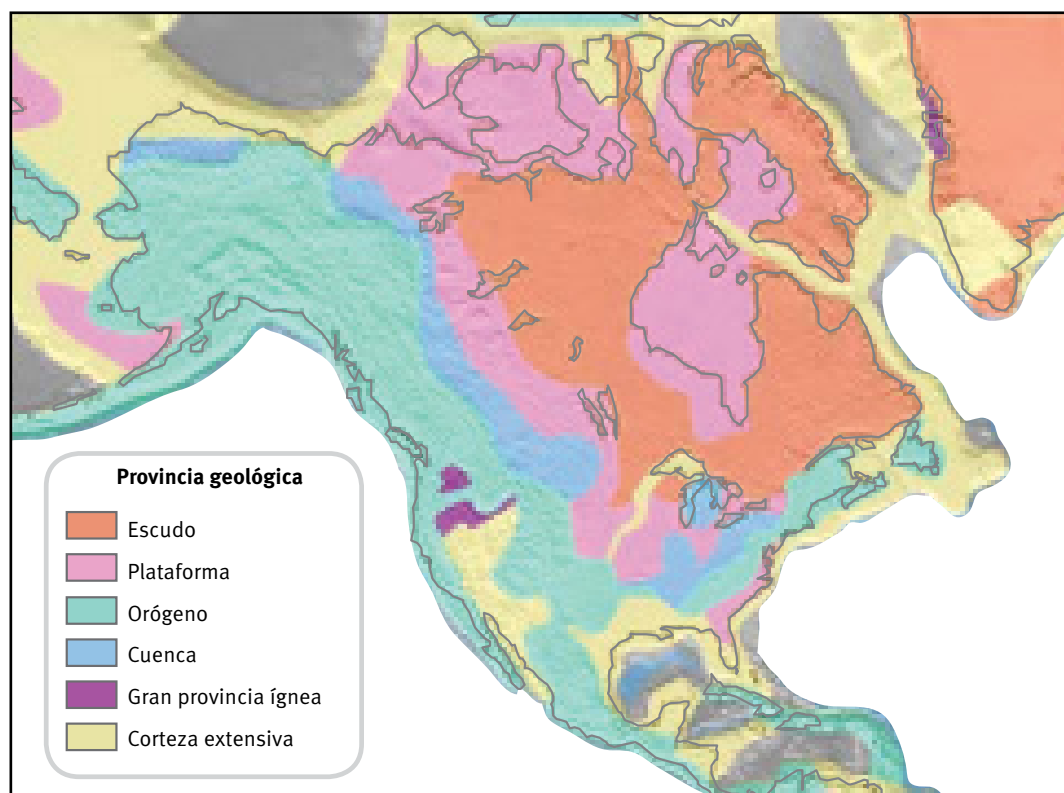
### 2.1.1 Panorama de los depósitos minerales de América del Norte

La distribución, tamaño y calidad de los depósitos minerales de América del Norte están relacionados directamente con las características geológicas de la región y los procesos geológicos que han estado ocurriendo a lo largo de millones de años. La historia del cratón de América del Norte (el núcleo geológico del subcontinente) es muy compleja; comienza con algunas de las rocas más antiguas del mundo y termina con rocas relativamente jóvenes que albergan

diversos tipos de depósitos minerales. La geología de América del Norte a escala subcontinental se puede resumir en amplias categorías (las que se muestran en el mapa de provincias geológicas, gráfica 9):

- **Escudo:** generalmente rocas graníticas de “basamento” que forman parte de los terrenos más antiguos de América del Norte.
- **Plataforma:** por lo general, parte del cratón estable de América del Norte, con una cubierta de rocas sedimentarias más jóvenes sobre las rocas de basamento.
- **Orógeno (cinturones orogénicos):** provincias geológicas que se han sometido a fuerzas tectónicas, incluida acreción (adición de parte de una placa tectónica a una placa más grande) y elevación, a causa de los movimientos de las placas de la corteza a lo largo de millones de años.
- **Cuenca:** rocas que han sido depositadas en un entorno de cuencas sedimentarias:
- **Gran provincia ígnea:** provincia geológica singular específica de Estados Unidos, con extensos depósitos de origen volcánico.
- **Corteza extensiva:** regiones en donde la corteza continental se ha extendido y adelgazado.

Gráfica 9. **Provincias geológicas de América del Norte**



Nota: El mapa muestra características de áreas con superficie aproximada de 150 km y más.

Fuente: US Geological Survey, 1997.

La mayor parte de los procesos geológicos se han repetido una, otra y otra vez, razón por la que rocas de diferentes edades y tipos pueden contener yacimientos minerales similares (Eckstrand *et al.*, 1996); esto dificulta la vinculación de provincias geológicas o áreas con una historia geológica común a tipos de depósitos o productos minerales específicos, ya que estos depósitos se formaron a lo largo de decenas de millones de años en diversos entornos geológicos. Sin embargo, la clasificación de los depósitos minerales resulta de gran utilidad e importancia para comprender la geología, geoquímica y propiedades metalúrgicas que afectan el tipo y la magnitud de los materiales de desecho y contaminantes potenciales que genera la explotación de estos depósitos.

**Los yacimientos minerales** son concentraciones naturales de uno o más minerales que surgen como consecuencia de varios procesos y condiciones geológicas que incluyen rangos específicos de temperatura y presión, condiciones estructurales que favorecen el flujo de fluidos y disponibilidad de fuentes de metales. Los **tipos de yacimiento mineral** comparten una serie de atributos geológicos y contienen un mineral particular o una combinación de ellos (Eckstrand *et al.*, 1996).

Son varios los sistemas de clasificación que se utilizan para describir los yacimientos minerales en América del Norte. El enfoque que aquí se sigue abarca las principales categorías de yacimientos minerales metálicos (Eckstrand *et al.*, 1996), cuyos tipos se agrupan en siete clases principales:

- Yacimientos de origen sedimentario (rocas encajantes sedimentarias)
- Yacimientos vulcanogénicos (rocas encajantes volcánicas)
- Yacimientos asociados a intrusiones félsicas e intermedias (rocas encajantes graníticas)
- Yacimientos asociados a intrusiones alcalinas (rocas encajantes graníticas)
- Yacimientos asociados a intrusiones y rocas volcánicas máficas y ultramáficas (rocas encajantes volcánicas)
- Vetas o yacimientos de reemplazo (rocas volcánicas, graníticas y metamórficas)
- Placeres (rocas sedimentarias y arena y grava no consolidada)

### Canadá

Canadá tiene más de 77 tipos de yacimientos minerales, de los cuales 21 son responsables de la formidable producción minera del país (Eckstrand *et al.*, 1996).

El escudo canadiense, que alberga algunas de las rocas más antiguas del mundo (que datan de la era precámbrica), se caracteriza por terreno ondulado que el último avance del hielo cubrió de glaciares en el norte y sur de Canadá. Este escudo, que cubre casi la mitad del territorio del país, tiene grandes yacimientos y depósitos minerales de metales comunes (cobre, plomo, zinc, níquel y cobalto), metales preciosos (oro y plata), uranio, mineral de hierro y tungsteno.

El escudo canadiense está rodeado por rocas sedimentarias que albergan grandes yacimientos de petróleo y gas, así como carbón, potasa, sal, yeso, piedra caliza y otros depósitos de minerales no metálicos.

Los cinturones orogénicos de Canadá son áreas sumamente favorables para la creación de depósitos minerales debido a la actividad tectónica y a la migración profunda de soluciones ricas en metales, así como a la prevalencia de actividad volcánica que también puede depositar metales en las más diversas rocas encajantes. Un ejemplo es la muy compleja cordillera canadiense al oeste y norte del país, que contiene diversos minerales metálicos como oro, cobre, hierro, plata, plomo, zinc, níquel, tungsteno y molibdeno, así como minerales industriales como arena y grava, barita y piedra caliza. Los depósitos de los montes Apalaches en el este de Canadá contienen minerales industriales como asbesto, fluorita, potasa, yeso y sal, al igual que minerales metálicos como cobre, zinc, plomo, hierro, oro y plata.

El escudo canadiense también alberga yacimientos de diamantes, sobre todo en los Territorios del Noroeste y Nunavut, que se formaron hace unos 50 millones de años por erupciones volcánicas que a través de chimeneas acercaban los diamantes (carbón puro en forma de cristales) a la superficie de la tierra dentro de una roca encajante llamada kimberlita.

Los placeres o depósitos aluviales son acumulaciones de minerales pesados como oro, estaño y platino que han sido extraídos del lecho de roca y concentrados mediante procesos de sedimentación en que participan gravedad, agua, viento o hielo de glaciares (McLeod y Morison, 1995). Estos depósitos se pueden encontrar en todo Canadá en varias provincias geológicas que albergan yacimientos de metales preciosos y oro. Los placeres auríferos económicamente viables se ubican en Columbia Británica y el territorio del Yukón.

## Estados Unidos

Estados Unidos tiene cientos de miles de depósitos minerales y más de mil se consideran significativos (Long *et al.*, 1998). No obstante, la mayor parte de los recursos minerales y de la producción minera proviene de unos cuantos yacimientos de gran tamaño (Zientek y Orris, 2005). Por ejemplo, Nevada es el principal productor de oro y tiene muchas minas activas a lo largo de una estructura conocida como “Carlin Trend”. Alaska es también un importante territorio minero, con varias minas de gran tamaño en operación, como la mina de oro Fort Knox cerca de Fairbanks y la Red Dog en el norte de Alaska, una de las minas productoras de plomo y zinc más grandes del mundo.

La mayor parte de la producción de carbón de Estados Unidos proviene de las regiones este y central. En la parte occidental del territorio se producen minerales metálicos como oro, plata, cobre, plomo y zinc, mientras que los yacimientos de minerales no metálicos y carbón son más comunes en las regiones central y oriental.

Los cinturones orogénicos de Alaska que se forman por la actividad tectónica y volcánica contienen diversos depósitos minerales. La geología de este estado es en gran parte una extensión de terrenos acrecidos a partir de la cordillera canadiense, así como rocas de plataforma estables del cratón que alojan depósitos de minerales metálicos como oro, plata, cobre, plomo y zinc. Entre los minerales no metálicos que aquí se pueden encontrar están arena y grava y carbón. La extracción de oro y estaño de placeres se realiza tanto mar adentro cerca de Nome, Alaska, como en el centro del estado cerca de Fairbanks.

**Terrenos acrecidos:** Terrenos (áreas con estructura e historia geográfica distintiva) que se han separado de una placa tectónica y unido a otra como resultado de procesos tectónicos.

Hawaii es una cadena de volcanes activos e inactivos y la única actividad extractiva que se realiza en este lugar es de minerales industriales como arena y grava.

## México

México, con su entorno geológico tan amplio y diverso, aloja diversos productos básicos como plata, bismuto, celestina, fluorita, cadmio, arsénico, oro, cobre, zinc, plomo, molibdeno, manganeso, carbón, sal, azufre y hierro (Camprubí, 2009). El país es muy complejo en términos geológicos, con yacimientos minerales estrechamente ligados a la actividad tectónica en los cinturones orogénicos de la costa del Pacífico y a procesos geoquímicos y migración de fluidos ricos en minerales en las cuencas sedimentarias del centro de México (Camprubí, 2009; Clark y Fitch, 2009). A lo largo de la costa occidental del país es posible observar terrenos acrecidos que son prolongaciones de terrenos similares de Estados Unidos y Canadá.

A continuación se presentan las principales “provincias metalogénicas” de México, con base en el sistema de clasificación de Camprubí (2009). La información sintética correspondiente se tomó de Camprubí (2009) y de Campa y Coney (1983). La gráfica 10 muestra la distribución simplificada de los principales productos minerales de todo México.

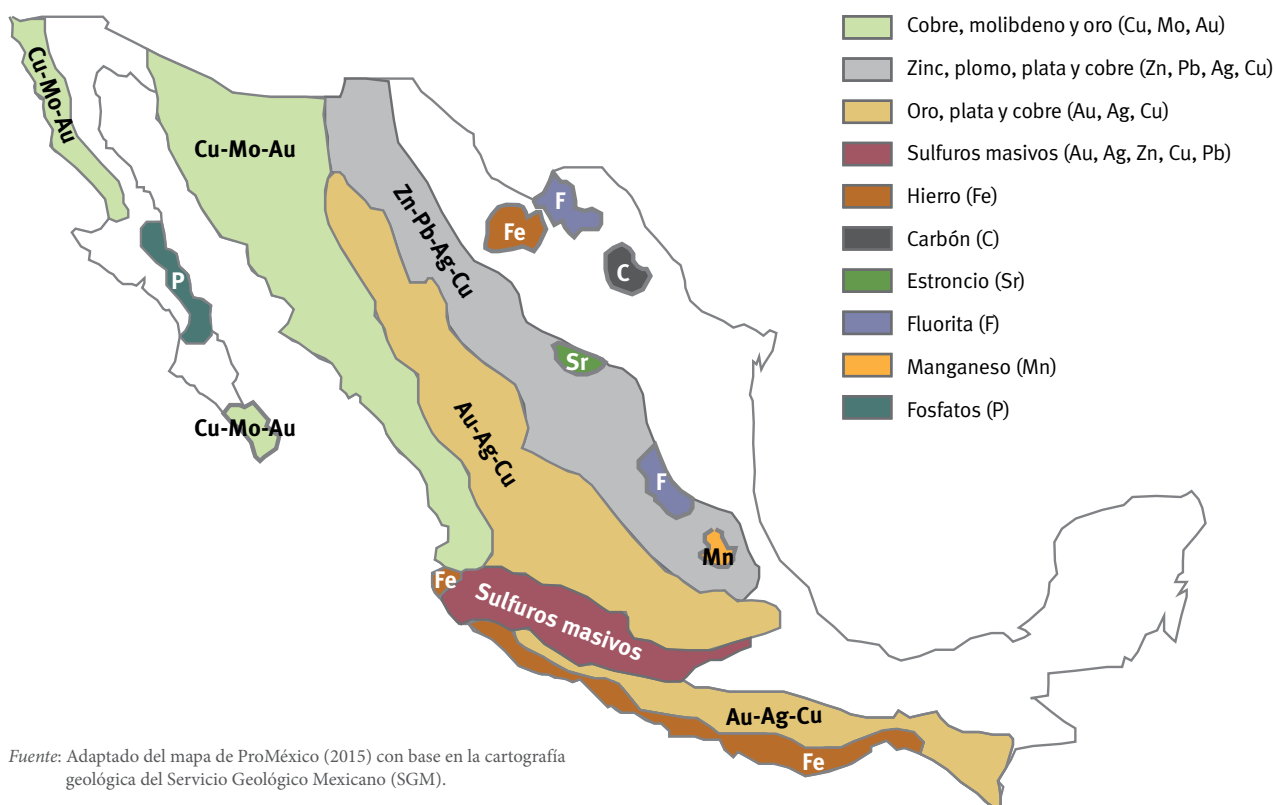
La provincia del **margen del Pacífico** incluye la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre del Sur y en ella se encuentran tipos de yacimientos minerales como los siguientes:

- depósitos epitermales polimetálicos o argentoauríferos generalmente encajonados en emplazamientos geológicos ligados a aguas termales relativamente poco profundas;
- depósitos metalíferos de tipo pórfido cuprífero, molibdenífero, aurífero, tungstenífero;
- depósitos de reemplazo de tipo *skarn* de minerales como oro, plata, plomo y zinc;
- depósitos vulcanogénicos de sulfuros masivos ligados a ventilas hidrotermales en emplazamientos marinos que contienen diversos minerales como oro, plata, barita y hierro;
- otros depósitos graníticos de estaño, plata, oro y otros minerales, y
- otros emplazamientos asociados al vulcanismo con vetas de uranio y oro.

La provincia del **Golfo de California** incluye en la parte meridional del península de Baja California depósitos sedimentarios ricos en fósforo que se formaron en un entorno submarino de baja profundidad, vetas de manganeso y depósitos poli-metálicos formados a partir de respiraderos hidrotermales, en tanto que en la parte septentrional hay depósitos epitermales.

La provincia de la **megacuena del Golfo de México** alberga yacimientos de hidrocarburos gaseosos y depósitos de diversos minerales, como depósitos sedimentarios de hierro y de azufre y del tipo *skarn*. En la Sierra Madre Oriental se encuentra el depósito de manganeso más grande de América del Norte, en tanto que en la región central los depósitos son de fluorita, celestina y estroncianita.

Gráfica 10. **Distribución simplificada de los principales depósitos minerales de México**



Fuente: Adaptado del mapa de ProMéxico (2015) con base en la cartografía geológica del Servicio Geológico Mexicano (SGM).

### 2.1.2 Aspectos económicos de la industria minera

La economía del sector minero es una mezcla de factores interrelacionados, como reservas minerales (cantidad y grado o ley), precios de los productos, mecanismos de financiamiento, programas de exploración e inversión de capital. Los precios de los productos y la confianza generalizada de los inversionistas influyen en la salud económica de esta industria. Además, la inversión gubernamental en programas geocientíficos en apoyo de la exploración mineral y el marco normativo para la aprobación de proyectos pueden afectar el financiamiento y las propuestas de desarrollo de minas a largo plazo.

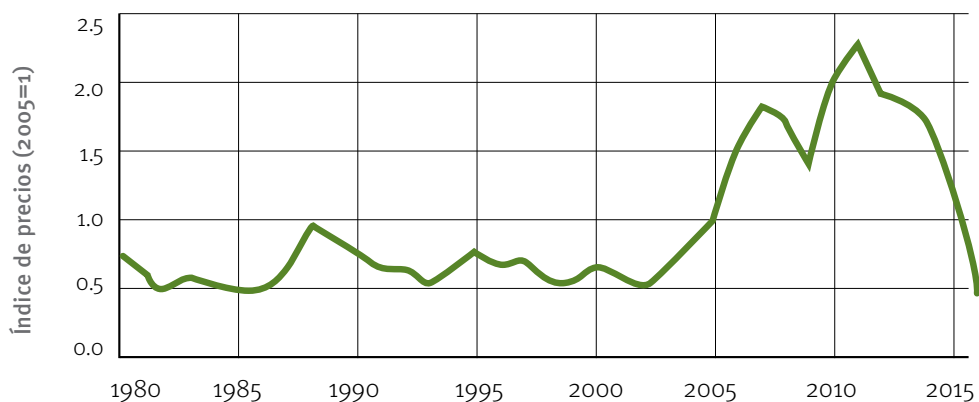
**Recurso mineral:** Concentración o presencia de uno o más minerales de interés económico con posibilidades razonables de extracción económicamente viable.

**Reserva mineral:** La parte económicamente explotable de un recurso mineral, definida mediante estudios. Las reservas minerales se clasifican en probables o probadas.

(Adaptado de: CIM Council, 2014)

Los precios de los productos resienten los efectos de los sucesos económicos mundiales y pueden fluctuar incluso a diario. La tendencia a largo plazo del índice de precios de los metales del Fondo Monetario Internacional indica que los precios son cíclicos, es decir, se repiten cada cierto número de años y que, en fechas más recientes, están sujetos a tendencias a más largo plazo. Esto lo demuestra el marcado incremento en los precios de los productos que se observó a principios de la década de 2000 y que se frenó de manera drástica a raíz de la aguda caída provocada por la crisis financiera de 2008, al que siguió una sólida recuperación y después una caída constante a partir de 2011 (véase la gráfica 11). En promedio, los precios de los metales descendieron casi 60% en el periodo de 2011 a 2015 (FMI, 2016b) y continuaron su espiral descendente hasta 2016. Los precios de los principales minerales industriales (productos no metálicos, como arena y grava) acusan más la influencia de la oferta y la demanda regional y las tendencias presentan grandes variaciones por producto (Kogel *et al.*, 2006). Muchos minerales no metálicos no observan el mismo descenso marcado que se ha visto en los metales en los últimos años (Marshall, 2015).

Gráfica 11. Índice mundial de precios de los metales, 1980 a 2016



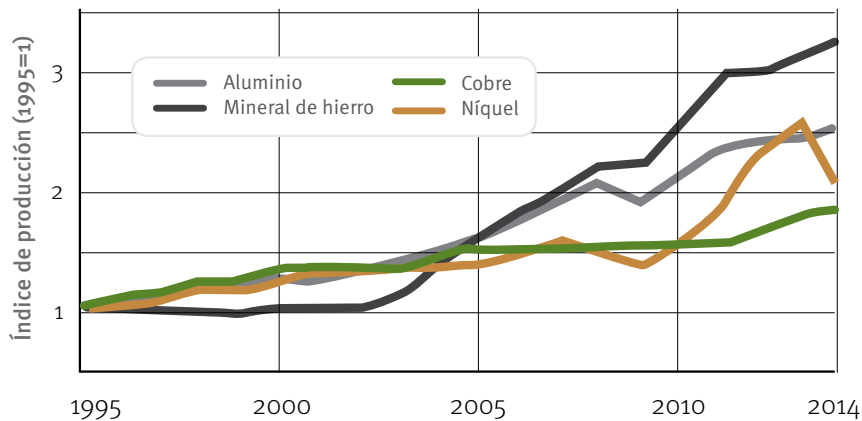
*Nota:* El índice se basa en datos de los precios internacionales de cobre, aluminio, mineral de hierro, estaño, níquel, zinc, plomo y uranio. Sólo se incluyen los primeros cinco meses de 2016.

*Fuente:* Datos tomados del Fondo Monetario Internacional (FMI, 2016a).

Los precios de los metales reciclados también se sujetan a fuerzas de mercado mundiales, y las tendencias en los precios internacionales de los metales influyen en la fortaleza de la industria del reciclaje. En 2015, el índice utilizado por el Instituto de Industrias de Reciclaje de Chatarra (*Institute of Scrap Recycling Industries*) de Estados Unidos para rastrear los precios de los desechos metálicos alcanzó su punto más bajo desde la recesión de 2008 (ISRI, 2016).

China es el importador de metales más grande del mundo, lo que le permite ejercer una influencia dominante en los mercados de estos productos. La economía de este país creció a un ritmo acelerado en toda la década de 2000 hasta 2011 y su consumo de metales comunes (metales abundantes de valor relativamente bajo, como cobre, plomo y zinc) pasó de entre 10 y 20 por ciento del consumo mundial a principios de la década de 2000 a más de 50% en 2015 (FMI, 2015). Este crecimiento impulsó la inversión en minería y la producción minera y generó un aumento constante en los precios de los metales. Sin embargo, la desaceleración del crecimiento económico de China a partir de 2011 ha sido y sigue siendo un factor decisivo en las tendencias de inversión en la industria extractiva de América del Norte: el descenso observado en la demanda de metales ha llevado a que cada vez se invierta menos en desarrollo minero debido a bajos precios de los productos, costos de capital elevados para nuevos desarrollos y falta de confianza generalizada de los inversionistas. Paradójicamente, al mismo tiempo se ha incrementado la oferta de metales (véase la gráfica 12) y han aumentado las reservas mundiales de muchos productos. Al interior de los países, las fluctuaciones cambiarias también afectan los precios de los minerales.

Gráfica 12. Producción mundial de aluminio, cobre, mineral de hierro y níquel, 1995-2014

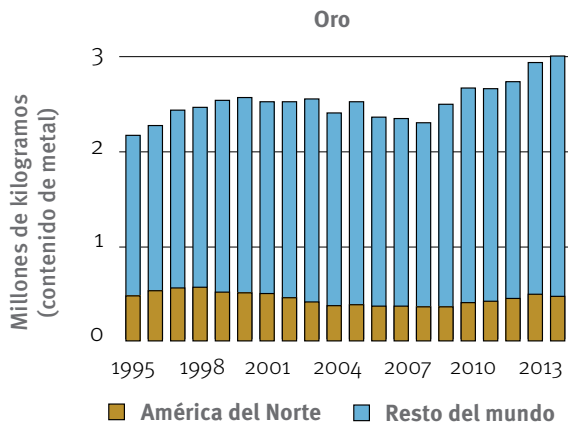
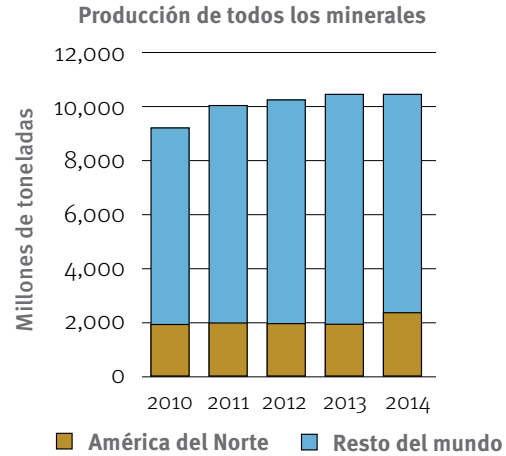
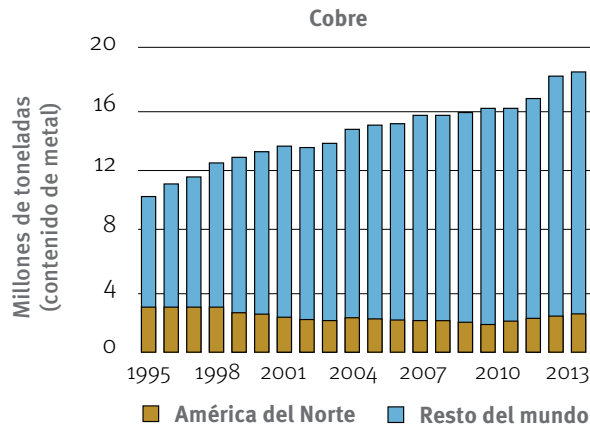


*Nota:* Los registros de la producción de mineral de hierro en China son poco precisos, de ahí que el grado de incertidumbre de las estadísticas de producción mundial de este producto sea más alto que para otros productos.  
*Fuente:* Arezki y Matsumoto, 2015.

En la gráfica 13 se aprecia la participación de América del Norte en la producción mundial de todos los minerales y de productos minerales seleccionados. Las tendencias para el cobre y el oro a partir de 1995 indican que la producción de América del Norte de estos dos minerales ha fluctuado menos que la mundial.



Gráfica 13. Producción de minerales de América del Norte respecto de la producción mundial

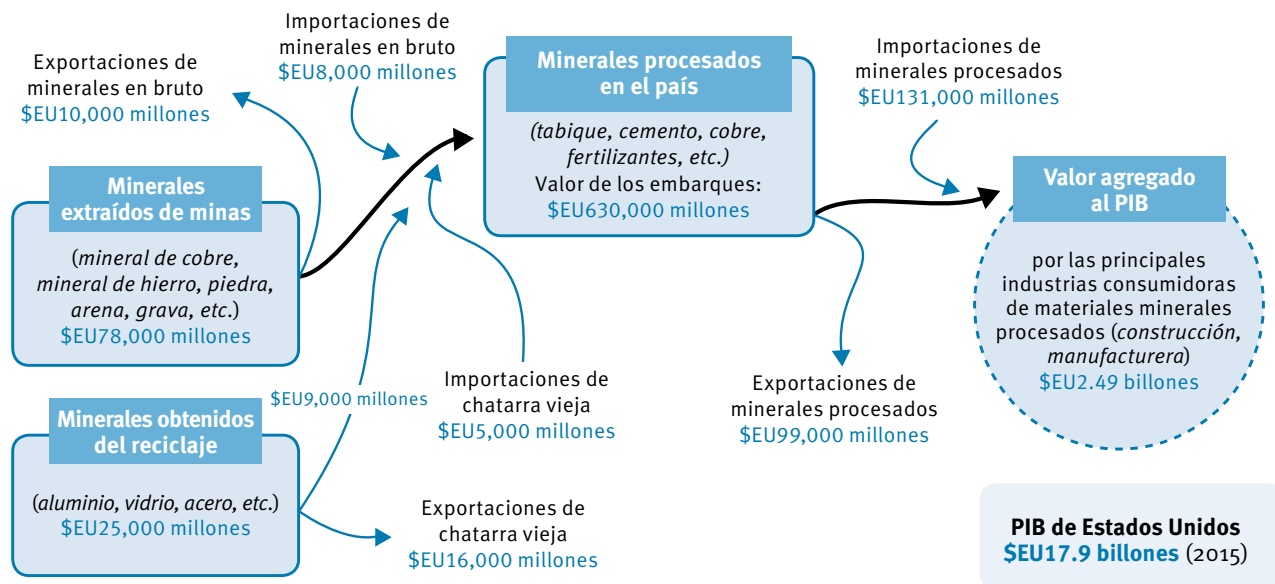


| Participación de América del Norte en la producción mundial de productos seleccionados (2014) |     |
|---|-----|
| Carbón  | 13% |
| Cobre   | 14% |
| Oro   | 16% |
| Mineral de hierro   | 4%  |
| Plomo   | 11% |
| Molibdeno   | 32% |
| Níquel  | 12% |
| Potasa  | 30% |
| Sal   | 25% |
| Plata   | 27% |
| Uranio  | 19% |
| Zinc  | 13% |

Fuentes: Datos estadísticos sobre minerales del Centro para el Aprovechamiento Mineral Sustentable del Servicio Geológico Británico (Minerals UK, 2016), y Reichl *et al.*, 2016.

La minería contribuye a las economías nacional y regional de manera no sólo directa sino también indirecta al apoyar a empresas proveedoras de bienes y servicios a la industria (Marshall, 2015). Los minerales son insumos principales de las industrias de la construcción y manufacturera, por lo que su producción, reciclaje y procesamiento se entrelazan con muchos aspectos de la economía de los países, como importaciones y exportaciones de minerales en bruto, procesados y de desecho (USGS, 2016) (véase la gráfica 14).

Gráfica 14. **Papel de los minerales en la economía de Estados Unidos (2015)**



*Nota:* El carbón no está incluido. La mayor parte de los “minerales obtenidos del reciclaje” son desechos de la industria metálica.

*Fuente:* Con base en valores estimados de 2015 del US Geological Survey y el Departamento de Comercio de Estados Unidos (US Department of Commerce). Adaptado de USGS, 2016.

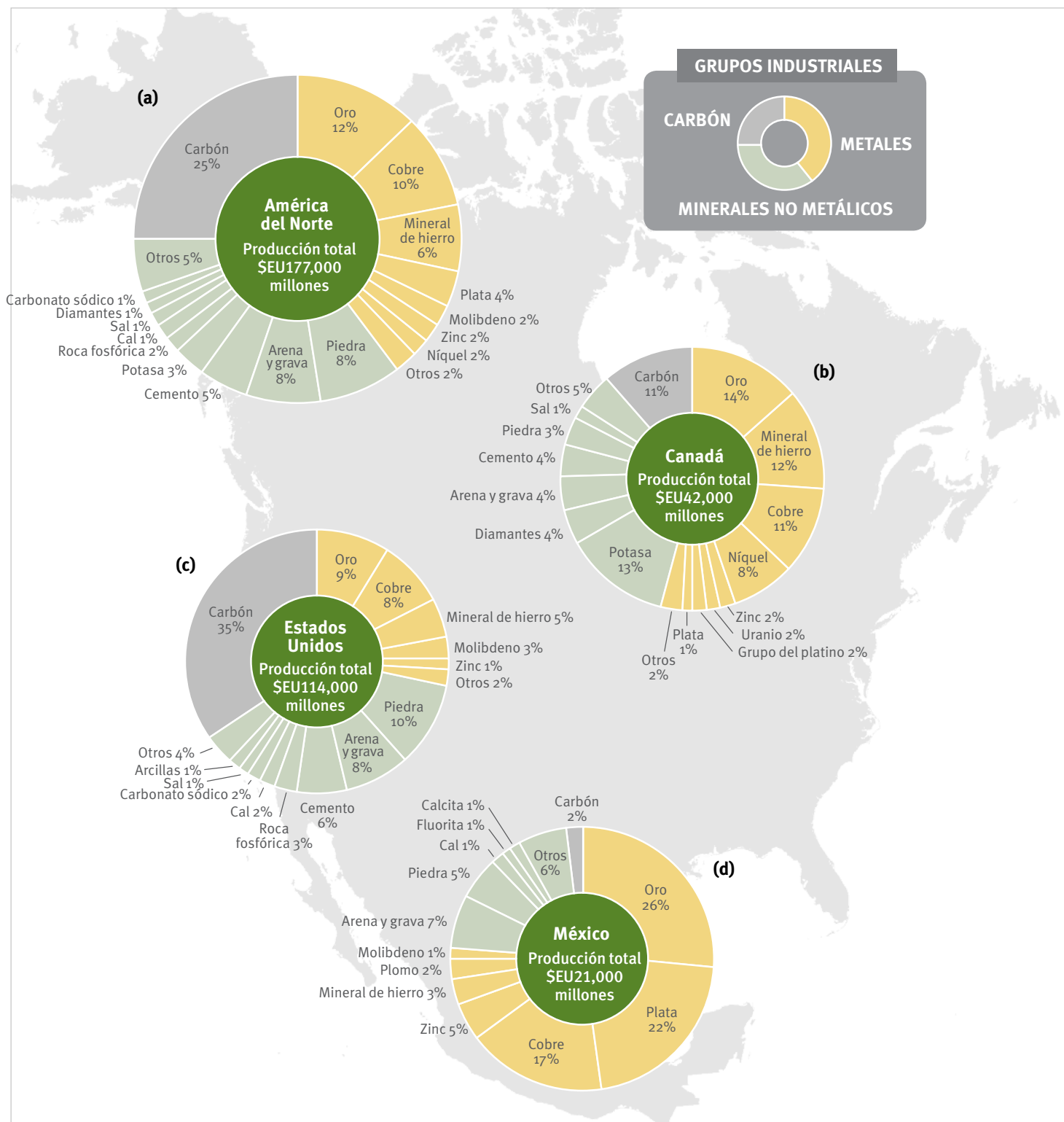
Este panorama de la contribución económica de la industria minera está incompleto porque no incluye costos y responsabilidades ambientales y socioeconómicas, que pueden extenderse por varios años. A algunos costos se les pueden asignar cifras en dólares a lo largo de periodos específicos, por ejemplo los costos asociados a la rehabilitación de minas abandonadas en Canadá (Story y Yalkin, 2014), pero otros costos económicos son más difíciles de determinar, como la pérdida de oportunidades recreativas en caso de desarrollo de una mina nueva, o los costos constantes de la degradación del agua en áreas con contaminación crónica causada por operaciones mineras del pasado. Los efectos en la salud y el bienestar de los habitantes de áreas afectadas pueden tener implicaciones económicas graves e imprecisas; por ejemplo, en el abasto de agua de uso doméstico, el cuidado de la salud y la seguridad alimentaria. Los costos pueden ser indirectos y a largo plazo, lo que muchas veces afecta el posible desarrollo económico futuro de la región (Eamer *et al.*, 2015; Tetreault, 2015; Damigos, 2006). Al evaluar estos costos y responsabilidades y analizar responsabilidades y soluciones es importante distinguir entre los costos sociales asociados a minas activas a la fecha y hasta hace poco, y los costos asociados al legado de actividades mineras realizadas en el pasado en condiciones muy diferentes, en términos tanto de métodos extractivos como de normatividad.

### 2.1.3 Panorama económico por país

#### *Panorama subcontinental*

La producción de minerales se presenta en la gráfica 15 como productos individuales, con cifras y valores en dólares basados en el contenido de cada elemento químico (como el oro) o producto mineral comercial (como la grava). Sin embargo, estos insumos son producidos por minas en diversas combinaciones y en diversas formas químicas. La mayor parte de los metales se encuentran en la naturaleza en varios compuestos químicos, muchos en combinación con oxígeno (como óxidos) o con azufre (como sulfuros). Los depósitos minerales con frecuencia contienen más de un metal en concentraciones económicamente viables. Por ejemplo, las minas de zinc la mayoría de las veces también producen plomo, y algunas producen además cobre, plata, níquel u otros metales.

Gráfica 15. Valor de la producción minera de América del Norte y de cada país (2013)



Notas: Sólo se muestran productos que comprenden por lo menos 1% de la producción subcontinental o nacional de minerales. Los numerosos minerales adicionales extraídos se agrupan como "otros". La roca triturada se incluye en "piedra". El cemento no se registra como producto separado en México.

Las divisas se uniformaron al dólar estadounidense de 2013.

Fuentes: Datos del gobierno de Canadá (NRCan, 2016b), el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2014) y el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2014).

Oro, cobre y mineral de hierro fueron los metales de mayor importancia en términos económicos producidos en América del Norte en 2013 (gráfica 15a). Piedra, arena y grava y cemento fueron los minerales no metálicos (industriales) más importantes y el carbón representó la cuarta parte del valor de toda la producción de minerales. La posición dominante del carbón se debió en primer lugar a su relevancia en la minería estadounidense (gráfica 15c), aunque también representó 11% de la producción minera canadiense (gráfica 15b). Los minerales industriales empleados sobre todo en la construcción, incluida la edificación y mantenimiento de infraestructura, conformaron casi la cuarta parte de la producción de Estados Unidos, pero sólo alrededor de la octava parte de la producción de Canadá y de México.

Los metales, en especial oro, plata y cobre, dominaron la producción de minerales en México (gráfica 15d). La plata, que representó 1% o menos de la producción canadiense y estadounidense, en México ocupó el segundo lugar detrás del oro en términos de valor total. Los metales dieron cuenta de más de la mitad del valor de la producción minera de Canadá, pero con una industria más diversa: ocho metales constituyeron cada uno de 1 a 14 por ciento de la producción (gráfica 15b), y otros 14, incluidos cobalto, molibdeno, plomo y tungsteno, conformaron el resto de la producción para 2013 (NRCan, 2016b). Dos minerales no metálicos, muy diferentes uno de otro —potasa y diamantes—, constituyeron porcentajes significativos de la producción minera de Canadá, pero no de México ni Estados Unidos (gráficas 15b, c, d).

Lo que no muestra la gráfica 15 es la extensa gama de metales y minerales no metálicos producidos por los tres países. A manera de ejemplo, los 31 productos agrupados como “otros” en el grupo industrial de minerales no metálicos de México, y que representan 6% de la producción total, incluyen fluorita, sal, roca fosfórica, sulfato de sodio, caolín, bentonita, diatomita, magnesita, wollastonita, celestita, grafito, perlita y vermiculita (SGM, 2014). Algunos de estos productos, aunque representan un bajo porcentaje de la producción minera total de México, son exportaciones importantes.

Algunos metales que son componentes esenciales de la electrónica se extraen en América del Norte, en particular metales del grupo del platino, que se minaron en Canadá en 2013 (representando 2% del valor total de la producción minera) y, en menores cantidades, en Estados Unidos. La producción de metales de las tierras raras fue muy baja; sólo una mina en Estados Unidos produjo un metal de esta categoría y la mayor parte de ellos se extraen en China.

## Canadá

**Panorama económico.** En 2014, la minería generó 1.5% del PIB de Canadá. Si se agregan las actividades relacionadas del procesamiento de minerales y la industria metálica, la contribución de ese año aumenta a 3.5 por ciento. El número de establecimientos relacionados con la extracción de metales que estuvieron en operación en 2014 fue de 77, más 1,132 establecimientos de minerales no metálicos que en su mayoría fueron canteras de arena, grava y piedra. La extracción de minerales dio empleo a 63,590 personas, más otras 312,410 que laboraron en actividades de procesamiento de minerales y en la industria metálica (Marshall, 2015).

**Comercio.** El valor de las exportaciones de productos minerales en bruto producidos en el país (incluido carbón) fue de \$C26,100 millones en 2015, mientras que el de las importaciones fue de \$C7,900 millones. Al sumar materiales minerales beneficiados y productos metálicos, las exportaciones totales de ese año alcanzaron \$C96,200 millones y superaron las importaciones en \$C16,200 millones. Los principales socios comerciales de Canadá para estos productos de la minería son Estados Unidos y la Unión Europea, que dieron cuenta de 56 y 20 por ciento del valor de las exportaciones de 2015, respectivamente (NRCan, 2016d). Los materiales y productos minerales, junto con los productos metálicos, representaron 18% del valor total de las exportaciones canadienses en 2015 (Statistics Canada, 2016a).

**Productos de importancia mundial.** Canadá es el líder mundial en producción de potasa y está entre los cinco principales productores de 13 productos más: uranio, niobio, cobalto, aluminio, tungsteno, metales del grupo del platino, níquel, sal, azufre, titanio, diamantes, cadmio y oro (con base en datos de 2014; Marshall, 2015).

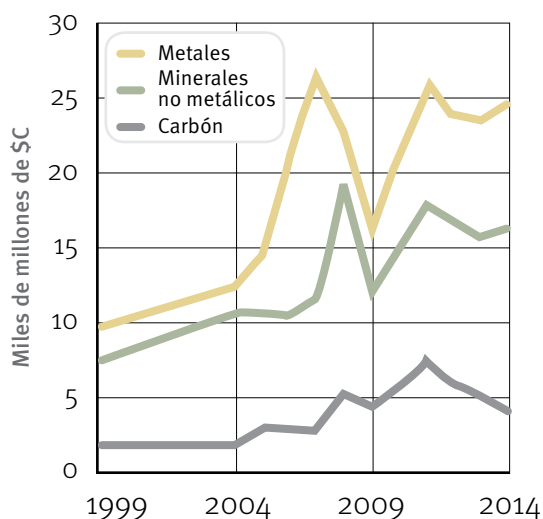
**Tendencias de inversión.** Las reservas probadas y probables de la mayoría de los metales comunes han descendido en los últimos 30 años, mientras que las de oro, plata y cobre han observado fluctuaciones debidas en parte a la explotación alentada por los altos precios. Canadá es uno de los principales destinos de la inversión extranjera (de países como China y de naciones europeas) para exploración, pero a partir de 2013 se ha reducido tanto el valor en dólares

de las inversiones como la participación del país en inversiones para la exploración de minerales a escala mundial. En 2015, la inversión extranjera directa en la industria minera fue de \$C10,400 millones, 50% menos que el año anterior (Statistics Canada, 2016b).

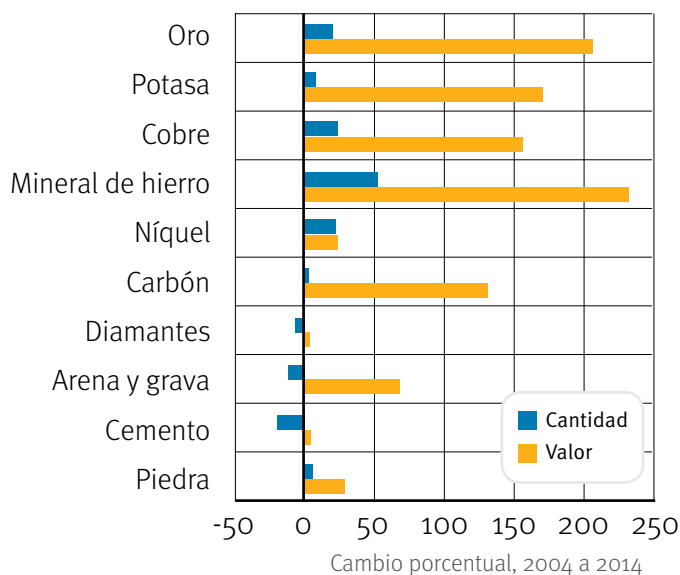
En 2014, un total de 1,573 compañías con sede en Canadá poseía activos mineros (NRCan, 2016c). Muchas de ellas eran pequeñas empresas dedicadas a exploración y desarrollo; relativamente pocas eran minas en producción: sólo 10% tuvieron ingresos de operación ese año; la mitad tenía inversiones fuera de Canadá y, de éstas, 37% tenía activos mineros en por lo menos dos países (NRCan, 2016c). Las empresas canadienses de extracción y exploración representaron 30% de la inversión mundial de 2014 en exploración de metales (sin contar el hierro), y la inversión directa anual de Canadá en la minería en el extranjero promedió \$C69,500 millones de 2012 a 2015 (Marshall, 2015).

**Tendencias en la producción.** Las tendencias en el valor anual de la producción de los tres grupos industriales (gráfica 16) muestran la influencia de los precios de los productos (gráfica 11). La producción de la mayor parte de los metales básicos se incrementó de 2004 a 2014, pero el incremento fue mucho menor en comparación con el aumento de valor (gráfica 17). La producción de carbón y de los principales minerales no metálicos disminuyó o cambió poco a lo largo de este periodo. Los incrementos en el valor de estos minerales reflejan las tendencias en los precios, pero no en la producción.

Gráfica 16. **Tendencia en el valor anual de la producción de minerales en Canadá, 1999-2014**



Gráfica 17. **Cambio porcentual de 2004 a 2014 en la cantidad y el valor de producción de los 10 principales productos minerales de Canadá**



Fuentes: Con base en datos del gobierno canadiense reunidos en Marshall, 2015.

### Estados Unidos

**Panorama económico.** El papel de la minería y los minerales en la economía estadounidense, desde la extracción hasta el uso industrial, se resume en la gráfica 14. El valor agregado por la industria extractiva al PIB estadounidense, que va de 0.3 a 0.5 por ciento, ha ido en ascenso desde mediados de la década de 2000 a pesar del descenso en la producción de la mayoría de los principales productos minerales. La industria dio empleo a 199,000 personas en promedio durante 2015 (BLS, 2016). Las cifras de empleo fluctúan, pero en general han ido disminuyendo desde principios de la década de 2000, en especial en la industria de extracción de carbón, debido al incremento en la mecanización aunado al decremento en la producción.

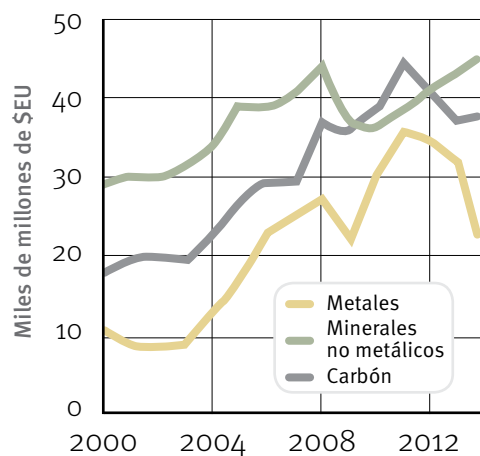
**Comercio.** En 2015, Estados Unidos importó más de la mitad de los productos minerales brutos consumidos y fue exportador neto de 19 productos minerales (sin contar el carbón). En general, el valor del comercio de minerales no combustibles en sus exportaciones netas fue relativamente pequeño: \$EU3,000 millones por ese año (USGS, 2016).

**Productos de importancia mundial.** En 2013, Estados Unidos estuvo entre los cinco principales países productores de varios metales, como oro, molibdeno, plomo, cobre y zinc. En cuanto a la producción de carbón, se colocó entre los tres principales países por todos los tipos de carbón. También fue uno de los tres principales productores de varios minerales no metálicos, como roca fosfórica, sal, azufre, caolín, boro, bentonita y yeso (Reichl *et al.*, 2016).

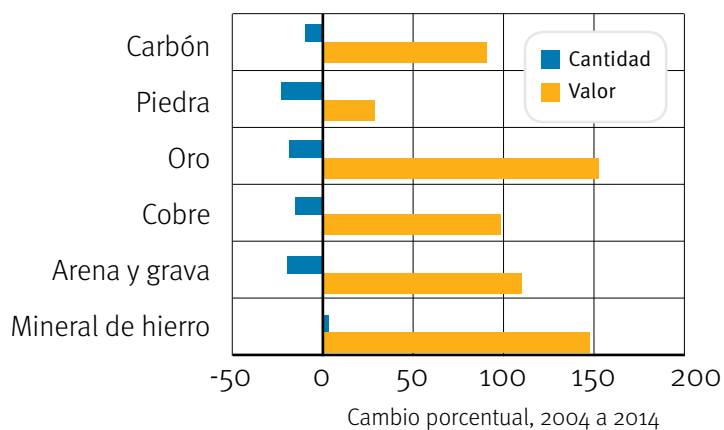
**Tendencias en las inversiones.** En 2012, más de 14,000 operaciones extrajeron carbón, metales y minerales no metálicos en Estados Unidos (NMA, 2014). La inversión anual en extracción y exploración (incluidos carbón y gas natural, ya que los datos están combinados en las estadísticas de inversión) osciló de más de \$EU60,000 millones a más de \$EU120,000 millones de 1999 a 2015, con un descenso de 35% de 2014 a 2015, provocado por precios más bajos de los productos (US EIA, 2016b). La inversión extranjera directa acumulada en el sector extractivo de Estados Unidos (sin incluir petróleo y gas) fue de \$EU105,000 millones en 2015, casi el mismo valor que en 2010 (OFII, 2016), lo que contrasta con el incremento en la inversión extranjera directa acumulada en la mayoría de los sectores estadounidenses durante el mismo periodo.

**Tendencias en la producción.** El valor de producción de los tres grupos industriales creció en forma constante a partir de principios de la década de 2000, pero los grupos muestran tendencias divergentes en años más recientes (véase la gráfica 18). En contraste con Canadá y México, la producción minera de Estados Unidos se redujo para la mayoría de los productos entre 2004 y 2014, con excepción de la producción de mineral de hierro, que no presentó cambios significativos (gráfica 19).

Gráfica 18. **Tendencia en el valor anual de la producción de minerales en Estados Unidos, 2000-2014**



Gráfica 19. **Cambio porcentual de 2004 a 2014 en la cantidad y el valor de producción de seis productos minerales principales de Estados Unidos**



Fuentes: Datos tomados de *Mineral commodity summaries* del US Geological Survey (USGS, 2016, 2014, 2005 y 2008a); Kelly y Matos, 2016, y la Administración sobre Información de la Energía (*Energy Information Administration*) de Estados Unidos (US EIA, 2016a).

## México

**Panorama económico.** El sector minero (incluidas las actividades de procesamiento de minerales) representó 5.5% del PIB en 2015 y dio empleo a cerca de 345,000 personas (ProMéxico, 2016). Los metales preciosos conforman el porcentaje más grande de la industria, en términos de valor, pero se produce una extensa variedad de productos. Estas cifras oficiales no incluyen la minería no regulada que forma parte de la economía informal, en particular la minería artesanal y a pequeña escala de oro y mercurio (véase el apartado sobre tipos de minería, *infra*).

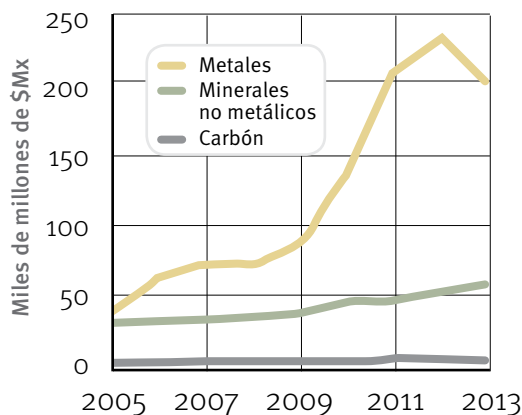
**Comercio.** Las exportaciones de minerales (principalmente metales) son una fuente importante de divisas para México. El superávit comercial de 2013 fue de \$EU10,350 millones y los principales destinos de las exportaciones fueron Estados Unidos, Canadá y España (Pérez, 2016).

**Productos de importancia mundial.** México ocupa el primer lugar en producción de plata, con 19% de la producción mundial de este metal en 2013. También está entre los cinco principales productores de fluorita, bismuto, wollastonita, cadmio, plomo y molibdeno (Pérez, 2016).

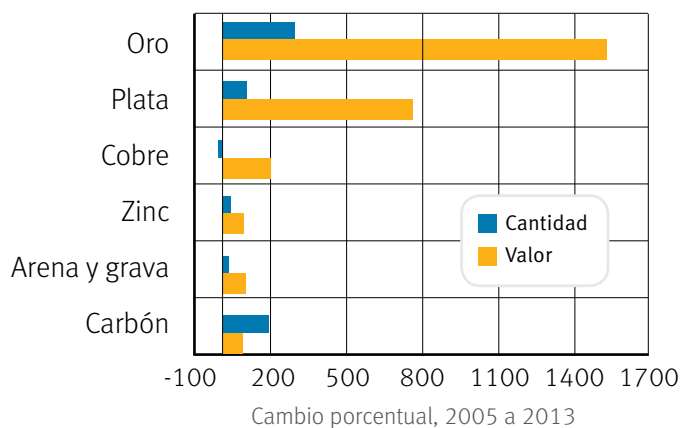
**Inversión.** Un reducido número de compañías nacionales de gran tamaño genera 60% de la producción de minerales, pero la inversión extranjera es importante para el 40% restante de la producción (Brasdefer *et al.*, 2016). En 2015, en México operaban con capital extranjero 267 compañías mineras (ProMéxico, 2016). De éstas, 65% tienen su sede en Canadá, 16% en Estados Unidos y 5% en China. Más de la tercera parte de los proyectos emprendidos con capital extranjero estaban en la etapa de exploración en 2015. La mayoría (64%) de los proyectos con capital extranjero son prospectos de oro y plata (ProMéxico, 2016). México, al igual que otros países, ha visto descender la inversión en minería en los últimos años (MMR, 2016).

**Tendencias en la producción.** El valor combinado de la producción de metales se incrementó más de 400% de 2005 a 2013, en tanto que el valor de la producción de oro y plata aumentó 1,500 y 800 por ciento, respectivamente (véanse las gráficas 20 y 21). El valor de los minerales no metálicos y del carbón también se elevó durante este periodo, aunque en mucho menor medida. La producción de cobre cambió poco en términos de volumen, pero se incrementó 200% en términos de valor. En el caso del carbón sucedió lo contrario, ya que los precios fueron más bajos pero se compensaron con el alza en la producción (véase la gráfica 21).

Gráfica 20. **Tendencia en el valor anual de la producción de minerales en México, 2005-2013**



Gráfica 21. **Cambio porcentual de 2005 a 2013 en la cantidad y el valor de producción de productos minerales seleccionados de México**



Fuentes: Datos tomados de los Anuarios Estadísticos de la Minería Mexicana (SGM, 2014; SE, 2010).

## 2.2 Procesos y tecnologías

### 2.2.1 Tipos de extracción minera y técnicas de beneficio o procesamiento

La mayor parte de los depósitos rocosos contienen metales u otros minerales. Cuando la concentración de minerales valiosos es demasiado baja para justificar económicamente la extracción, la roca se considera un residuo (o ganga). En un yacimiento mineral, los minerales valiosos están rodeados por ganga. La función primordial del beneficio (o procesamiento) de los minerales es liberar y concentrar aquellos que tienen valor (Grewal, 2016).

**Mineral:** Material que se puede beneficiar para recuperar productos minerales y obtener una ganancia económica o estratégica (Eckstrand *et al.*, 1996).

**Relaves:** Roca molida y efluentes producidos por la beneficiadora de una mina que se canalizan a presas de relaves por medio de tuberías.

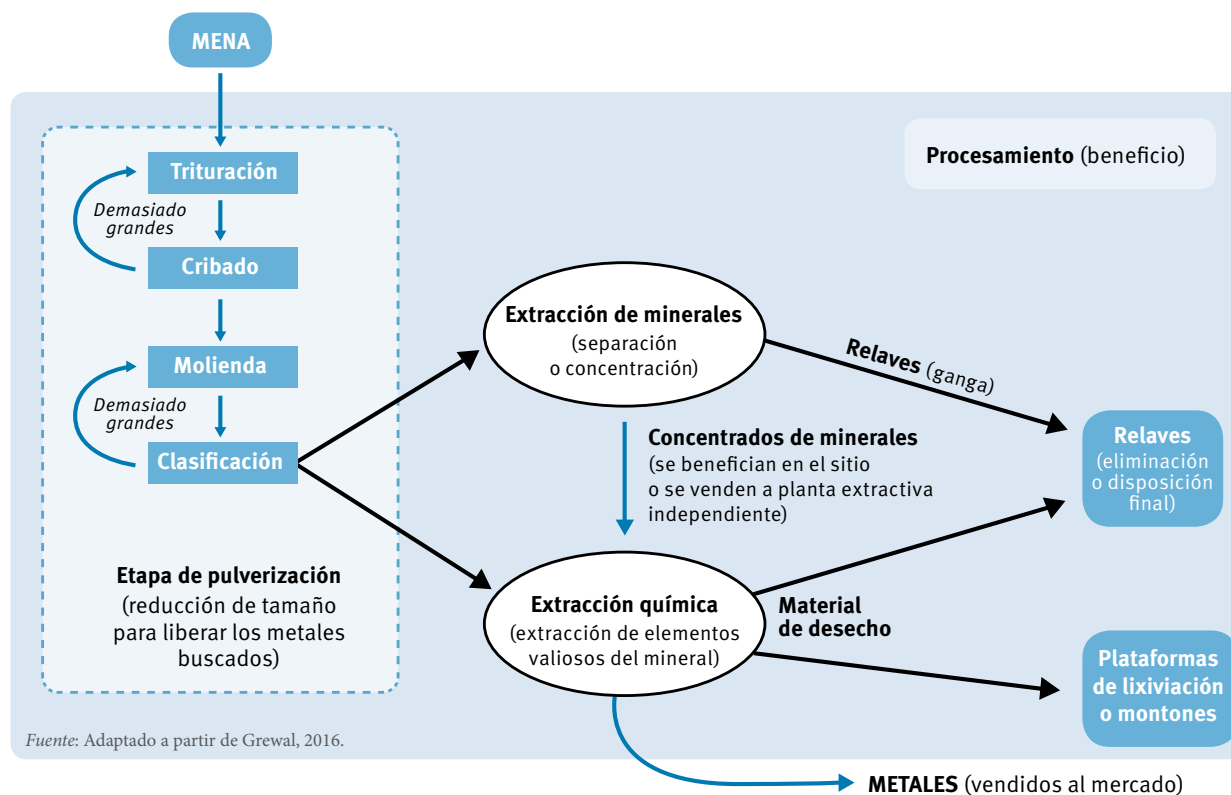
**Residuos de roca:** Minerales de baja ley y otras rocas que se minan, pero no se benefician, durante la extracción.

#### Metales

El beneficio de minerales metálicos a partir de menas consta habitualmente de varias etapas (véase la gráfica 22, modificada a partir de Grewal, 2016):

**Pulverización.** Es la separación del mineral de la ganga mediante triturración y molienda, con la reducción del tamaño de las partículas de roca. Gracias a este proceso, se exponen —en su totalidad o sólo en parte— los minerales valiosos que contiene la mena para continuar con la extracción.

Gráfica 22. Diagrama de flujo del beneficio habitual de minerales metálicos (menas)





**Clasificación o dimensionado.** Esta etapa tiene un triple propósito: distribuir las partículas por tamaño óptimo para las técnicas de recuperación de minerales, reducir aún más las partículas grandes y generar un producto que cumpla con las especificaciones de tamaño para el mercado. Los materiales gruesos normalmente se criban por medios mecánicos. Para los materiales más finos se utilizan técnicas de clasificación basadas en tasas de sedimentación diferenciales en fluidos de partículas de diferentes tamaños.

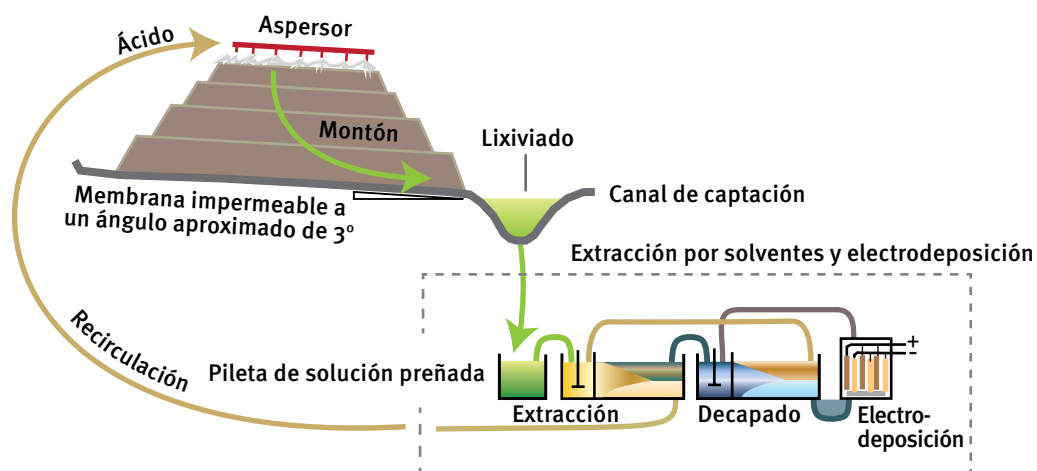
**Separación y concentración.** Esta etapa tiene lugar una vez que la mena pasa por molienda, trituración y clasificación para distribuir las partículas según el tamaño requerido. El objetivo es generar un producto mineral (concentrado) que pueda llevarse al mercado para su posterior refinación, por ejemplo, mediante fundición. Son varias técnicas físicas y químicas las que se utilizan para la separación y concentración. La flotación de espumas en un medio lodoso, una de las más usadas, separa selectivamente los minerales por medio de burbujas de aire y de la adición de reactivos químicos que afectan las propiedades superficiales de los minerales.

La deshidratación de las corrientes de concentrados minerales y desechos es un paso adicional en el beneficio o procesamiento de minerales, indispensable para la gestión del abasto de agua y las emisiones de contaminantes. Este paso incluye el transvase y reciclaje del líquido para regresarlo al molino y reutilizarlo como agua de proceso, así como la descarga de agua excedente a una presa de relaves. El exceso de agua también puede tratarse, si es necesario, para posteriormente liberarse. La deshidratación reduce el consumo de agua de la mina porque recicla y reduce al mínimo el volumen de residuos que requieren tratamiento y disposición.

En todas las etapas del beneficio, las características de la mena y del mineral o minerales que se pretende obtener determinan los enfoques y técnicas seleccionadas para liberar de la mena los minerales con valor económico.

Se han creado técnicas específicas para la extracción de minerales metálicos de algunos tipos de mena, en particular para metales preciosos como oro y plata. La lixiviación en montones, un tipo de hidrometalurgia, por ejemplo, utiliza la migración pasiva de un solvente de lixiviación diluido —como el cianuro— a través de un mineral que se ha triturado y apilado en una plataforma encima de una membrana impermeable. Canales de captación llevan los fluidos con minerales a una pileta de solución “preñada” en donde los metales son extraídos de la solución (gráfica 23). Este tipo de lixiviación es especialmente eficiente para beneficiar toneladas de mineral de baja ley y la recuperación puede superar el 90% de los metales totales presentes en el mineral. Se pueden usar microbios para extraer los metales en forma similar (biolixiviación).

Gráfica 23. Lixiviación en montones



Fuente: Adaptado de una ilustración de Anna Bauer, 2007.

En la lixiviación en tanques y cubas, el mineral se tritura y muele hasta obtener una pulpa fina o lodo, después se coloca en grandes recipientes (tanques o cubas) con una solución de lixiviación para extraer los metales preciosos. La eficiencia de este proceso depende de los tiempos de permanencia en los recipientes, el tamaño de las partículas del mineral triturado, la ley y las características del mineral, la densidad del lodo y el grado de agitación en el tanque.

El oro de placeres (oro en depósitos de arena y grava), el estaño y algunos otros minerales se recuperan usando técnicas de separación por gravedad. Cajas con esclusas, cilindros de lavado (trómeles), separadores y otros equipos utilizan agua para separar estos minerales pesados de la roca encajante, que es menos densa.

### *Minerales no metálicos*

En contraste con la industria de minería de metales, los minerales no metálicos (industriales) muchas veces se comercializan y utilizan tal como salen de la planta de beneficio, sin más procesamiento o manufactura. Su valor de mercado depende de las características del yacimiento y de las especificaciones del proyecto final, como ley, contenido de humedad y tamaño de las partículas (Kogel *et al.*, 2006).

Las mismas etapas y muchas de las técnicas que se utilizan en el beneficio de metales también se pueden aplicar a los minerales no metálicos. El procesamiento de minerales industriales casi siempre conlleva pulverización, dimensionado y alguna forma de envasado para el embarque, y muchas veces también lavado y deshidratación. Asimismo, se pueden utilizar técnicas de procesamiento específicas para cada producto de entre los métodos mecánicos, químicos y otros usados en el beneficio de los metales (véanse los ejemplos descritos en el recuadro 3).

### *Carbón*

El carbón se embarca sin beneficiar o se beneficia a diferentes grados, dependiendo del tipo y de la calidad del carbón bruto, el uso pretendido del mismo y otros factores como costos de transporte y disponibilidad de agua (NAS, 2007). En Estados Unidos, el lignito (véase el recuadro de definiciones) rara vez se beneficia antes de su embarque y consumo.

El procesamiento del carbón puede constar de trituración, cribado para formar grupos por tamaño, separación por gravedad en agua u otro medio líquido, y lavado (con frecuencia usando flotación de espuma) para eliminar la roca residual inorgánica (“ceniza”). La última etapa es la deshidratación, que puede incluir secado térmico en hornos de carbón o de gas (NAS, 2007). Posteriormente, el carbón beneficiado se apila para su traslado al mercado.

El material residual grueso se transporta en camiones a un área de disposición de sólidos, y las escorias habitualmente se canalizan a una presa de relaves. Una vez que los sólidos se asientan, el agua de la presa se recicla a la planta de procesamiento (NAS, 2007).

#### **Tipos de carbón**

**Antracita** (carbón metalúrgico): se emplea en la producción de acero

**Carbón bituminoso:** se utiliza principalmente en la generación de energía (carbón térmico)

**Lignito** (subbituminoso, de ley más baja): produce combustible y vapor para la industria y se emplea en la gasificación y licuefacción de carbón

## **2.2.2 Principales contaminantes asociados al sector minero**

La mezcla de contaminantes tratados, almacenados y, en algunos casos, emitidos por las minas es específica de cada sitio y está ligada a las propiedades geoquímicas y físicas del yacimiento mineral y a los procesos de extracción y beneficio utilizados para concentrar los minerales. Las rutas seguidas por los contaminantes y los efectos de éstos en el medio ambiente dependen de condiciones locales como clima, topografía y características de la roca, el suelo y el agua. Los efectos de las emisiones de sustancias también dependen del uso del área por el ser humano y de las especies acuáticas y terrestres de los alrededores. La evaluación del riesgo asociado a las emisiones y transferencias de sustancias puede ser

### Recuadro 3. Ejemplos de procesamiento de minerales industriales: potasa y roca fosfórica

La potasa (sales de potasio) y la roca fosfórica se utilizan sobre todo como fertilizantes. La potasa es un producto básico importante y de exportación de Canadá; por su parte, Estados Unidos es uno de los principales productores de roca fosfórica (gráfica 15).

La **potasa** se extrae por métodos extractivos subterráneos convencionales, o bien (aunque con menor frecuencia) mediante minería por disolución, en la que se inyecta salmuera al depósito mineral y se bombea para regresarla a la superficie. La técnica de minería por disolución y gran parte del procesamiento de la potasa (véase la gráfica abajo) aprovecha que las sales de potasa se disuelven con facilidad en salmuera caliente. Después de la trituración, el descalcado elimina arcilla, arena y dolomita por depuración o flotación. Luego de un tratamiento más y del secado, el producto se criba y se separa en grupos de tamaño estándar para su venta. Con el material fino se forman placas compactas que se desintegran para producir potasa granulada.

La **roca fosfórica**, que por lo general se extrae mediante minería de superficie, muchas veces se beneficia para eliminar impurezas y material estéril. El barro se elimina mediante trituración, molienda, depuración y lavado con agua. Las partículas finas se separan utilizando cedazos y depositan en el suelo, o bien se separan con agua y descargan a estanques de sedimentación, a los que con frecuencia se les agregan floculantes para ayudar en la sedimentación. Dependiendo de las características del mineral, se podría requerir procesamiento adicional, como flotación de espuma para eliminar arenas, o depuración adicional y separación magnética para eliminar minerales con contenido de hierro.

#### Procesamiento de la potasa



Fuentes: ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (*Environment and Climate Change Canada*, ECCC, 2016a); Perucca, 2003, y Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) e International Fertilizer Industry Association (IFIA, 2001).

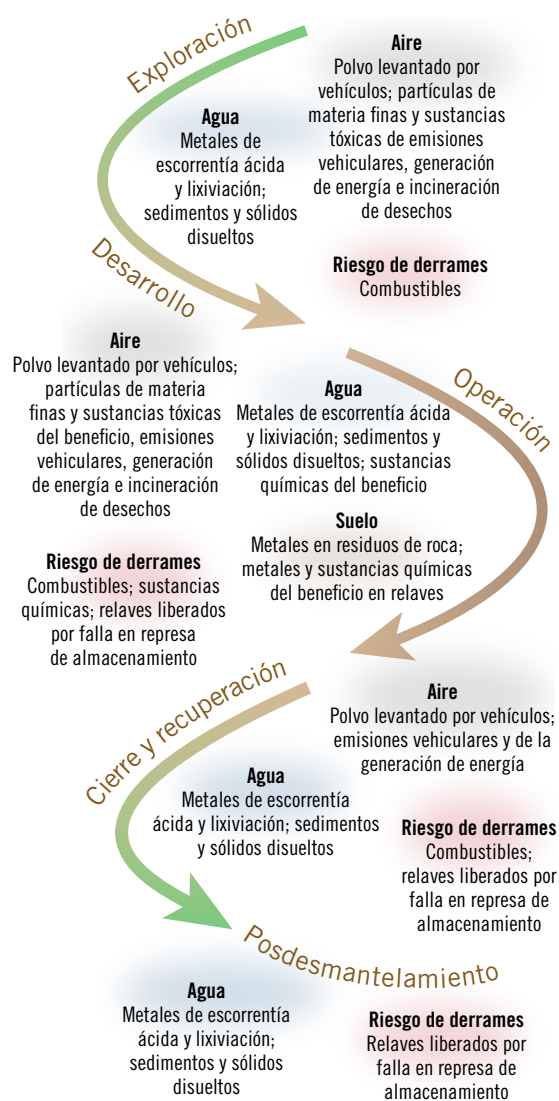
una tarea compleja y para llevarla a cabo es menester tomar en consideración diversos factores (véanse el capítulo 3 y el apéndice 1: “Uso y comprensión de los datos de *En balance*”). No obstante, contaminantes o grupos de contaminantes con efectos conocidos en la salud y el medio ambiente por lo general están asociados a tipos de extracción específicos.

El siguiente análisis general de las emisiones de contaminantes al aire, suelo y agua se extiende con la inclusión de ejemplos de contaminantes y problemas de contaminación relacionados con ciertos insumos minerales producidos

por el sector extractivo. Nótese que las rutas de las posibles emisiones de contaminantes discutidas en este apartado no se limitan a las registradas a través de los RETC de América del Norte, sino que el análisis —más amplio— abarca la contaminación de la minería desde la perspectiva de la actividad minera actual y la histórica. El apartado 2.4 y el capítulo 3 trazan las diferencias entre emisiones de los contaminantes que se registran a través del RETC de cada país.

Una mina puede emitir contaminantes durante todo su ciclo de vida en forma de emisiones (al aire), efluentes (al agua) o emisiones o depósitos al suelo. Los contaminantes pueden provenir de fuentes difusas como la erosión o de derrames o fallas en equipos (gráfica 24).

Gráfica 24. Posibles emisiones contaminantes a lo largo del ciclo de vida de una mina



Durante el ciclo de vida completo de una mina se generan emisiones de polvo y gases vehiculares, en especial en las operaciones de extracción de minerales en cantera y las minas a cielo abierto y explotaciones de superficie. El polvo y los gases vehiculares en carreteras también pueden deberse a actividades asociadas como embarque de concentrado o transporte de materiales al lote minero. El polvo representa un problema de salud para los seres humanos y la vida silvestre, además de ser nocivo para la vegetación y el hábitat acuático una vez que se asienta. La industria minera maneja el polvo mediante diversos métodos, tales como la cobertura de las posibles fuentes o por irrigación.

Durante la operación de una mina, los procesos de beneficio emiten sustancias dañinas para los seres humanos y el medio ambiente, en especial durante las etapas de secado con calor. Estas emisiones de chimeneas pueden contener metales, gases como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, así como partículas finas.

Las emisiones de contaminantes al agua y al suelo con frecuencia están interrelacionadas. Las emisiones al agua de la explotación minera contienen efluente (descargas “al final del tubo”) del laboreo de minas y del beneficio de minerales y por lo general provienen de plantas de tratamiento, estanques de decantación o presas de relaves. Las emisiones también incluyen agua que ha corrido o se ha filtrado por tierras perturbadas y residuos de roca depositados en el suelo, quizá desde años atrás. El agua suele arrastrar contaminantes corriente abajo, algunos de los cuales se asientan en los sedimentos de ríos y lagos (en donde permanecen un tiempo y después vuelven a movilizarse), otros son consumidos por plantas y animales acuáticos y transferidos a través de las cadenas alimentarias, en tanto que otros ingresan a las aguas subterráneas y contaminan acuíferos. Este proceso de contaminantes en movimiento desde sus fuentes en el suelo hasta el medio ambiente acuático continúa mucho tiempo después de desmantelada la mina.

La gravedad y perdurabilidad de la contaminación del agua causada por lotes mineros con frecuencia son consecuencia del tipo de yacimiento mineral. Los yacimientos minerales sulfurosos, incluidos algunos campos de carbón, son propensos a la generación de rocas ácidas: la formación de agua ácida que libera metales de las rocas mediante oxidación. Este es un proceso natural que se acelera exponiendo la roca rica en azufre al agua y el oxígeno. Si no recibe el tratamiento adecuado, la escorrentía ácida (EA) puede arrastrar metales a las corrientes y contaminar cuerpos de agua después del cierre de la mina. Este problema afecta sobre todo a las minas abandonadas y requiere mantenimiento y rehabilitación a un costo muy elevado, que por lo general absorben los gobiernos.

Los residuos de roca estéril y los relaves son las principales fuentes de disposiciones o emisiones de contaminantes al suelo. La roca residual se apila o se utiliza como relleno en minas a cielo abierto o en labores subterráneas. Los relaves se pueden eliminar en estanques o presas (el método más común); deshidratarse y disponerse como relaves secos, o bien espesarse y usarse como relleno en excavaciones subterráneas. El agua de las presas de relaves que no se reutiliza en el beneficio se evapora o se descarga como efluente. Los sólidos restantes se acumulan en el estanque, confinados por una represa. Los contaminantes que en principio se emiten o disponen en el suelo luego pueden ingresar a ríos, arroyos, lagos o mares a través de la infiltración de aguas superficiales y aguas subterráneas poco profundas provenientes de pilas de residuos de roca y presas de relaves, en tanto que aquellos emitidos al suelo pueden dispersarse después a las áreas circundantes por la acción del viento.

Además de las emisiones planeadas y gestionadas de sustancias reguladas al aire, agua y suelo que arriba se describen, también puede haber emisiones de contaminantes por fallas y derrames. Los derrames pueden ser de sólidos o de líquidos tóxicos, como concentrados, combustibles y reactivos de la minería, en tanto que las fallas pueden ser descomposturas de equipo, que provocan fugas, descargas de efluente sin tratar o emisiones, y fallas catastróficas, como la rotura del dique de una presa de relaves.

La contaminación asociada a la minería también puede ser consecuencia del laboreo de minas y la extracción de productos ocurridos en el pasado. El asbesto, por ejemplo, ya no se extrae en América del Norte, pero sigue siendo una cuestión problemática en lo concerniente a cuidado de la salud y eliminación de desechos, por el uso excesivo que se le dio en la construcción y en bienes de consumo. El uso de este material todavía está permitido en América del Norte, aunque Canadá está en proceso de eliminación gradual del mismo hasta su erradicación en 2018. Estados Unidos dejó de extraerlo en 2002 y las últimas dos minas de asbesto canadienses cerraron en 2011 (USGS, 2014; SSHRC, s.f.). México nunca explotó dicho material.

La extracción de mercurio y su utilización en minería de oro y plata, aun pasados los años, continúan siendo fuente de emisiones contaminantes al medio ambiente. Por ejemplo, la dispersión de mercurio de relaves producidos por antiguas haciendas de beneficio de mineral de plata en el poblado de Cedral, en San Luis Potosí, México, es todavía un problema de salud pública (Morton-Bermea *et al.*, 2015). La acumulación de mercurio en sedimentos de lagos y corrientes en el oeste de Estados Unidos se debe sobre todo a las emisiones pasadas y actuales del metal por minas de mercurio y oro que llevan muchos años inactivas. En algunas áreas, el mercurio surge corriente abajo a una distancia considerable de las viejas minas, como en el estuario del río Sacramento-San Joaquín en California (Eagles-Smith *et al.*, 2016).

La contaminación también está ligada a actividades extractivas constantes no incluidas en las estadísticas de producción nacional de minerales y de emisión de contaminantes. En México, la minería de oro artesanal y a pequeña escala y la extracción “informal” de mercurio representan un riesgo para la salud y la seguridad y una fuente de contaminación ambiental (véase el recuadro 4).

En el cuadro 9 se presentan ejemplos de contaminantes asociados a la minería.

#### Recuadro 4. Minería artesanal y a pequeña escala de oro y extracción informal de mercurio en México

“Artesanal” se refiere al uso de métodos rudimentarios, y “pequeña escala” al tamaño de la operación minera. Las operaciones de minería artesanal y a pequeña escala de oro (MAPO) por lo general se realizan fuera de la ley y carecen de medidas de seguridad y de protección de la salud y el medio ambiente (Seccatore *et al.*, 2014). Las minas artesanales y a pequeña escala de diversos tipos proveen medios de vida e ingreso a poblaciones en situación de pobreza de muchos países de África, Asia, América Latina y el Caribe (Banco Mundial, 2013). Alrededor de 16 millones de personas que trabajan en la MAPO producen de 379 a 449 toneladas de oro al año con este método (Seccatore *et al.*, 2014), lo que representa entre 17 y 20 por ciento de la producción oficial de oro del mundo. La producción es particularmente alta en varios países de América del Sur: por ejemplo, Bolivia produce alrededor de 25 toneladas cada año; Perú, 40 toneladas por año, y Colombia, entre 41 y 51 toneladas anuales.

Históricamente, la minería artesanal y a pequeña escala de metales preciosos en México era de plata, pero ahora es sobre todo de oro aunque algunas operaciones también producen plata (González Sánchez y Camprubí, 2010; Veiga, 2016). Esta actividad no forma parte de la economía formal y su valor de producción no se incluye en estadísticas nacionales. Los mineros normalmente trabajan largas jornadas para sacar el mineral, molerlo y extraer el oro por medio de amalgamación (enlace del oro al mercurio). El oro se vende a un precio inferior a su valor de mercado y los mineros quedan expuestos a explotación y corren riesgos de salud y seguridad en esta industria no regulada (González Sánchez y Camprubí, 2010).

El mercurio también se extrae de manera “informal” en México, práctica que se ha incrementado en los últimos años para abastecer las operaciones de MAPO en América Latina. Por la facilidad con que se amalgama con el oro y la plata, el mercurio se ha utilizado durante miles de años para separar los metales preciosos del mineral, pero luego de reconocerse su toxicidad para la salud humana y ambiental se dio un cambio a otras sustancias de procesamiento en la minería del oro a gran escala, principalmente cianuro. Sin embargo, la MAPO en México y otros lugares sigue dependiendo de la amalgamación de mercurio porque es fácil y barata (Sippl y Selin, 2012). Esta práctica representa un riesgo para la salud y la seguridad de los mineros, ya que cuando la amalgama se calienta se vaporiza cerca de la tercera parte del mercurio y los humos son altamente tóxicos (Pirrone y Mason, 2009). Los vapores de mercurio representan un riesgo todavía mayor para la salud y el ambiente porque se dispersan en la atmósfera. El resto del mercurio empleado en las operaciones de MAPO se descarga al agua, en donde puede ingresar a las redes alimentarias acuáticas o a la atmósfera por medio de volatilización (Pirrone y Mason, 2009).

La extracción primaria de mercurio en México se suspendió en 1994, pero este metal ha seguido produciéndose desde entonces mediante el procesamiento de relaves de viejas minas de plata que habían usado amalgamación de mercurio (CCA, 2013). La demanda de mercurio se ha incrementado a últimas fechas ante el aumento de la MAPO en algunos países de América Latina y el Caribe, y México se ha convertido en el principal proveedor de mercurio de la región (Camacho *et al.*, 2016; Santana *et al.*, 2014). La creciente demanda ha generado un incremento estimado de diez veces en la producción informal de mercurio en los últimos dos años (Camacho *et al.*, 2016) y un aumento en las exportaciones de mercurio, de una a dos toneladas al año a principios de la década de 2000, a más de 300 toneladas en 2014 e igual cantidad en 2015 (SE, 2016). México es ahora el principal exportador de mercurio del mundo (ONU, 2016). Cada año se recuperan entre 20 y 50 toneladas del metal de relaves de minas de oro y plata, y se estima que existen entre 300 y 400 operaciones de extracción artesanal de mercurio, la más grande de las cuales está en la Sierra Gorda de Querétaro (Jiménez, 2016, comunicación personal).

La preocupación por los riesgos para la salud de mineros y comunidades que representan las operaciones informales de extracción de mercurio llevó a la realización de un estudio reciente en una región minera de mercurio del estado de Querétaro (Camacho *et al.*, 2016). El estudio encontró niveles elevados de mercurio en suelos y sedimentos de arroyos. Mineros, así como mujeres y niños de la comunidad cercana (grupos identificados como los más vulnerables), presentan altos niveles de exposición a este metal tóxico, con base en resultados de muestras de orina (Camacho *et al.*, 2016).

La MAPO y los efectos negativos asociados al uso del mercurio se abordaron en el Convenio de Minamata sobre Mercurio (2013), que compromete a los firmantes a prohibir nuevas minas de mercurio y cerrar gradualmente las existentes, eliminar progresivamente o reducir el uso del mercurio, restringir las exportaciones del metal, controlar las emisiones al medio ambiente y tomar medidas para la eliminación del uso del mercurio en la MAPO (PNUMA, 2016). También se están llevando a cabo iniciativas en la esfera nacional e internacional para mejorar las oportunidades económicas y la salud de mineros de MAPO, sus familias y comunidades (AGC, 2016). Parte medular de estas iniciativas es el reemplazo de la amalgamación de mercurio por tecnología de beneficio del oro más segura y asequible (PNUMA, 2012; Veiga *et al.*, 2014).

Cuadro 9. Ejemplos de emisiones contaminantes comúnmente asociadas a la producción de ciertos productos minerales en América del Norte

| Producto                   | Ejemplos de emisiones contaminantes  | Referencias   |
|----------------------------|--|---|
| Cobre, plata, zinc y plomo | <b>Escorrentía ácida (EA).</b> Los yacimientos que contienen estos minerales casi siempre son ricos en sulfuro de hierro (pirita) u otros minerales sulfurados. Si la roca entra en contacto con oxígeno y agua, se produce ácido sulfúrico. El agua ácida (con pH bajo) drena por los residuos de roca y relaves, disolviendo los metales, y una vez cargada de metales ingresa a las corrientes o llega a las aguas superficiales o subterráneas. La acidez se puede neutralizar si el agua corre a través de rocas y suelos, haciendo que algunos de los metales se precipiten en sedimentos. Sin embargo, incluso con un pH elevado, cantidades significativas de algunos metales pueden permanecer disueltos. Los metales están presentes en el agua de modo natural, pero a niveles elevados son tóxicos para los organismos acuáticos y muchas veces ocasionan que el agua corriente abajo de la mina no sea apta para otros usos. Si no se gestiona debidamente, la EA se puede convertir en un problema de contaminación a largo plazo en caso de explotación de un depósito mineral que contenga roca sulfurada. Esto incluye a algunos depósitos de carbón.   | (Hudson <i>et al.</i> , 1999) (USGS, 2008b)   |
| Oro                        | En tiempos pasados, el <b>mercurio</b> era de uso común en la recuperación del oro; esta práctica ya está prohibida por cuestiones de salud y ambientales, pero se sigue utilizando en las minas de oro artesanal en México (recuadro 4). El mercurio es un componente casi constante del mineral con contenido de oro y aún puede ser un contaminante relevante de las emisiones que generan las beneficiadoras de mineral de oro. El vapor de mercurio es transportado por el aire, se deposita en el agua y se acumula como metilmercurio en los peces. La ruta principal de exposición de los seres humanos a este contaminante tóxico, persistente y bioacumulable es el consumo de pescado.<br>El <b>arsénico</b> se distribuye en todo el entorno natural y es común encontrarlo en depósitos de oro. Está presente en varias formas químicas, muchas veces asociadas a minerales sulfurados propensos a la EA, la que disuelve el arsénico junto con los metales adheridos a las rocas; también puede surgir de descargas de agua con pH elevado provenientes de procesos de beneficio de oro que empleen cianuro. En concentraciones elevadas, el arsénico es tóxico para los organismos acuáticos y limita el uso de las aguas corriente abajo.<br>El <b>cianuro</b> , compuesto químico de carbono y nitrógeno, se emplea en la extracción de oro y plata, en especial para la lixiviación del oro. En la mayoría de los casos es un constituyente del efluente (emitido al agua) y su mayor amenaza es para la vida acuática. El cianuro en el agua se convierte de modo natural en sustancias no tóxicas: primero se oxida y forma cianato menos tóxico y después se descompone en amoníaco y dióxido de carbono. | (EPA, 2011; SME, 2014; Straskraba y Moran, 1990)                                      |
| Mineral de hierro          | Los <b>contaminantes atmosféricos tóxicos</b> son emitidos principalmente por los hornos que endurecen y oxidan el mineral de hierro para producir los gránulos con que se hace el acero. Los compuestos tóxicos en las emisiones pueden contener manganeso, cromo, cobalto, arsénico, mercurio y plomo. Los niveles de las partículas suspendidas siguen muy de cerca los de estas sustancias atmosféricas tóxicas, por lo que las medidas de mitigación y regulación se centran en la minimización de las partículas suspendidas en las emisiones de los hornos. Sólo algunas minas de mineral de hierro producen hierro granulado, en tanto que otras envían el mineral después de la producción de concentrado, pero las emisiones al aire de todas ellas generalmente incluyen partículas finas emitidas en forma de polvo de la extracción y actividades relacionadas.   | (EPA, 2003; Berndt, 2003; Hanchar y Kerr, 2012)                                       |
| Potasa                     | <b>Partículas finas transportadas por el aire.</b> PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> (partículas suspendidas con diámetro inferior a 10 y 2.5 micrómetros, respectivamente) representan un riesgo para la salud, tienen efectos negativos en la vegetación y contribuyen a la bruma. Las partículas finas son contaminantes comunes de la producción de potasa, cuya fuente principal (80%) son las actividades de secado y compactación.<br><b>Sales y partículas finas.</b> Las corrientes de residuos provenientes de minas de potasa contienen escorias cargadas de sal y cantidades menores de otros minerales, salmueras lodosas con cloruro de sodio o cloruro de magnesio y lodos compuestos por arcilla fina y dolomita.   | (ECCC, 2016a; PNUMA e IFIA, 2001) (ECCC, 2017)  |
| Uranio                     | <b>Metales, arsénico y radionucleidos.</b> Los sedimentos de lagos canadienses contiguos a minas de uranio convencionales tienen niveles más altos de uranio, arsénico, molibdeno y selenio que los de lagos ubicados a mayor distancia. Las posibles rutas para la propagación de estos contaminantes salidos de los lotes mineros son el aire (relaves y polvo de molinos arrastrados por el aire) y el agua (escorrentía superficial o flujo subterráneo), si no se gestiona las plantas debidamente. La mayor parte de las minas de uranio de Estados Unidos carecen de molinos o relaves, ya que usan agua subterránea y aditivos químicos para disolver el uranio y extraerlo del yacimiento (lixiviación en sitio). El principal riesgo que se corre con este tipo de extracción es que el agua subterránea de los acuíferos que rodean o se encuentran cuesta abajo de un yacimiento mineral se contamine con las soluciones de lixiviación, uranio y sus productos de desintegración, metales, arsénico e iones tales como sulfatos. Por esta razón, la extracción de uranio no está permitida en acuíferos que son o podrían ser fuentes de agua potable.  | (Saunders <i>et al.</i> , 2016; Laird <i>et al.</i> , 2014)                           |
| Arena, grava y piedra      | <b>Contaminantes del aire.</b> Los principales contaminantes asociados a estas operaciones de extracción son las emisiones en chimenea de partículas y otros contaminantes atmosféricos, polvos fugitivos y emisiones vehiculares. Al igual que con otros tipos de minería, los problemas ambientales asociados a las canteras van más allá de la mera contaminación e incluyen conflictos de uso de suelo (los yacimientos de arena y grava, en especial, se localizan con frecuencia en áreas favorables a otros usos de la tierra). Otros impactos relacionados sólo en parte con la contaminación son: cambios estéticos al paisaje, pérdida de hábitat terrestre y acuático, erosión, adición de sedimentos a las corrientes, ruido y polvo.  | (Kogel <i>et al.</i> , 2006; Blodgett, 2004)  |
| Carbón                     | <b>Contenido iónico del agua.</b> En cuencas carboníferas de los Montes Apalaches en Estados Unidos, los minerales del carbón con pirita se disuelven y generan ácido sulfúrico, incrementando las concentraciones de sulfato y otros iones como bicarbonato, cloruro, magnesio, sodio y calcio. Este aumento en los sólidos disueltos está vinculado a impactos en la vida que habita en las corrientes de agua. La conductividad (un indicador del contenido iónico) del efluente y las aguas receptoras se utiliza para fijar objetivos y umbrales de mitigación y regulación de la contaminación. Las áreas de extracción de carbón de las Montañas Rocallosas en el oeste de Canadá tienen aguas naturalmente duras con conductividad de origen más alta que las cuencas carboníferas de los Apalaches, pero la extracción de carbón también eleva la conductividad y los niveles de sulfatos. Las condiciones químicas del agua promueven la acumulación de calcita (precipitación de carbonato de calcio) en el cauce, la que se incrementa cuando el agua pasa por escombros de roca y recoge más calcita disuelta. Esto puede llevar a la concreción de los canales, con la consecuente degradación o destrucción del hábitat.<br><b>Selenio.</b> Los depósitos de carbón en algunas regiones tienen altos niveles de selenio. Este metal, que se libera en efluentes y escorrentía de lotes mineros, tiene efectos tóxicos en peces e invertebrados acuáticos.   | (Kuchapski y Rasmussen, 2015; Clements y Kotalik, 2016; Cormier <i>et al.</i> , 2013) |

## 2.3 Leyes y reglamentos en materia de minería

Los sistemas normativos de la minería de América del Norte reflejan las estructuras del gobierno federal de cada país, de modo que la minería la regulan instancias del orden federal y estatal, provincial y territorial. Disposiciones reglamentarias municipales y ordenamientos basados en regímenes de gobierno y tierras indígenas también son relevantes en algunas áreas y para ciertos tipos de extracción. Los regímenes normativos son complejos y este apartado presenta apenas un panorama general centrado en la regulación de contaminantes emitidos y transferidos por la actividad minera.

### 2.3.1 Canadá

La gestión de los recursos minerales de Canadá es una responsabilidad compartida de los gobiernos federal, provincial o territorial e indígena. En este país, la mayor parte de la tierra es de propiedad gubernamental y los derechos a los minerales del subsuelo, aun en terrenos de particulares, están generalmente reservados al gobierno (ya sea federal o provincial o territorial). La asignación y administración de concesiones y arrendamientos mineros es tarea del gobierno provincial y territorial, en tanto que el gobierno federal tiene competencia sobre áreas que resulten afectadas por la minería, como recursos pesqueros, aves migratorias y aguas transfronterizas; sin embargo, el medio ambiente es de competencia compartida sin delimitaciones claras. El marco normativo del gobierno federal desempeña un papel muy destacado en la minería. En el cuadro 10 se resumen las principales leyes federales de pertinencia para las emisiones y transferencias de contaminantes provenientes de las actividades extractivas.

Cuadro 10. Principales leyes federales que regulan la contaminación generada por el sector minero en Canadá

|  |  |
|--|--|
| <b>Ley Canadiense de Evaluación Ambiental (<i>Canadian Environmental Assessment Act, CEAA</i>)</b> | Regula la evaluación y mitigación de los efectos ambientales de un proyecto.   |
| <b>Ley Canadiense de Protección Ambiental (<i>Canadian Environmental Protection Act, CEPA</i>)</b> | Se ocupa de prevenir la contaminación y de proteger el medio ambiente y la salud humana. También regula el uso y disposición de sustancias tóxicas.  |
| <b>Ley de Pesca (<i>Fisheries Act</i>)</b>   | Contiene estipulaciones para evitar el depósito de sustancias deletéreas en aguas frecuentadas por peces. El Reglamento sobre Efluentes de la Minería de Minerales Metálicos emanado de esta ley establece criterios para descargas de efluentes y normas de monitoreo de efectos ambientales. |
| <b>Ley del Transporte de Bienes Peligrosos (<i>Transportation of Dangerous Goods Act</i>)</b>      | Establece requisitos para el manejo y transporte de sustancias peligrosas, como explosivos, sustancias tóxicas y gases.  |
| <b>Ley de Seguridad y Control Nuclear (<i>Nuclear Safety and Control Act</i>)</b>                  | Rige todos los aspectos de la extracción de uranio, incluidos los efectos ambientales.   |

Fuentes: MAC, 2016a; Baldwin y Fipke, 2010; CNSC, 2014.

El otorgamiento de permisos y la supervisión de la actividad minera son responsabilidad de los gobiernos federal y provincial o territorial, así como de los gobiernos indígenas en los lugares en donde existen reivindicaciones territoriales resueltas y acuerdos de autogobierno. Algunos ejemplos de áreas en que las leyes requieren permisos, licencias y autorizaciones para la minería son:

- consumo y descarga de agua;
- uso del suelo;
- protección de recursos acuáticos y pesqueros;
- protección de vida silvestre y recursos terrestres;



- protección de recursos culturales y patrimoniales;
- planeación del cierre y la recuperación (incluida evaluación de seguridad);
- protección de especies en riesgo;
- transporte, manejo y almacenamiento de bienes peligrosos y uso de explosivos, y
- almacenamiento y manejo de residuos de la minería.

Los gobiernos provinciales y territoriales, al igual que algunos gobiernos indígenas, cuentan con procesos normativos propios para muchas de estas áreas. Además, los gobiernos de provincias y territorios son los principales responsables de las carreteras y demás infraestructura asociada a la mayoría de los proyectos de desarrollo minero.

La regulación de la producción de uranio compete, de acuerdo con la Ley de Seguridad y Control Nuclear, a un órgano de regulación nuclear independiente: la Comisión de Seguridad Nuclear de Canadá (*Canadian Nuclear Safety Commission*, CNSC). Dicha Comisión aprueba y regula todas las etapas y aspectos de la producción de uranio, como evaluación ambiental, control de la contaminación y desmantelamiento (NRCan, 2014; CNSC, 2014). Las minas de uranio también están sujetas al Reglamento sobre Efluentes de la Minería de Metales de la Ley de Pesca.

Las evaluaciones de impacto ambiental, o EIA (cuyo alcance se amplió para incluir evaluaciones de impacto socioeconómico en algunos lugares), abordan los proyectos mineros en términos de entorno terrestre, acuático, socioeconómico y cultural. Los efectos ambientales, medidas de mitigación, efectos acumulativos y residuales (posibles efectos que permanecen después de la mitigación) se evalúan mediante un proceso que incluye consulta pública. Planes de gestión, mitigación y monitoreo, planes de prevención y respuesta a accidentes y fallas, y planes de cierre y recuperación, deben elaborarse con antelación a la aprobación del proyecto.

Para la realización de las evaluaciones ambientales cada provincia y territorio cuenta con un enfoque propio. La ley federal (CEAA) se aplica junto con procesos de evaluación provinciales. Dependiendo del lugar y de las dimensiones del proyecto, puede solicitarse a las minas propuestas que se sometan a una evaluación a través de los sistemas tanto provincial como federal. En el norte de Canadá (Yukón, Territorios del Noroeste y Nunavut) se han establecido procesos de evaluación mediante acuerdos sobre reivindicaciones territoriales supervisados por consejos designados (véase el recuadro 5). Una EIA concluida no significa que un proyecto minero puede proceder a la etapa de la construcción, pero sienta las bases para que los gobiernos tanto federal como provincial o territorial otorguen en su caso las autorizaciones requeridas por ley.

#### Recuadro 5. Evaluación ambiental y socioeconómica en Yukón: ejemplo de un proceso de evaluación ambiental establecido mediante un acuerdo de reivindicación territorial canadiense

La evaluación ambiental y socioeconómica de proyectos mineros propuestos para el Yukón se rige por la Ley de Evaluación Ambiental y Socioeconómica de Yukón (*Yukon Environmental and Socio-Economic Assessment Act*, YESAA) de 2003, de alcance federal, por ser un requisito de los acuerdos de resolución de reivindicaciones territoriales de las primeras naciones de Yukón. Esta ley establece los términos y procesos para la evaluación de proyectos y dispone la creación de un consejo independiente (incluidos miembros nominados por primeras naciones) para llevar a cabo evaluaciones y tomar decisiones relativas a la aprobación de proyectos. Las evaluaciones realizadas al amparo de la YESAA deben tomar en consideración los posibles efectos de los proyectos sobre los derechos conferidos a los habitantes de comunidades indígenas del Yukón a raíz de los acuerdos de reivindicación territorial, así como su relación especial con el entorno natural y su cultura, tradiciones, salud y estilo de vida.

Fuente: YESAB, 2016.

### 2.3.2 Estados Unidos

La minería en Estados Unidos se administra a través de un sistema normativo integral basado en un marco de leyes federales y estatales. El régimen normativo aplicable a una mina depende de si la mina está en tierras federales, estatales, de comunidades indígenas o particulares (o una combinación de las mismas). En Estados Unidos los derechos minerales están ya sea asociados a la propiedad del suelo (principalmente en los estados del este) o reservados al gobierno federal (principalmente en los estados del oeste).

Las operaciones extractivas deben cumplir con leyes ambientales federales y contar con las autorizaciones necesarias de las dependencias federales y estatales competentes. El propósito del proceso de otorgamiento de permisos es asegurar que las operaciones protejan plenamente la salud y la seguridad de la ciudadanía, el medio ambiente y la vida silvestre. El solicitante debe demostrar que cumplirá con requisitos de diseño y operación que minimicen el riesgo de derrames u otras emisiones significativas que pudieran tener efectos negativos en el medio ambiente y que llevará a cabo actividades de recuperación al concluir la explotación.

Varias leyes autorizan y regulan la minería en tierras públicas, como la Ley General de Minería (*General Mining Act*) de 1872 y la Ley Federal de Reformas sobre el Arrendamiento de Tierras para la Extracción de Carbón (*Federal Coal Leasing Amendment Act*) de 1976 (USFWS, 2013). La administración de tierras federales está a cargo de dos dependencias: 1) la Oficina de Manejo de la Tierra (*Bureau of Land Management*, BLM), que deriva su autoridad de la Ley de Política y Manejo de las Tierras Federales (*Federal Land Policy and Management Act*), y 2) el Servicio Forestal (*Forest Service*), facultado por la Ley Orgánica (*Organic Act*) y la Ley Nacional de Manejo Forestal (*National Forest Management Act*). La Ley Nacional sobre Política Ambiental (*National Environmental Policy Act*, NEPA) establece procedimientos para la evaluación de las principales medidas federales con repercusiones significativas en el medio ambiente, incluido el otorgamiento de permisos para nuevos desarrollos mineros en tierras federales por la BLM y el Servicio Forestal. Otras autoridades del gobierno federal de Estados Unidos responsables de la aprobación y otorgamiento de permisos para proyectos mineros son el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, la Oficina de Minería de Superficie (*Office of Surface Mining*) del Departamento del Interior (*Department of Interior*), la Comisión de Regulación Nuclear (*Nuclear Regulatory Commission*, NRC) y la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA).

En el cuadro 11 se resumen ejemplos de las principales leyes que autorizan la regulación ambiental de las operaciones mineras en Estados Unidos.

La Ley de Energía Atómica (*Atomic Energy Act*) y la Ley de Control de la Radiación de Desechos de Molinos de Uranio (*Uranium Mill Tailings Radiation Control Act*) contienen reglamentaciones que protegen de los efectos negativos de los procesos de extracción de uranio y asignan funciones definidas a la EPA, la Comisión de Regulación Nuclear (*Nuclear Regulatory Commission*, NRC) y el Departamento de Energía (*Department of Energy*, DOE). La extracción convencional de uranio mediante minería subterránea y a cielo abierto está regulada por la BLM, el Servicio Forestal o los estados, dependiendo de la situación de la tierra. La minería *in situ*, que es ahora el método de recuperación de uranio más común en Estados Unidos (véase el cuadro 9), está regulada por la NRC, ya que se le considera procesamiento básico, más que extracción minera, toda vez que el mineral es sometido a alteración química durante el proceso extractivo (NRC, 2016). Sin embargo, la BLM, el Servicio Forestal y los estados consideran que esta forma de recuperación constituye minería, por lo que dichas autoridades regulan también las operaciones *in situ* del metal.

Numerosas leyes estatales rigen la expedición de permisos y la regulación de proyectos mineros por cuanto se refiere a requisitos de recuperación, contaminación del agua, calidad de aguas subterráneas, derechos de agua, protección de humedales y otros. Los regímenes normativos de la minería varían de un estado a otro y de un tipo de tierra a otro. En el recuadro 6 se resume la normatividad en materia de minería en el estado de Nevada, una importante región minera de Estados Unidos. Otras instancias a lo largo y ancho de ese país tienen responsabilidades similares relativas a la aprobación y operación de minas. Diversas dependencias federales y estatales, por ejemplo, requieren que los residuos de roca se coloquen en estructuras diseñadas para contener los contaminantes y controlar la EA. Los marcos de coordinación de procesos normativos y de aprobación necesarios se establecen mediante acuerdos entre dependencias federales y estatales.

Cuadro 11. Principales leyes federales que regulan la contaminación generada por el sector minero en Estados Unidos

|  |  |
|--|--|
| <b>Ley Nacional sobre Política Ambiental</b><br>( <i>National Environmental Policy Act</i> )   | Garantiza que los aspectos ambientales se integren a las decisiones federales; por ejemplo, aprobación federal de operaciones mineras.   |
| <b>Ley de Aire Limpio</b> ( <i>Clean Air Act</i> )   | Regula tipos específicos de emisiones al aire de la minería por medio de permisos para emisiones a la atmósfera.   |
| <b>Ley de Agua Limpia</b> ( <i>Clean Water Act</i> )   | Regula la descarga de contaminantes, incluidas descargas de la minería, el bombeo o drenado de aguas subterráneas a la superficie y el control de filtración y escorrentía por medio de permisos.  |
| <b>Ley sobre Conservación y Recuperación de Recursos</b><br>( <i>Resource Conservation and Recovery Act</i> )  | Regula la emisión de residuos peligrosos; sin embargo, la mayor parte de los desechos mineros en grandes volúmenes y de baja toxicidad quedan exentos bajo esta ley. En 1978, cuando se elaboraron ordenamientos por primera vez, todos los desechos de la minería se categorizaban como “residuos especiales”, estaban sujetos a estudio posterior y no se incluían como residuos peligrosos, pero las reformas a la normatividad hechas a partir de entonces sustituyeron la exención general por una lista de tipos de desechos específicos de la minería que están exentos de la reglamentación federal sobre residuos peligrosos. |
| <b>Ley de Control de Sustancias Tóxicas</b><br>( <i>Toxic Substances Control Act</i> )   | Exige a la EPA jerarquizar las sustancias químicas existentes para determinar sus riesgos y evaluar las que son prioritarias. En caso de identificación de riesgos inaceptables, ordena a la EPA tomar medidas de gestión de riesgos, como condiciones al uso, eliminación gradual o prohibición de las sustancias tóxicas.  |
| <b>Ley Integral de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambientales</b> ( <i>Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act</i> ) | Faculta al gobierno a llevar a cabo la limpieza (y responsabilizar a las partes del costo respectivo) de sitios no remediados, incluidas minas cerradas, que emiten sustancias peligrosas.   |
| <b>Ley de Control de la Minería de Superficie y Recuperación</b> ( <i>Surface Mining Control and Reclamation Act</i> )                                       | Establece un programa nacional de otorgamiento de permisos para operaciones de explotación superficial de carbón y regula los impactos en la superficie de la extracción superficial y subterránea de carbón. La ley establece normas federales de desempeño para permisos y recuperación que los programas estatales aprobados deben cumplir o superar.   |

Fuentes: American Geosciences Institute, 2016; EPA, 2016c.

### Recuadro 6. Regulación de la minería en Nevada

En Nevada, la principal autoridad a cargo de la administración de la minería es la Oficina de Regulación de la Minería y Recuperación (*Bureau of Mining Regulation and Reclamation*, BMRR), de carácter estatal, que forma parte de la División de Protección Ambiental de Nevada (*Nevada Division of Environmental Protection*). La BMRR es responsable de leyes y permisos estatales relacionados con los recursos hídricos y la recuperación de tierras explotadas. Por ejemplo, cualquier mina ubicada dentro del estado debe obtener de la BMRR un permiso de control de la contaminación del agua antes de proceder al establecimiento de un proyecto minero. Las minas con posibilidad de descargar contaminantes a las aguas superficiales también deben obtener un permiso del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (*National Pollutant Discharge Elimination System*, NPDES) de la Oficina de Control de la Contaminación del Agua de Nevada (*Nevada Bureau of Water Pollution Control*). Los permisos de calidad del aire los otorga la Oficina de Control de la Contaminación del Aire de Nevada (*Nevada Bureau of Air Pollution Control*). Esta dependencia también maneja el Programa de Control de Mercurio de Nevada, que regula las emisiones de mercurio de las minas de oro y plata. Generalmente se requiere de aprobación obtenida a través de un proceso federal de evaluación de impacto ambiental, ya que 85% de la tierra de Nevada es de jurisdicción federal. Existe coordinación entre los procesos normativos y de revisión de índole estatal y federal.

Fuente: Butler, 2013.

Por disposición de la NEPA, las propuestas de proyectos mineros ubicados en tierras federales (o que puedan afectarlas) o que necesiten un permiso federal y puedan tener efectos importantes en el medio ambiente requieren manifestaciones de impacto ambiental (MIA) que comprendan consideración de alternativas al proyecto, descripción del medio ambiente, evaluación de posibles impactos y planes de mitigación. Los procesos de análisis y revisión de la MIA incluyen consulta pública y proveen un registro claro de las decisiones relativas a las operaciones mineras y a las medidas de mitigación. Tratándose de propuestas mineras más pequeñas, a menudo se requiere una evaluación ambiental menos amplia que ayude a la autoridad federal competente a evaluar la importancia de los efectos del proyecto. Si se determina que los efectos serán considerables, el desarrollador de la mina debe elaborar una MIA.

### 2.3.3 México

La Constitución Política de México reserva para la nación el dominio directo de los recursos minerales. La industria minera es competencia del gobierno federal y corresponde a la Secretaría de Economía vigilar el cumplimiento de leyes y reglamentos en la materia y el otorgamiento de títulos y concesiones. La Ley Minera, que rige la exploración, producción y beneficio de los recursos minerales por medio de concesiones, permite la participación del sector privado en 100% del capital destinado a la exploración mineral y a la producción de todos los minerales (excepto petróleo y materiales radiactivos). Las concesiones para la exploración se otorgan por un término de seis años y no son renovables, en tanto que las de producción se otorgan por 50 años y son renovables por 50 años adicionales. Se permite la participación extranjera en el capital de las compañías mineras. En 2014 se introdujeron cambios a los regímenes tributarios, de pago de derechos y normativos del sector minero para efectos de simplificación administrativa y como parte de una reforma fiscal integral.

La legislación federal de México provee el marco normativo para la contaminación relacionada con la minería a través de leyes, reglamentos y Normas Oficiales Mexicanas (NOM) obligatorias. La principal ley ambiental es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), cuyas atribuciones son ejercidas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Corresponde a la Semarnat emitir permisos ambientales como licencias de operación, permisos de descarga de agua y permisos relacionados con la disposición de residuos de roca y relaves. Las principales leyes federales del país que son pertinentes para el control de la contaminación generada por la minería se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Principales leyes federales que regulan la contaminación generada por el sector minero en México

|  |  |
|--|--|
| <b>Ley Minera</b>  | Esta ley autoriza concesiones y actividades mineras (exploración, extracción y beneficio). Su reglamento exige que estas actividades cumplan con todos los ordenamientos ambientales federales y estatales, incluidos requisitos para evaluaciones de impacto ambiental. |
| <b>Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)</b> | La principal ley ambiental, la LGEEPA, contiene políticas y legislación general para la regulación del medio ambiente. También establece la división de responsabilidades entre los gobiernos federal, estatales y municipales.  |
| <b>Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos</b>         | El reglamento de esta ley abarca la caracterización y gestión de residuos, incluidos residuos peligrosos y otros residuos de manejo especial. La ley también regula la remediación de sitios contaminados y la determinación de responsabilidades de remediación.        |
| <b>Ley de Aguas Nacionales</b>   | Regula el uso del agua y la preservación de la cantidad y la calidad del líquido. La reforma constitucional de 2012 ordenó la elaboración de una nueva Ley de Aguas Nacionales y ya se presentó una propuesta, formulada mediante consulta ciudadana.                    |

Fuentes: Mendoza y Jiménez, 2016; SE, 2013.

Además de las leyes que se presentan en el cuadro anterior, ciertas actividades específicas llevadas a cabo por el sector minero en México están obligadas al cumplimiento de las normas (NOM) listadas en el recuadro 7.

## Recuadro 7. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relativas al sector minero

**NOM-120-Semarnat-2011.** Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas agrícolas, ganaderas o eriales, y en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.

**NOM 141-Semarnat-2003.** Que establece el procedimiento para caracterizar los relaves, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de relaves.

**NOM 147-Semarnat/SSAI-2004.** Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y vanadio.

**NOM 155-Semarnat-2007.** Que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata.

**NOM 157-Semarnat-2009.** Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros.

**NOM 159-Semarnat-2011.** Que establece los requisitos de protección ambiental de los sistemas de lixiviación de cobre.

Fuente: SE, 2013.

Compete a la nación la asignación del uso del agua para la mayor parte de las actividades mineras, ya que las aguas que atraviesan límites estatales o fronteras internacionales, así como otros cuerpos de agua considerados propiedad de la nación, están bajo la jurisdicción del gobierno federal. Las concesiones para el uso de agua se otorgan a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la responsable de la gestión y salvaguarda de los cuerpos de agua del país.

Los gobiernos estatales están facultados para formular y aplicar políticas para proteger el medio ambiente de las emisiones contaminantes. Los estados tienen autoridad sobre el destino de los residuos de manejo especial, o residuos generados durante los procesos productivos no definidos como peligrosos (Basurto y Soza, 2007).

En 1996 se introdujo un requisito para la presentación de manifestaciones de impacto ambiental (MIA) por parte de minas y plantas de beneficio, las cuales debían ser aprobadas por la Semarnat antes de la expedición de licencias y permisos. La MIA para una mina nueva exige identificar los posibles riesgos de los residuos de la minería, así como planes para el establecimiento de sitios de manejo y disposición de residuos. El proponente debe demostrar que el diseño, construcción y operación de las instalaciones mineras cumplirán con normas y especificaciones ambientales para proteger las aguas subterráneas, aguas superficiales y otros aspectos del medio ambiente.

### 2.4 Registro de las emisiones y transferencias de contaminantes por establecimientos mineros

A pesar de las múltiples fuentes y rutas de posible contaminación de la industria minera, las emisiones y transferencias de contaminantes que se registran en los programas de registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) se limitan sobre todo a la etapa productiva, en tanto que las de otras etapas del ciclo de vida de las minas por lo general no se declaran. Asimismo, los registros en los RETC sólo toman en cuenta las disposiciones o emisiones directas al aire, el suelo o a una corriente o cuerpo de agua y no incluyen la contaminación posterior que puede resultar de residuos depositados en el suelo que interactúan con el agua y luego contaminan las aguas subterráneas o superficiales. El ejemplo más común de este efecto tardío es la escorrentía ácida, que puede seguir siendo fuente de contaminación muchos años después de la disposición inicial al suelo de la roca generadora de ácido.

Los RETC de Canadá, Estados Unidos y México disponen que las minas en operación deben presentar informes anuales en caso de reunir ciertas condiciones. Sin embargo, las diferencias en los requisitos de registro de los tres sistemas contribuyen a grandes diferencias en los tipos de minas que presentan registros y en los tipos y volúmenes de emisiones y transferencias de contaminantes que declaran. Este apartado describe los tres RETC nacionales, las diferencias entre los sistemas y la importancia de estas diferencias en la interpretación de datos registrados por minas de América del Norte e integrados y presentados en el portal *En balance en línea* (véase: <[www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)>), la base de datos RETC de América del Norte de la CCA.

### 2.4.1 Requisitos de registro en los RETC

El Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) provee un método homologado de clasificación y descripción de las actividades industriales del subcontinente, que tanto Canadá como Estados Unidos y México toman como base para presentar registros a través de sus RETC. El sistema utiliza códigos de actividad que reflejan su estructura jerárquica, cuyos códigos constan de dos a seis dígitos, cada uno de los cuales ofrece información más específica. Los códigos de dos y tres dígitos correspondientes a la industria minera son:

21: Minería, que a su vez se subdivide en:

- 211: Extracción de petróleo y gas
- 212: Minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas
- 213: Servicios relacionados con la minería y la extracción de petróleo y gas

31-33: Industrias manufactureras, que abarca:

- 327: Fabricación de productos a base de minerales no metálicos (que incluye corte y trituración de piedras y elaboración de ladrillos, cemento y productos cerámicos)
- 331: Industrias metálicas básicas (que incluye fundición y refinación de metales y la producción de aleaciones).

El tema central de este capítulo y del capítulo 3 es el código 212 del SCIAN: “Minería de metales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas”. A pesar de que los tres sistemas RETC utilizan versiones un tanto distintas del SCIAN para hacer una clasificación más detallada de los tipos de minería, todos usan la división primaria de cuatro dígitos para la minería de carbón, minerales metálicos y minerales no metálicos. En el recuadro 8 se describe lo que incluye cada uno de estos códigos.

#### Recuadro 8. Códigos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) para la minería

**2121 Minería de carbón mineral.** Unidades económicas dedicadas principalmente a la extracción subterránea de carbón bituminoso y lignito, así como a extracción con barrenos, explotación a cielo abierto, recuperación de escombreras y demás minería de superficie. Se incluyen operaciones mineras y plantas de preparación (también conocidas como plantas de limpieza y lavado), se operen o no junto con los lotes mineros.

**2122 Minería de minerales metálicos.** Unidades económicas dedicadas principalmente a la extracción de minerales metálicos (menas). También se incluyen unidades dedicadas a operaciones de acondicionamiento y beneficio de minerales, ya sea que se realicen en molinos operados junto con las minas a las que prestan servicio o en otros molinos, como molinos especiales, operados por separado. Estos últimos incluyen molinos que realizan trituración, molienda, lavado, secado, sinterización, calcinación o lixiviación del mineral u operaciones de separación por gravedad o flotación. [Se subdividen aún más en tipos de minerales, incluidos metales preciosos, hierro, metales comunes y otros metales como el uranio.]

**2123 Minería de minerales no metálicos.** Unidades económicas dedicadas principalmente a la extracción y explotación de minerales no metálicos, excepto carbón. Se incluyen plantas de preparación primaria, como las que se dedican a trituración, molienda y lavado. [Se subdividen aún más según las clases de productos extraídos.]

*Notas:* “Extracción con barrenos” consiste en la perforación horizontal de vetas de carbón; “recuperación de escombreras” es la recuperación de carbón con valor comercial de pilas de desechos de actividades extractivas previa; “operaciones de acondicionamiento o beneficio de minerales” se refiere a la adición de valor a un mineral mediante beneficio, aumentando de este modo la concentración o enriqueciendo el mineral.

Las características de los programas RETC nacionales, en particular en su relación con la minería (código 212 del SCIAN), se resumen en el cuadro 13. Los tres programas RETC de América del Norte, que se describen en términos más amplios en el apéndice 1: “Uso y comprensión de los datos de *En balance*”, son:

- Canadá: Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes (NPRI)
- Estados Unidos: Inventario de Emisiones Tóxicas (TRI)
- México: Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)

Cuadro 13. **Características seleccionadas de los registros de emisiones y transferencias de contaminantes de América del Norte**

|  | <b>NPRI de Canadá</b>   | <b>TRI de Estados Unidos</b>  | <b>RETC de México</b>   |
|--|---|---|---|
| <b>Industria minera cubierta</b>                       | Todas las instalaciones y actividades mineras, excepto explotaciones de superficie y canteras con producción inferior a 500,000 toneladas   | Minas de carbón; minas de minerales metálicos (excepto las de mineral ferruginoso y de uranio); minas de minerales no metálicos (sólo beneficio)  | Minas de minerales metálicos (sólo beneficio); caleras y cementeras; todos los establecimientos que emiten contaminantes a aguas de jurisdicción federal; actividades con manejo de residuos peligrosos |
| <b>Número de contaminantes sujetos a registro</b>      | 346 contaminantes o grupos de contaminantes   | 675 contaminantes y 30 categorías de contaminantes  | 104 contaminantes <sup>2</sup>  |
| <b>Umbral de empleo</b>                                | 10 empleados de tiempo completo o su equivalente en horas (o bien, operaciones en explotaciones de superficie y canteras con producción de 500,000 toneladas o más)   | 10 empleados de tiempo completo o su equivalente en horas   | Sin umbral de empleo  |
| <b>Umbral de registro de contaminantes<sup>1</sup></b> | Umbral de actividad (manufactura, procesamiento u otros usos) de 10,000 kg para las sustancias químicas principales; umbrales más bajos para muchas sustancias; algunas de ellas, en especial los contaminantes del aire, tienen umbrales basados en las emisiones. | Umbral de actividad (manufactura o procesamiento) de 11,340 kg (25,000 libras) para contaminantes listados; umbral para “otros usos”: 4,536 kg (10,000 libras)*; umbrales más bajos para STPB | Umbrales de actividad (por lo general, 2,500 kg o 5,000 kg) o umbrales de emisión (de 1 kg a 1,000 kg); para metales pesados, el umbral de actividad es de 5 kg y el de emisión es de 1 kilogramo       |

1. Los umbrales son los niveles a partir de los cuales se exige el registro. Se aplican umbrales más bajos de registro de contaminantes a algunas sustancias listadas en los tres sistemas RETC (véase la lista de contaminantes registrados en los RETC de América del Norte, en: <Los RETC y sus requisitos generales de registro>).

2. La lista de contaminantes del RETC se amplió de 104 a 200 sustancias a partir del año de registro 2014. Los contaminantes agregados a la lista no son sustancias que el sector minero emita o transfiera de manera ordinaria (Semarnat, 2014).

\* En el TRI estadounidense, la clasificación “Otros usos” se aplica a cualquier otra forma de utilización (por ejemplo, recuperación de residuos o limpieza de equipo) de una sustancia química, como solventes, lubricantes, refrigerantes, etcétera.

#### 2.4.2 Interpretación y comparabilidad de datos de los RETC

El cuadro 13 resume los requisitos de registro en los tres RETC aplicables a las actividades mineras específicas de cada país. Sin embargo, los programas RETC no cubren todas y cada una de las actividades dentro de este u otro sector industrial, y tampoco cubren algunas fuentes importantes de contaminantes ajenas a la industria, como las actividades agrícolas y el transporte, que se sabe contribuyen de modo significativo a la contaminación en América del Norte.<sup>28</sup>

Como se puede apreciar en dicho cuadro, los sistemas RETC difieren en el tipo de plantas industriales o en las actividades sujetas a registro, en los contaminantes que se deben declarar y en los umbrales que dan lugar a requisitos de registro. A causa de estas diferencias, que se hacen patentes en los análisis de datos del capítulo 3, México registra cantidades

28. Si se desea saber más sobre el tema, véase el apéndice 1.

mucho menores de emisiones y transferencias de contaminantes de la minería que Canadá y Estados Unidos, aun si se toman en consideración las dimensiones relativas de las industrias mineras respectivas. Otra de las causas puede ser que el porcentaje de plantas que cumplen con los requisitos de registro es menor.

Una consecuencia más de las diferencias en los requisitos de registro es que un número relativamente menor de instalaciones mineras presenta registros en Estados Unidos en comparación con Canadá (si se toman en cuenta las dimensiones de las respectivas industrias). Esto se debe a que el TRI tiene más exenciones para tipos y actividades de minería específicos. Las diferencias en los umbrales de contaminantes también generan grandes diferencias en lo que se registra. Por ejemplo, el selenio tiene un umbral de registro mucho más bajo en Canadá que en Estados Unidos, razón por la que tal vez se registren más emisiones y transferencias de selenio en Canadá. A continuación se analizan las principales características de los tres RETC nacionales en relación con la minería.

**NPRI de Canadá.** El registro no está restringido a sectores o actividades industriales específicas, sino que se basa en si una planta emite o transfiere, o no, ciertos tipos de contaminantes que deben declararse (EC, 2015). El registro es obligatorio cuando se alcanzan o exceden umbrales de contaminantes y número de empleados o niveles de producción en ciertas actividades. Las actividades extractivas y de trituración estaban exentas del NPRI antes de 2006 y el registro de contaminantes dispuestos en sitio en residuos de roca y relaves se volvió obligatorio hasta 2009 (retroactivo a 2006) (ECCC, 2015; Thorpe, 2009).

**TRI de Estados Unidos.** Salvo por las instalaciones de propiedad federal, el registro es obligatorio para todas las plantas industriales a las que corresponde un código SCIAN de seis dígitos cubierto por el TRI y que alcanzan o exceden los umbrales de registro de contaminantes y de empleados. Todos los códigos SCIAN asociados a la minería de carbón y de minerales metálicos están cubiertos por el TRI, con las notables excepciones de las minerías de minerales de hierro y uranio. Las operaciones de minería de minerales no metálicos (códigos del grupo 2123) deben registrarse sólo si la unidad se dedica principalmente al beneficio y no tiene una mina o cantera en el sitio (EPA, 2016d). Los contaminantes emitidos o transferidos durante la excavación y el triturado en la minería de minerales no metálicos no se registran.

**RETC de México.** De acuerdo con el RETC, el registro es obligatorio para 11 sectores industriales de jurisdicción federal, así como para establecimientos que manejan residuos peligrosos y todos aquellos que descargan contaminantes listados a cuerpos de agua nacionales (lo que incluye la mayor parte de los cuerpos de agua de México). Sólo se registran las emisiones y transferencias de contaminantes relacionadas con actividades de beneficio, pero no con la extracción y triturado de mineral (CCA, 2014c). No es obligatorio declarar la disposición en sitio de residuos de roca y, en la práctica, tampoco se registra la eliminación de contaminantes en relaves. La lista de contaminantes excluye muchos metales comúnmente asociados a la contaminación minera, como cobre y zinc. Sin embargo, el sistema de México puede capturar algunas operaciones mineras más pequeñas en comparación con los sistemas de Estados Unidos y Canadá, ya que los umbrales de contaminantes son más bajos y no existe umbral de registro con base en el número de empleados.

Las diferencias en los requisitos de registro pueden dificultar la comparación entre emisiones y transferencias de contaminantes de los tres países. En el apartado anterior se introdujeron las diferencias generales en los criterios de registro de los tres RETC en cuanto a cobertura de plantas industriales y de contaminantes, umbral de contaminantes y umbral de empleados. Este apartado se centra en cuestiones de comparabilidad de importancia para la interpretación de las emisiones y transferencias de contaminantes registradas por establecimientos mineros de América del Norte para el año de registro 2013 y que se presentan en el capítulo 3. En el anexo 1 del *Plan de acción para fomentar la comparabilidad de los registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) de América del Norte* (CCA, 2014a) se hace una comparación más exhaustiva de los tres sistemas RETC. Este apartado se basa en dicho plan de acción de la CCA y en documentación gubernamental de los tres sistemas RETC (EPA, 1999, 2014b y 2016d; EC, 2013; ECCC, 2015; Semarnat, 2016a).



### Asignación de códigos SCIAN

El uso de un método de clasificación único permite hacer comparaciones de datos registrados por los tres sistemas en toda América del Norte; sin embargo, todavía subsisten puntos de discrepancia en la aplicación de códigos SCIAN de una planta industrial a otra y de un país a otro. Algunas de las posibles causas de estas discrepancias son:

- **Actividades industriales que corresponden a más de una clasificación SCIAN.** En el TRI, los establecimientos pueden declarar en hasta seis códigos SCIAN si tienen varios giros o ramos distintos clasificados en diferentes categorías del sistema, identificado uno de dichos códigos como principal actividad empresarial. Por ejemplo, una planta con varios giros puede registrar emisiones y transferencias de contaminantes como mina de minerales metálicos (2122) y también como fundidora (33141) (EPA, 2014b). No obstante, si un solo ramo realiza tanto las actividades de fundición como las de extracción, solamente usará un código SCIAN para el registro. En el NPRI y el *RETC*, por su parte, las plantas se identifican con un solo código SCIAN. Por consiguiente, es factible que, en los tres países, las emisiones y transferencias de contaminantes asociadas a otras actividades, como la fundición, acaben registradas bajo un código SCIAN correspondiente a minería.
- **Diferentes versiones de los códigos SCIAN.** Las descripciones de los códigos SCIAN se actualizan cada cinco años en un proceso conjunto en el que participan dependencias de Canadá, Estados Unidos y México. Sin embargo, los tres sistemas *RETC* no están sincronizados en el uso de la versión más reciente del SCIAN y esto puede generar divergencias entre los sistemas en términos de cuáles códigos y descripciones se utilizan en un año de registro dado (CCA, 2014c). La actualización más reciente a los códigos SCIAN se hizo en 2012. No se hicieron cambios a códigos o descripciones del sector minero (BLS, 2012); por tanto, es probable que dicha actualización no haya dado lugar a discrepancias para el año de registro 2013.
- **Actividades similares.** Corresponde a las propias plantas industriales registrar los códigos SCIAN aplicables a su actividad y en ocasiones lo hacen en forma incorrecta o distinta. Esto sucede sobre todo cuando se utilizan códigos de cinco o seis dígitos, ya que las plantas que llevan a cabo actividades muy similares a veces registran códigos incorrectos o inválidos (CCA, 2014a). Los análisis de datos realizados a escalas de “Minería, excepto petróleo y gas” (código de tres dígitos) y de grupo industrial (códigos de cuatro dígitos) presentan menos probabilidades de verse afectados por estos errores que los análisis a escala de códigos de cinco y seis dígitos.
- **Familiaridad de las plantas con los códigos SCIAN.** En Estados Unidos, el uso de códigos SCIAN para presentar registros al TRI se inició en 2006, alineando de esta manera al TRI con el NPRI de Canadá. En México, la obligación de las plantas de presentar registros usando códigos SCIAN data de principios de 2012; antes de ese año se usaban los códigos de clasificación industrial de la Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP), cuya reconfiguración a códigos SCIAN corrió por cuenta de personal del *RETC*. El poco tiempo que las plantas industriales mexicanas llevan usando códigos SCIAN, en comparación con las plantas de Estados Unidos y Canadá, es una posible fuente de divergencia en la aplicación de códigos.

### Contaminantes sujetos a registro

Los contaminantes sujetos a registro en cada sistema *RETC* difieren en número (véase el cuadro 13), ya que los sistemas de Estados Unidos y Canadá abarcan muchos más contaminantes que el de México. Los establecimientos mineros registraron emisiones y transferencias de 79 sustancias para 2013 (capítulo 3) y sólo 15 de ellas eran comunes a los tres sistemas. La ampliación de la lista de contaminantes del *RETC*, vigente a partir del año de registro 2014 (Semarnat, 2014), no cambia este grado de comparabilidad tan bajo porque no se agregó a la lista ninguno de los contaminantes registrados únicamente por minas canadienses y estadounidenses. Sólo siete de los 25 contaminantes con mayores registros del sector minero (responsables de más de 99% de las emisiones y transferencias del sector) eran comunes a los tres sistemas: plomo, arsénico, níquel, cromo, cadmio, cianuros y mercurio (y sus respectivos compuestos). En Canadá y Estados Unidos es obligatorio —no así en México— presentar registros de zinc, manganeso y cobre (y sus respectivos compuestos), todos ellos comúnmente emitidos o transferidos por minas de minerales metálicos. El fósforo total sólo se declara en Canadá, en tanto que el bario se declara sólo en Estados Unidos.

Un problema de comparabilidad de los RETC relacionado con el registro de metales es que en Canadá, con unas pocas excepciones, las plantas deben declarar las emisiones y transferencias de metales junto con sus compuestos (por ejemplo, cadmio y sus compuestos), en tanto que el TRI estadounidense y el RETC mexicano en general requieren el registro separado de cada metal y sus compuestos. En virtud de que no hay manera de saber qué sustancia o sus compuestos emitieron o transfirieron las plantas canadienses, los datos están agrupados en la base de datos RETC de América del Norte: *En balance en línea*.

Los sistemas RETC de los tres países también difieren en los umbrales de contaminantes que desencadenan la obligación de registro, y es el RETC mexicano el que en general tiene umbrales más bajos. Las diferencias son marcadas en el caso de varios de los contaminantes comúnmente asociados a la minería (cuadro 14) y esto se debe tener en consideración al comparar las emisiones y transferencias registradas de estas sustancias.

Cuadro 14. **Umbrales de registro de los RETC nacionales para contaminantes seleccionados del sector minero**

| Sustancia | Umbral de registro (kg) |                       |        |                |                |
|-----------|-------------------------|-----------------------|--------|----------------|----------------|
|           | NPRI de Canadá          | TRI de Estados Unidos |        | RETC de México |                |
|           | MPO (kg)                | MP (kg)               | O (kg) | MPO (kg)       | Emisiones (kg) |
| Plomo*    | 50                      | 45                    | 45     | 5              | 1              |
| Arsénico* | 50                      | 11,340                | 4,536  | 5              | 1              |
| Cromo*    | 10,000 <sup>†</sup>     | 11,340                | 4,536  | 5              | 1              |
| Cadmio*   | 5                       | 11,340                | 4,536  | 5              | 1              |
| Cianuros  | 10,000                  | 11,340                | 4,536  | 5,000          | 100            |
| Níquel*   | 10,000                  | 11,340                | 4,536  | 5              | 1              |
| Mercurio* | 5                       | 4.5                   | 4.5    | 5              | 1              |

Notas: Los umbrales mostrados se aplican a la masa de una sustancia manufacturada (M), procesada (P) o con otro uso (O).

\*\* significa "y sus compuestos". MPO = manufactura, procesamiento u otros usos. MP = Manufactura y procesamiento.

† El NPRI tiene un umbral más bajo para el Cr6 (cromo hexavalente), forma sumamente tóxica del cromo.

### Relaves y residuos de roca estéril

Los relaves mineros son producto de las actividades de beneficio, y la eliminación o disposición de los contaminantes que contienen está sujeta a registro en los tres sistemas RETC, aunque con algunas diferencias notorias. En el RETC, "disposición" se define como una transferencia fuera de sitio, lo que significa que no existe categoría para declarar los contaminantes eliminados en sitio por medio de relaves; consecuentemente, éstos no se registran. En el TRI y el NPRI, un contaminante contenido en los relaves —incluso si se trata de una sustancia natural— debe registrarse si la cantidad en la que se manufactura, procesa o utiliza en la mina supera el correspondiente umbral de registro. No se aplican exenciones *de minimis* (umbrales de concentración por debajo de los cuales no se requiere registro).

En virtud de que los residuos de roca estéril son un subproducto de la excavación de la mina y no del beneficio, no es obligatorio declarar los contaminantes que contienen en los casos en que los criterios de registro de emisiones y transferencias se aplican únicamente al beneficio. Por lo anterior, ninguna mina en México y ninguna mina de minerales no metálicos en Estados Unidos registra la disposición de contaminantes contenidos en residuos de roca estéril (véase el cuadro 13). Asimismo, los umbrales se aplican a la roca residual de manera diferente a como se aplican a los relaves.

En cuanto al TRI, un contaminante contenido en residuos de roca estéril (en una mina de minerales metálicos o una mina de carbón) eliminados en sitio no se registra a menos que se exceda el umbral aplicable a la masa de dicho contaminante como resultado de emisiones por otras vías (y, de hecho, la cantidad del contaminante en los residuos de roca no se incluye en el cálculo). Si el umbral se excede, entonces el volumen del contaminante eliminado en los residuos de roca estéril debe declararse y la exención de concentración *de minimis* no se aplica. En el NPRI, la roca residual se incluye en el cálculo de umbral aplicable a la masa total de una sustancia, a menos que la roca se clasifique como inerte. En los casos en que una sustancia deba declararse como contenida en residuos de roca estéril, una exención *de minimis* puede aplicarse, dependiendo de la clasificación de la sustancia.

La disposición de residuos de roca estéril de una mina puede variar en forma radical de un año a otro, a causa principalmente de oscilaciones en la concentración de los metales y los volúmenes extraídos. Esto explica muchas veces los cambios más bien drásticos en las emisiones y transferencias totales que en ocasiones registran las minas de minerales metálicos en años consecutivos. Estas fluctuaciones año con año también pueden ser exageradas por una planta que cruza un umbral de cantidad o califica para la exención *de minimis* por un año y al siguiente ya no, o viceversa. En el recuadro 9 se resume información de los umbrales *de minimis* y su aplicación en el NPRI y el TRI.

### Recuadro 9. Exenciones *de minimis* (umbral) y concentraciones en el TRI y el NPRI

“*De minimis*” es el término utilizado por el TRI y “umbral de concentración” es el que utiliza el NPRI. Ambos se refieren a la concentración específica de un contaminante por debajo de la cual no se requiere su consideración en el cálculo del umbral de registro. Cuando un contaminante no tiene exención *de minimis*, todas sus emisiones deben declararse, independientemente de su concentración. No existe equivalente en el *RETC* mexicano.

#### TRI de Estados Unidos

Los niveles *de minimis* son compatibles con el requisito de la Norma de Comunicación de Riesgos (*Hazard Communication Standard*) de la Administración para la Seguridad y la Salud Laborales (*Occupational Safety and Health Authority*, OSHA) para la elaboración de fichas de datos de seguridad de materiales (*Material Safety Data Sheets*) (EPA, 2015). El nivel *de minimis* es de 1.0% a menos que la sustancia sea un carcinógeno definido por la OSHA, en cuyo caso es de 0.1 por ciento. Los carcinógenos definidos por la OSHA incluyen muchos contaminantes relacionados por lo general con la minería, como arsénico, cadmio y cobalto. No existen exenciones *de minimis* para sustancias químicas tóxicas persistentes y bioacumulables (STPB). Las STPB comúnmente asociadas a las actividades mineras son mercurio y plomo, entre otras. Las exenciones *de minimis* no se aplican a los relaves, pero podrían aplicarse a los residuos de roca.

#### NPRI de Canadá

Las sustancias sujetas a registro en el NPRI se agrupan en seis categorías: Parte 1A, sustancias principales; Parte 1B, sustancias con umbral alterno; Parte 2, hidrocarburos aromáticos policíclicos; Parte 3, dioxinas, furanos y hexaclorobenceno; Parte 4, contaminantes atmosféricos de criterio, y Parte 5, compuestos orgánicos volátiles especiados. El umbral de concentración para las sustancias de la Parte 1A es de 1.0 por ciento. Diversas sustancias de este grupo han sido objeto de registro en NPRI prácticamente desde que éste se creó y a muchas se les considera tóxicas en conformidad con la CEPA. Las sustancias de la Parte 1B (mercurio, cadmio, arsénico, cromo hexavalente, plomo, tetraetilo de plomo y selenio) pueden tener efectos graves en la salud humana y el medio ambiente, incluso en niveles bajos. Los umbrales de concentración para estas sustancias van desde cero (sin umbral) hasta 0.1 por ciento. No existe umbral de concentración para ningún tipo de emisión contaminante de sustancias de los grupos 2, 3, 4 y 5. Tampoco se aplican exenciones basadas en niveles de concentración a la disposición de contaminantes en relaves. Para contaminantes en roca residual, sólo se aplican exenciones basadas en el umbral de concentración de la Parte 1A (pero no de la Parte 1B).

Fuentes: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 1999 y 2016d); Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (EC, 2013; ECCC, 2015)

### Categorías de registro en los RETC

Los sistemas RETC nacionales difieren en las categorías en las que se registran las emisiones y transferencias de contaminantes. Esta variabilidad limita los tipos de análisis de datos comparativos que se pueden hacer. El cuadro 15 muestra las categorías de registro en sitio de cada RETC nacional y las categorías utilizadas por *En balance en línea* (la base de datos de la CCA, con motor de búsqueda, sobre los RETC de América del Norte) a efecto de combinar y uniformar los datos de los tres sistemas nacionales. El cuadro ilustra la diversidad de categorías de manejo de residuos en los tres países, lo que dificulta la comparación de datos de toda América del Norte. Como ya se mencionó, una diferencia con grandes repercusiones en nuestra capacidad para comprender los datos registrados por el sector minero (en particular en relación con el manejo de relaves) es que, a diferencia del NPRI canadiense y el TRI estadounidense, el RETC de México no cuenta con una categoría para el registro de eliminación o disposición en sitio.

Cuadro 15. Categorías de registro en sitio de cada sistema RETC (2013)

| Sistema RETC  | Emisiones al aire  | Emisiones al agua  | Emisiones al suelo, eliminación en el suelo e inyección subterránea  |
|---|--|--|--|
| <b>NPRI<sup>1</sup><br/>(Canadá)</b>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones por chimenea</li> <li>- Almacenamiento y manejo</li> <li>- Emisiones fugitivas</li> <li>- Derrames</li> <li>- Otras emisiones</li> <li>- Emisiones de polvo de caminos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descargas directas</li> <li>- Derrames</li> <li>- Fugas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones:</li> <li>· Derrames</li> <li>· Fugas</li> <li>· Otras</li> <li>- Operaciones de eliminación:</li> <li>· Relleno sanitario</li> <li>· Aplicación en suelos (para tratamiento o remediación)</li> <li>· Inyección subterránea</li> <li>· Relaves</li> <li>· Residuos de roca estéril</li> </ul>  |
| <b>TRI (Estados Unidos)</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones al aire fugitivas o no puntuales (<i>incluidas emisiones generadas por accidentes y fallas</i>)</li> <li>- Emisiones por chimenea o puntuales al aire</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descargas a corrientes o cuerpos de agua receptores (<i>incluye descargas al final del tubo y escorrentía de aguas pluviales en los lugares en donde se monitorea; se registra el porcentaje de aguas pluviales</i>)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inyección subterránea</li> <li>- Eliminación o disposición en el suelo:</li> <li>· Rellenos sanitarios</li> <li>· Tratamiento o remediación de tierras y aplicación en suelos agrícolas</li> <li>· Embalses superficiales (<i>presas de relaves y estanques de decantación</i>)</li> <li>· Otras disposiciones (<i>combina residuos de roca estéril y otras emisiones o descargas, incluidas fugas y derrames</i>)</li> </ul> |
| <b>RETC (México)</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones de establecimientos</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descargas directas a cuerpos de agua superficiales</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones al suelo (la suma de derrames, inyección subterránea, disposición en rellenos sanitarios, aplicación en suelos agrícolas) (<i>El RETC no tiene una categoría específica para eliminación o disposición en sitio</i>)</li> </ul>   |
| <b>En balance en línea</b><br>(base de datos RETC de América del Norte) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones al aire</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Descargas en aguas superficiales (emisiones al agua)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisiones por inyección subterránea</li> <li>- Operaciones de eliminación y emisiones en el suelo</li> </ul>  |

1. En Canadá, cuando una planta emite menos de 1 tonelada de una sustancia de la Parte 1A durante el año, la emisión se puede registrar como volumen "total", sin especificar el medio (aire, agua o suelo).

Fuentes: Semarnat, 2016b; ECCC, 2016b; CCA, 2014a; EPA, 2014b.

El NPRI y el TRI exigen el registro de emisiones al aire de fuentes no puntuales, pero no así el *RETC*. Las emisiones fugitivas al aire y otras emisiones no puntuales de la minería pueden ser significativas, si bien lo que reviste mayor preocupación son las partículas suspendidas que contienen, y éstas se registran sólo en el NPRI. Éste es el único sistema con el requisito específico de declarar las partículas suspendidas del polvo de los caminos. Como se describe en el capítulo 1, el programa canadiense también obliga al registro de contaminantes atmosféricos de criterio (CAC), en tanto que el *RETC* de México incluye el registro de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, en virtud de que las emisiones de CAC y GEI no se registran de manera uniforme en los tres *RETC*, no se incluyen en el portal *En balance en línea*.

Las emisiones al agua, al igual que al aire, pueden ser de fuentes puntuales o en forma de drenaje difuso a través del lugar de la mina a corrientes y cuerpos de agua. El TRI dispone que la escorrentía de aguas pluviales se debe calcular y registrar si se monitorea. Las minas canadienses sujetas al Reglamento sobre Efluentes de la Minería de Metales Metálicos deben recolectar y tratar las aguas pluviales antes de emitirlos como descargas de fuentes puntuales. Los contaminantes en esta escorrentía gestionada se registran a través del NPRI.

En el *RETC*, las emisiones al suelo están agregadas e incluyen derrames, inyección subterránea, aplicación en suelos agrícolas y disposición en rellenos sanitarios. Como antes se dijo, no es obligatorio registrar los contaminantes contenidos en residuos de roca y no existe una categoría que incluya los relaves. Lo que sí tiene el *RETC*, además de las categorías ya señaladas, es una categoría de registro de transferencias fuera de sitio llamada “disposición final”. Como resultado, las minas de México no registran las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, que sí se registrarían en Estados Unidos y Canadá y que conforman el grueso de los contaminantes declarados por el sector minero de América del Norte.

En el portal *En balance en línea*, las disposiciones o emisiones de contaminantes en relaves, residuos de roca y derrames no son diferenciables porque están agrupadas en la categoría “emisiones para disposición o al suelo” o, en el caso de derrames al agua, en “descargas a aguas superficiales”. Aunque esto es necesario para resolver las grandes diferencias entre los tres *RETC*, puede limitar nuestra comprensión de los datos registrados por los establecimientos mineros de toda América del Norte, ya que estos tres tipos de disposición o emisión de contaminantes son los más significativos de numerosas minas; también son muy diferentes unos de otros en cuanto a su riesgo para la salud humana y el ambiente, al igual que en términos de escala, por lo que deben analizarse por separado. A continuación se ofrece información adicional sobre estos tipos de disposición y emisión de minas:

- La disposición de contaminantes en áreas de relaves se declara como categoría aparte en el NPRI y el TRI; por lo tanto, se analiza y compara consultando datos de los sistemas nacionales.
- La disposición de contaminantes en áreas de disposición de residuos de roca se registra como categoría aparte en el NPRI, pero se agrupa con otros tipos de emisiones al suelo en el TRI.
- Los derrames se pueden distinguir de otros tipos de emisiones sólo en el NPRI. Además de la falta de uniformidad en la categorización de derrames entre los tres *RETC*, los requisitos para su registro son sumamente diferentes para el sector minero. Los derrames por accidentes que liberan contaminantes de un medio a otro (por ejemplo, de relaves a aguas superficiales) deben declararse a través del NPRI. En el TRI, sin embargo, si la cantidad de una sustancia ya se asentó como emitida a un medio, no es necesario registrarla otra vez si dicha sustancia, o parte de la misma, migra después a un medio diferente (por ejemplo, si una sustancia química que es líquida en su estado natural es emitida al suelo, se registra la cantidad emitida. Si con el tiempo parte de la sustancia se evapora, la cantidad que se evapora no se declara como emisión a la atmósfera; es decir, una emisión no se registra dos veces). Por tanto, una emisión causada por la rotura de una presa de relaves (la fuente de la mayor parte de los grandes derrames mineros) debería registrarse en el NPRI, pero no necesariamente en el TRI. En México, aun cuando los datos de derrames por accidentes se declaran en la Cédula de Operación Anual (COA), el programa integral que incluye al *RETC*, no se puede tener acceso a ellos a través de este registro.<sup>29</sup>

29. Los derrames se informan también a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa), autoridad mexicana responsable de la protección del medio ambiente.

## 2.5 Sustentabilidad de la minería de América del Norte

El incremento de la sustentabilidad del sector minero de América del Norte precisa de acciones y alianzas entre los sectores público y privado, así como de cambios en regímenes normativos y prácticas de inversión, y colaboración con grupos interesados para asegurar que los riesgos e impactos negativos para la sociedad y el medio ambiente se reduzcan a su mínima expresión y que las comunidades locales se beneficien de la minería. Las diversas herramientas de que se puede echar mano para mejorar la sustentabilidad de la minería son, entre otras, tecnología avanzada de control de la contaminación y mejores marcos de trabajo para la evaluación y la toma de decisiones. En este apartado se abordan algunos de los retos que enfrenta la minería sustentable en América del Norte, y posibles soluciones, con énfasis en la prevención de la contaminación.

### 2.5.1 Minería sustentable: concepto e iniciativas

Gran parte de la contaminación actual de América del Norte relacionada con la minería tiene su origen en las prácticas del pasado que dañaron tierras y corrientes de agua, afectaron comunidades y crearon responsabilidades sociales y económicas para el sector público (Asif y Chen, 2016; Dashwood, 2014). Las prácticas mineras de la actualidad, más responsables y además conscientes de este legado, tratan de hacer frente a los retos económicos, sociales y ambientales de la minería al atender esas preocupaciones, asegurándose de que los beneficios lleguen a las comunidades en la región minera y minimizando el daño ambiental a largo plazo. Algunas de las acciones para emparejar a la minería con principios de desarrollo sustentable están encabezadas por el gobierno y otras por la industria, impulsados ambos por el reconocimiento de la necesidad de mejora (MacDonald, 2002; Dashwood, 2014; IIED, 2002).

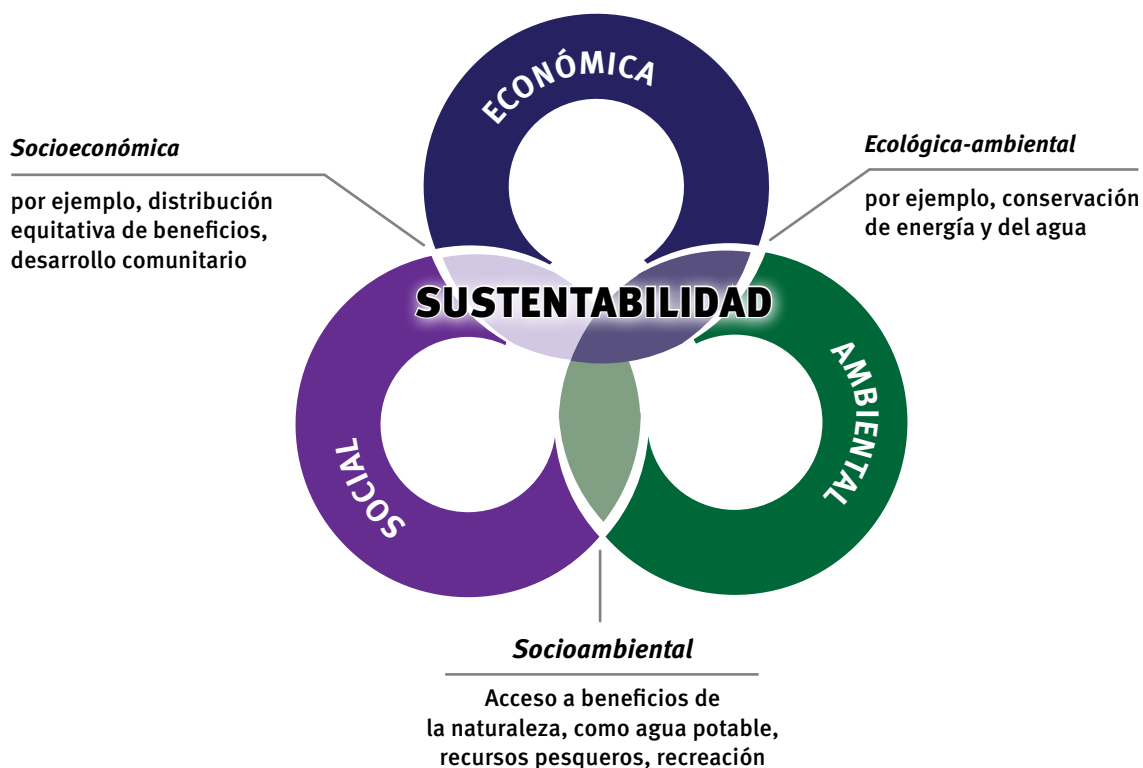
**Desarrollo sustentable** se definió en el informe de la Comisión Brundtland, en 1987, como *“aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* (Asamblea General de las Naciones Unidas, 1987, p. 41). El objetivo general es la estabilidad a largo plazo tanto ambiental como económica. Un principio medular del desarrollo sustentable es la integración de cuestiones económicas, ambientales y sociales a la toma de decisiones.

#### *¿Qué es la minería sustentable?*

Las operaciones mineras tienen una vida útil determinada, puesto que dependen de recursos no renovables. La tecnología puede extender la vida de una mina por medio de técnicas de beneficio de minerales que explotan depósitos de ley más baja que antes se consideraban económicamente inviables. Muchas minas establecidas han producido metales durante más de 100 años gracias al mejoramiento de los métodos de extracción y recuperación. A pesar de que no es posible sostener un proyecto minero individual más allá de un tiempo de vida finito, la industria minera puede aplicar un paradigma de desarrollo sustentable (gráfica 25) sin dejar de ofrecer oportunidades duraderas de desarrollo económico y social a las regiones mineras, y manteniendo al mismo tiempo la integridad del ambiente.

En la **esfera económica**, los mercados mundiales competitivos ejercen presión para equilibrar los costos, productividad y valor de los productos minerales. En la **esfera ambiental**, un conocimiento más profundo y una mayor conciencia de la misma han llevado a requisitos cada vez más estrictos para reducir el consumo de energía y agua, disminuir las emisiones de carbono y los desechos, evitar daños a la biodiversidad acuática y terrestre y dar garantías técnicas y financieras para la protección de los ecosistemas después del cierre de las minas. En la **esfera social**, las empresas mineras enfrentan toda una gama de expectativas con frecuencia contradictorias, que incluyen respetar e integrar los derechos, intereses y valores patrimoniales de pueblos indígenas, proporcionar empleos y beneficios socioeconómicos a la región y la nación y proteger las actividades recreativas y económicas ya existentes (Pimentel *et al.*, 2016; ICMM, 2012).

Gráfica 25. Las tres esferas de la sustentabilidad



Fuente: Concepto tomado de la Escuela de Minería de Colorado (Colorado School of Mines), 2016.

El desarrollo sustentable es el marco de trabajo común en el que descansan las políticas sobre responsabilidad social empresarial de las compañías mineras (Dashwood, 2014). Dado que un gran número de dichas compañías son de talla internacional, muchas iniciativas de sustentabilidad se llevan a cabo a escala mundial, en particular a través del Consejo Internacional de Minería y Metales y la organización Global Reporting Initiative (GRI, 2016). Las asociaciones industriales de los países también están asumiendo el liderazgo en este campo (MAC, 2016b; PDAC, 2016) (véase el recuadro 10). Aunque se trata de programas voluntarios, muchas veces son una condición de afiliación a las asociaciones e incorporan compromisos formales con principios y prácticas, auditorías externas e información pública.

Otra forma de incentivar a las empresas para que adopten prácticas de sustentabilidad ambiental es mediante estipulaciones de mecanismos de financiamiento para explotación minera e infraestructura asociada. Los inversionistas se preocupan por reducir sus riesgos evaluando no sólo la rentabilidad del desarrollo de un depósito mineral, sino también los riesgos que implica no prestar atención a las dimensiones sociales, económicas y ambientales del desarrollo de la mina. Bancos y otras instituciones crediticias adoptan cada vez más requisitos y normas para la evaluación de proyectos. Las normas de la Corporación Financiera Internacional y los Principios del Ecuador (adoptados por el Banco Mundial y la banca comercial) son ejemplo de mecanismos financieros que brindan a las entidades crediticias un indicador de garantía de que se han atendido cuestiones de sustentabilidad (UN ECE, 2014; Marshall, 2015; Eamer *et al.*, 2015).

## Recuadro 10. Ejemplo de iniciativa de la industria: *Towards Sustainable Mining*

La iniciativa *Towards Sustainable Mining*, creada en 2004 por la Asociación Minera de Canadá (*Mining Association of Canada*), es un “conjunto de herramientas e indicadores para promover el desempeño y asegurar la gestión responsable de los principales riesgos de la minería en las instalaciones de nuestros afiliados” (MAC, 2016b). Al sumarse a la iniciativa, una compañía minera se compromete a lo siguiente:

- apego a una serie de compromisos sobre prácticas sociales, económicas y ambientales responsables;
- integración de protocolos e indicadores de desempeño a los sistemas de operación y administración del establecimiento;
- autoevaluación anual de desempeño (asignando una calificación con letra a cada indicador);
- verificación externa de la evaluación de cumplimiento cada tres años, y
- capacitación en protocolos y marcos de trabajo.

Los protocolos y directrices técnicas abarcan divulgación a comunidades y a pueblos indígenas, gestión de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero, manejo de relaves, gestión de conservación de la biodiversidad, seguridad y salud y planeación de manejo de crisis.

Fuente: Mining Association of Canada (MAC, 2016b).

### Programa de verificación de la iniciativa *Towards Sustainable Mining*



Fuente: Adaptado de MAC, 2016b.

### *Licencia social para operar*

En 1999, los líderes de nueve de las principales compañías mineras del mundo emitieron una declaración en la que se reconocía que la “licencia social para operar” de la industria estaba en riesgo ante la brecha creciente entre las prácticas de la industria y las expectativas de la sociedad (MacDonald, 2002). Ante esta situación, encomendaron la elaboración de un estudio independiente a través del Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible para la evaluación del sector minero y de explotación de minerales en términos de la transición al desarrollo sustentable (IIED, 2002). El informe señaló que la industria minera “no es merecedora de la confianza de muchas de las personas con las que trata día a día” y resaltó la necesidad de reconstruir la confianza entre la industria y los grupos interesados.

En cuanto a la industria minera de América del Norte, las acciones encaminadas a generar apoyo para la minería se agruparon en el concepto de licencia social para operar (LSO) (Minería Sustentable, 2016; ICMM, 2015a; Rheume y Caron-Vuotari, 2013). La LSO, término que la industria minera canadiense utilizó por primera vez a finales de la década de 1990, está ligada al concepto más amplio de responsabilidad social de las empresas, que incluye responsabilidades éticas, legales y económicas, incluidas aquellas vinculadas al desarrollo sustentable (Fraser Institute, 2012). La LSO expresa la idea de que las compañías mineras necesitan, más que aprobaciones gubernamentales y permisos de operación, el permiso, o apoyo, de la sociedad para abrir y administrar una mina. La LSO no es de suyo un requisito legal, pero se le considera cada vez más como elemento esencial del proceso de obtención de autorización para la apertura de nuevas minas. Se traslapa con los requisitos de los procesos de consulta y atención de inquietudes ciudadanas de la EIA.

No existe una definición única del término, ni es clara la manera en que se obtiene esta “licencia”, a más de que el uso de dicho término ha resultado controversial (Portales y Romero, 2016; West Coast Environmental Law, 2015; Owen y Kemp, 2013). La adquisición de una licencia social para operar puede ser interpretada por un proponente y por quienes aboguen por seguir adelante con una mina como la obtención de amplio consenso en apoyo de un proyecto, aun cuando en lo sustantivo se dejen de lado derechos y expectativas importantes y frecuentemente contradictorias de



grupos minoritarios. La promesa de generación de empleos en un área, por ejemplo, puede otorgar esta aparente masa crítica de apoyo y encubrir preocupaciones sociales y ambientales subyacentes aún no resueltas. En términos más generales, para que una compañía obtenga y conserve una LSO requiere altas normas de responsabilidad social empresarial, transparencia y atención constante a prácticas de minería sustentables.

El trabajo en pro de la obtención de una licencia social para operar puede propiciar un gran avance hacia la minería sustentable. La consulta con comunidades y grupos representativos de intereses sociales y económicos que pueden resultar afectados por la mina es fundamental para obtener apoyo para el proyecto. Estas consultas pueden derivar en cambios en los planes del proyecto para dar cabida a inquietudes, así como en convenios formales entre compañías mineras y comunidades afectadas que establezcan responsabilidades y mecanismos de seguimiento. Alianzas y actividades conjuntas permiten compartir la toma de decisiones y los beneficios del proyecto y promueven la cooperación en metas sociales, ambientales y económicas definidas de común acuerdo. Estos convenios pueden tomar la forma de alianzas financieras o de acuerdos formales en que se hagan constar los compromisos de industria y comunidades (véase el recuadro 11).

### Recuadro 11. Acuerdos de impacto y beneficios

Los acuerdos de impacto y beneficios (AIB) son acuerdos legalmente obligatorios entre la industria y organizaciones y comunidades indígenas de Canadá. Se basan en contratos, establecen compromisos mutuos y generalmente abarcan mitigación de impactos, participación comunitaria en el proyecto minero y acceso a beneficios. Ejemplo de un acuerdo de este tipo es el AIB inuit del proyecto Mary River para una nueva mina de mineral de hierro en Nunavut, Canadá. Se trata de un contrato entre la compañía minera Baffinland (*Baffinland Iron Ore Mines Corporation*) y la asociación inuit Qikiqtani para el norte de la Isla de Baffin, región que integra a cinco comunidades. Contiene estipulaciones de mitigación y monitoreo de impactos, así como de maximización de beneficios para los inuit derivados de la propiedad de la tierra y de la celebración de contratos, de empleo, educación y capacitación, y es administrado por un comité del que forman parte miembros de la compañía y de la asociación inuit (Baffinland y QIA, 2013). En 2016 había 67 AIB activos en Canadá, de los cuales 41 correspondían a minas en producción. También había 317 acuerdos vigentes más de otro tipo; por ejemplo, acuerdos de cooperación y memorandos de entendimiento, entre compañías mineras y organizaciones indígenas (NRCan, 2016e).

A pesar del aumento en la participación ciudadana en los emprendimientos mineros de muchas regiones, los pobladores locales siguen viéndose afectados negativamente por las operaciones mineras actuales y del pasado por cuanto respecta a contaminación, degradación del ambiente y perturbación de sus comunidades y su economía. Encuestas anuales sobre el punto de vista de la población mundial sobre estas empresas en la sociedad demuestran que el nivel de confianza de la ciudadanía en la industria minera en América del Norte y Europa sigue siendo bajo (GlobeScan, 2014 y 2017). Canadá, Estados Unidos y México estuvieron entre los seis países con las calificaciones de confianza más bajas de los 24 países analizados en 2014. Encuestados de América del Norte fueron quienes más aludieron a los problemas ambientales como los asuntos más importantes que debe atender la industria minera (GlobeScan, 2014).<sup>30</sup>

Una encuesta entre grupos interesados de la industria minera, encomendada por el Consejo Internacional de Minería y Metales en 2014,<sup>31</sup> identificó las inquietudes y problemas principales que enfrenta esta industria (ICMM y GlobeScan, 2014). La encuesta también sacó a la luz que cada vez se insiste más en la participación ciudadana para atender problemas sociales y ambientales. Los primeros lugares de la lista de temas que preocupan a los grupos interesados los ocuparon cuestiones ambientales, licencia social para operar y normatividad. Como principales retos de la industria se identificaron bajos precios de los productos y presiones asociadas para reducir costos. Los encuestados colocaron consumo y gestión del agua y manejo de relaves como máximas prioridades.

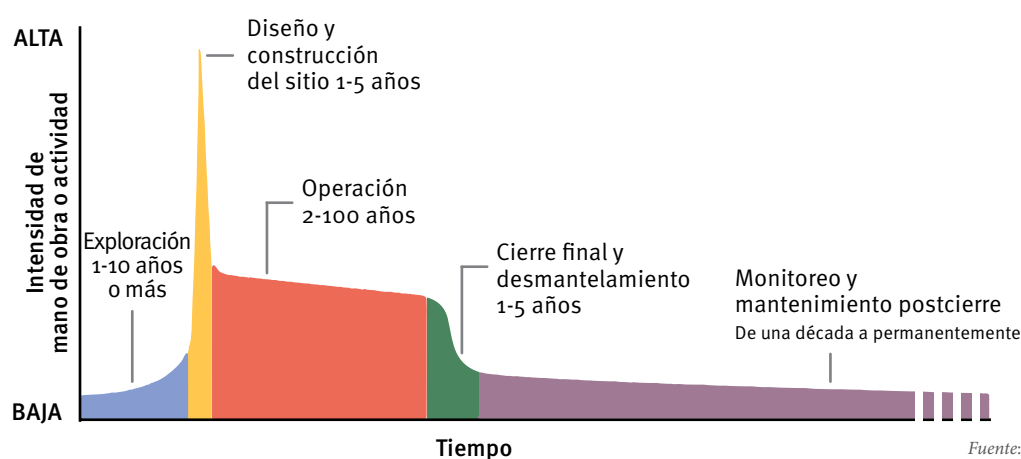
30. Con base en entrevistas de muestras representativas de 1,000 adultos por país en 24 países; error de muestreo dentro de cada país de  $\pm 2.8$  a 4.9 por ciento, 19 veces de 20.

31. Las respuestas corresponden a 323 interesados de la industria minera de Estados Unidos y Canadá y 200 de América Latina (incluido México). Los interesados eran personas familiarizadas con la industria minera y asociados al sector privado (más de la mitad de los encuestados), el sector público, asociaciones gremiales, organizaciones no gubernamentales o los medios.

## 2.5.2 Tendencias y avances en la planeación, obtención de permisos y gestión del ciclo de vida de una mina

La minería sustentable requiere que se planee toda la vida de la mina, desde la fase de exploración hasta la etapa posterior al cierre (gráfica 26). Los avances en este tema se han concentrado en ambos extremos del ciclo: evaluación y planeación inicial y desmantelamiento y postcierre. La normatividad aplicable a la construcción y operación de una mina es ahora más estricta y en ocasiones más compleja (Marshall, 2015), generalmente porque se le han hecho reformas para ajustar los niveles permisibles de descargas o agregar requisitos específicos de control de la contaminación. Por ejemplo, al saberse que los niveles de selenio aumentan en las aguas corriente abajo de las minas de carbón, la normatividad mejoró y los requisitos de registro para este contaminante son ahora más estrictos (CCA, 2014c; Hendry *et al.*, 2015; EC, 2012).

Gráfica 26. Ciclo de vida de una mina



### Evaluación de impacto ambiental

Entre las tendencias y avances en evaluación de impacto ambiental (EIA) se cuenta con una metodología mejorada de evaluación de riesgos para la salud humana y el medio ambiente y una evaluación basada en el lugar (y no en el proyecto), por ejemplo, en cuencas de agua. Amplias investigaciones realizadas en este campo (por ejemplo, EPA, 2016a; Olagunju y Gunn, 2016) sirven de fundamento a los cambios en políticas, leyes y prácticas en materia de evaluación de impacto ambiental.

Cada vez se insiste más en la evaluación de los efectos acumulados (la suma de los efectos del proyecto propuesto más aquellos de otras actividades humanas pasadas, presentes y quizá futuras) como parte de las EIA de proyectos mineros y a través de acuerdos internacionales (por ejemplo, CCSI *et al.*, 2016a). A pesar de que en toda América del Norte se exige la evaluación de tales efectos, este requisito no siempre se ha podido aplicar con eficacia debido a lagunas en marcos jurídicos y a prácticas y restricciones metodológicas (Mendoza Sammet, 2008). Nuevos métodos y herramientas de evaluación de los riesgos representados por múltiples fuentes de contaminación promueven la práctica de la evaluación acumulativa, pero su aplicación no está muy difundida (Solomon *et al.*, 2016). Asimismo, se amplió el alcance de las EIA para incorporar preocupaciones nuevas o ya existentes pero que han adquirido mayor pertinencia, como especies en riesgo, especies invasoras y cambio climático.

### Cumplimiento y aplicación

Un componente fundamental del desarrollo sustentable es la protección —por parte del sector público— de los recursos compartidos, en donde los principales, por cuanto respecta a minería y contaminación, son agua y aire limpios (Emas, 2015). La protección de los recursos compartidos requiere, antes que leyes y reglamentos, un seguimiento adecuado del cumplimiento y la aplicación de las normas.

La contaminación persistente generada por minas abandonadas, la responsabilidad pública de la recuperación y varios derrames mineros graves ocurridos en fechas recientes contribuyen a aumentar la preocupación de la ciudadanía por los problemas de contaminación minera. Los derrames graves ocurridos recientemente en minas de América del Norte fueron, entre otros, los causados por fracturas de las presas de relaves de la mina de cobre y oro Mount Polley en Columbia Británica, Canadá; la mina de carbón de Obed Mountain en Alberta, Canadá, y la mina de oro Bacis en Durango, México, así como un derrame ocasionado por un tubo roto en la mina Buenavista del Cobre en Sonora, México. Estos derrames se vuelven a mencionar en relación con el registro en el RETC en el capítulo 3.

Entre las iniciativas recientes que buscan aprender de accidentes y problemas de contaminación con miras a mejorar la aplicación y el cumplimiento de la ley están el seguimiento gubernamental a la rotura de la presa de relaves de Mount Polley en Columbia Británica (véase el recuadro 12) y la iniciativa de aplicación de la EPA para reducir la contaminación de operaciones activas de beneficio o procesamiento de minerales en Estados Unidos (EPA, 2016b). La EPA está llevando a cabo iniciativas de aplicación de la legislación para hacer frente a retos de contaminación de alcance nacional. Estas iniciativas, de tres años de duración, se abocan a áreas con incumplimiento grave de la ley. La iniciativa de aplicación de la ley al procesamiento de minerales termina en 2017, cuando habrían de retomarse los niveles de aplicación de referencia. La iniciativa se emprendió al reconocerse que la industria minera y el procesamiento de minerales generan más residuos tóxicos y peligrosos que cualquier otro sector de la industria. Las medidas de aplicación tomadas en el curso de la iniciativa disminuyeron el riesgo de contaminación por residuos de la minería proveniente de instalaciones operativas y llevaron a la limpieza de lotes mineros en todo Estados Unidos (EPA, 2016b).

### Recuadro 12. Fractura de la presa de relaves de Mount Polley: aprendizaje de una falla grave en un establecimiento minero

La preocupación por la rotura de la presa de relaves de Mount Polley y sus consecuencias dio lugar a una investigación de ingeniería independiente sobre las causas y cómo pudo haberse evitado (Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel, 2015), así como a una auditoría de cumplimiento y aplicación de la legislación minera en Columbia Británica (Auditor General of British Columbia, 2016). Las conclusiones de la auditoría señalaron que las actividades de cumplimiento y aplicación de la provincia necesitan mejorar para protegerla de riesgos ambientales graves. La auditoría detectó lagunas en recursos, planeación y herramientas de vigilancia de la normatividad. También hizo referencia a la fase posterior al cierre de las minas, concluyendo que el enfoque actual de otorgamiento de permisos no reduce de manera adecuada el riesgo de que los contribuyentes paguen los costos asociados a los impactos ambientales a largo plazo de la explotación minera. Diez por ciento de las minas de Columbia Británica están recibiendo o requerirán tratamiento de agua a largo plazo o permanente debido a escorrentía ácida y lixiviación de metales y arsénico. La auditoría estimó en \$C2,100 millones el costo total a pagar por la recuperación de minas de Columbia Británica; menos de la mitad de esta cifra está garantizada con compromisos financieros. Más de la mitad de la responsabilidad no garantizada corresponde a minas que requerirán tratamiento de agua a largo plazo, una responsabilidad que es difícil de evaluar por cuanto a costos.

### *Cierre de minas y minas abandonadas*

Costos quizá elevados y periodos de tiempo muy largos después de la clausura (gráfica 26) hacen del cierre de una mina un componente trascendental y un desafío para la minería sustentable (Dance, 2015). Todas las regiones mineras de América del Norte podrían hacer mención de minas abandonadas o “huérfanas” que siguen siendo foco de contaminación. Diversos lugares de Canadá y Estados Unidos cuentan con mecanismos variables para exigir la planeación y el financiamiento del desmantelamiento y la etapa postcierre. México también tiene ordenamientos ambientales relativos al cierre de minas, mas no con mecanismos financieros comparables a los de los otros dos países. Las iniciativas para asegurar que se cuente con planes y que los operadores de minas no den la espalda a su responsabilidad respecto a los sitios mineros que requieren reclamación, cuidado y mantenimiento son sin duda importantes para la sustentabilidad de la minería de América del Norte (NOAMI, 2015).

Las minas que se abandonaron sin desmantelamiento y recuperación adecuados pueden significar problemas ambientales permanentes, como suelos contaminados, inestabilidad y erosión del terreno, hundimiento del suelo y contaminación de aguas superficiales y subterráneas debido a filtración de agua y escorrentía a través de residuos mineros y tierras perturbadas (véanse, por ejemplo, Pokhrel y Dubey, 2013; Jamieson, 2014; Roberts, 2016; Esteller *et al.*, 2015). Tanto Canadá como Estados Unidos cuentan con programas continuos de coordinación del trabajo en minas abandonadas (NOAMI, 2015; BLM, 2015). Ambos países están levantando inventarios de estas minas, lo que representa una tarea difícil ante la escasez de registros de operaciones viejas.

La rehabilitación de minas abandonadas abarca desde el monitoreo y mantenimiento hasta soluciones que suponen millones de dólares en trabajo y muchos años para estabilizar embalses y contener residuos (Cowan y Mackasey, 2006; Vaughan *et al.*, 2012; Horvath, 2011). El programa de la Oficina de Gestión de la Tierra de Estados Unidos (*United States Bureau of Land Management*) ha logrado recuperar muchas áreas mineras antiguas ubicadas en terrenos federales y restablecer tierras y cuerpos de agua, muchas veces mediante programas conjuntos en los que participan comunidades y voluntarios (BLM y Forest Service, 2007). La industria minera también ha limpiado remanentes de minas que llevaban mucho tiempo abandonadas y restablecido corrientes de agua en algunas áreas, tanto en sus propias tierras como a través de iniciativas benéficas para la ciudadanía y el medio ambiente en regiones con operaciones mineras activas. Por ejemplo, la compañía minera Freeport-McMoRan, en alianza con Trout Unlimited, organización no gubernamental dedicada a la conservación y restablecimiento de cuencas y recursos pesqueros de agua dulce, administra un programa que se ocupa de problemas mineros históricos en Colorado (Freeport-McMoRan, 2014).

### 2.5.3 Avances tecnológicos y metodológicos que hacen a la minería más sustentable

Los avances en tecnologías y prácticas que reducen los efectos ambientales de operaciones mineras en curso y antiguas contribuyen al conjunto de herramientas de sustentabilidad del sector, e incluyen avances en manejo de relaves y residuos de roca, monitoreo y tratamiento del agua, recuperación de lotes mineros, eficiencia energética y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Las tecnologías de beneficio de minerales que utilizan reactivos menos tóxicos o persistentes o que hacen un uso más eficiente de los reactivos también contribuyen a la sustentabilidad de la minería. Estrategias de investigación y desarrollo encaminadas a reducir o eliminar residuos de la minería han abordado el problema desde varios frentes. La estrategia del Consejo Canadiense de Innovación Minera (*Canadian Mining Innovation Council*), titulada “Towards Zero Waste Mining” (minería con cero residuos), por ejemplo, se basa en una combinación de objetivos de investigación y desarrollo que incluyen minimización de residuos durante la extracción del mineral, reducción del consumo de agua y energía mediante procesamiento en sistema cerrado y tratamiento o refinación de relaves para convertirlos en productos benignos y vendibles (Kondos y Weatherell, 2016 y 2014). Varias minas en México utilizan agua de plantas de tratamiento de aguas negras municipales en vez de las valiosas fuentes de agua limpia. Las aguas negras municipales reciben tratamiento adicional en las instalaciones de la mina y se utilizan en el beneficio o procesamiento mismo de minerales (Briseño, 2017, comunicación personal).

Con prácticas extractivas mejoradas es posible reducir las emisiones de contaminantes de minas modernas en operación. No obstante, la contaminación del agua debida a las actividades mineras del pasado y los derrames y fallas son un riesgo constante para los ecosistemas acuáticos y para el acceso de las personas a agua limpia en algunas áreas. La posibilidad de contaminación del agua a largo plazo también sigue siendo un problema para la fase postcierre de minas con residuos persistentes. El tratamiento del agua afectada por la minería es una prioridad de desarrollo tecnológico y se están comenzando a utilizar métodos de tratamiento nuevos y mejorados (recuadro 13).

Los avances en el monitoreo de emisiones contaminantes y sus efectos ambientales también pueden mejorar la sustentabilidad de las operaciones mineras. Tecnologías de monitoreo más integrales y de menor costo permiten a industria y gobierno dar seguimiento a los efectos de la minería y reevaluar y ajustar medidas de mitigación (gestión adaptativa), lo que reviste particular importancia a la luz del cambio climático. Entre los avances se cuentan sensores remotos en tiempo real para el monitoreo de aguas superficiales y subterráneas (CMIC, 2014) y protocolos de monitoreo ecológico para, por ejemplo, detectar efectos en el hábitat de los peces (Ziglio *et al.*, 2006; EC, 2012).

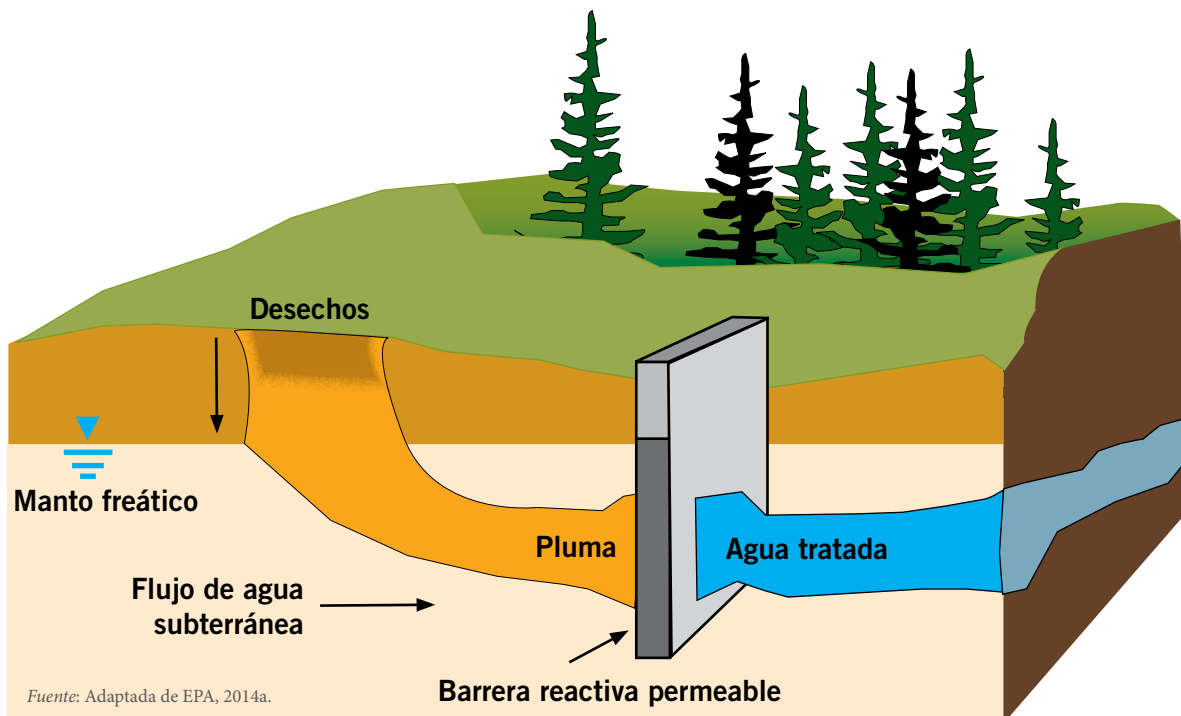
### Recuadro 13. Avances en el tratamiento de aguas afectadas por la minería

Según estimaciones, Estados Unidos tiene 16,000 km de aguas afectadas por la minería (AAM), es decir, corrientes y ríos degradados por la contaminación constante debida a la minería y a actividades mineras antiguas. Las emisiones de contaminantes a estas aguas tienen su origen en la escorrentía ácida principalmente. La guía de tecnologías de tratamiento para AAM de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos se centra en particular en tratamientos pasivos por su menor costo, bajo consumo de energía y menores requisitos de mantenimiento. Los tratamientos pasivos por lo general usan materiales de tratamiento naturales y flujo de gravedad. Aún así se necesita mantenimiento y casi siempre se requiere del empleo de más de un método de tratamiento. Como ejemplos de tecnologías de tratamiento pasivo de AAM se podrían citar:

- **Drenajes de piedra caliza anóxica.** El agua ácida fluye a través de un canal revestido y cubierto que contiene piedra caliza; a esto le sigue la precipitación de metales en tanques de decantación.
- **Humedales construidos.** A medida que el agua pasa por los humedales, los contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas o removidos del agua por medio de reacciones bioquímicas con bacterias. Sulfatos, diversos metales y arsénico pueden extraerse del agua y finalmente asentarse en el sustrato del humedal.
- **Reactores bioquímicos.** El agua se hace pasar a través de tanques, canales o estanques diseñados especialmente e inoculados con bacterias reductoras de sulfato. La acción bacteriana remueve sulfatos, metales y metaloides (incluidos arsénico y selenio) del agua.
- **Barreras reactivas permeables** (gráfica 27). El agua subterránea pasa por una barrera reactiva, que puede ser una forma de hierro granulado, piedra caliza, composta u otro material. Esta tecnología se puede emplear para remover radionucleidos (de agua contaminada con relaves de uranio), metales, sulfato y otros iones.

El gobierno está utilizando o probando tecnologías de tratamiento pasivo nuevas y en desarrollo para el tratamiento de AAM de minas abandonadas, al igual que lo están haciendo algunas compañías mineras, especialmente para el desmantelamiento de minas.

Gráfica 27. **Barrera reactiva permeable, ejemplo de tratamiento pasivo a largo plazo de aguas afectadas por la minería**



#### 2.5.4 El cambio climático: reto para la sustentabilidad que requiere adaptación y razonamiento a largo plazo

Con el propósito de atender este tema reciente se están incorporando consideraciones sobre el cambio climático a los procesos actuales de evaluación y planificación mineras (ICMM, 2013; NRCan, 2016a). La mayoría de los procesos de evaluación y normas de diseño establecidas se basan en el supuesto de que el clima es estático —y utilizan promedios históricos como referencia para representar condiciones futuras—, de ahí que los cambios que se necesitan sean de fondo. Gobiernos e industria están llevando a cabo iniciativas tanto por separado como conjuntas en los planos internacional, nacional y regional, impulsadas por la creciente concientización sobre el cambio climático y sus consecuencias en el desarrollo sustentable del sector minero (recuadro 14) (CCSI *et al.*, 2016b).

#### Recuadro 14. Cambio climático y minería: ejemplos de riesgos y consecuencias

- **Agua:** escasez en el abasto y conflictos de uso; cambios en la calidad del agua que afectan el abasto e impactos de los contaminantes.
- **Energía:** cambios en el suministro derivados de alteraciones en caudales y deshielo de glaciares que afectan la energía hidroeléctrica o la disponibilidad de agua de enfriamiento para la generación de energía a base de combustibles fósiles; fuertes tormentas que dañan la infraestructura de transmisión; cambios en necesidades regionales de energía debido a veranos más cálidos y secos.
- **Fuertes tormentas y regímenes de flujo alterados** que sobrecargan o dañan infraestructura minera como presas o sistemas de bombeo; mayor riesgo de erosión.
- **Procesos de evaluación ambiental y normativos más complejos:** cambios biofísicos (como degradación de hielos eternos, cambios en comunidades vegetales, posibilidad de nuevas especies invasoras y alteración de cursos de agua) que es necesario incorporar a predicciones de EIA y a procesos normativos.
- **Consecuencias para cadenas de abasto y logística:** riesgos para el transporte de suministros mineros y los embarques de productos, tales como interrupciones causadas por sucesos climatológicos extremos y reducción de las temporadas de carreteras de hielo en el norte, pero también la posible ventaja de temporadas de aguas libres de mayor duración para la navegación; daños a instalaciones portuarias marítimas causados por el aumento en el nivel del mar, y tormentas más fuertes.
- **Cambios en el mercado:** valores de productos alterados, como los ocasionados por el descenso en la demanda de carbón a causa del cambio a energía renovable, o incremento en la demanda de litio para baterías de almacenamiento de energía solar.
- **Implicaciones para las empresas:** posiblemente mayor responsabilidad, costos de seguros más elevados y en general menos certeza, con consecuencias para el financiamiento de proyectos.

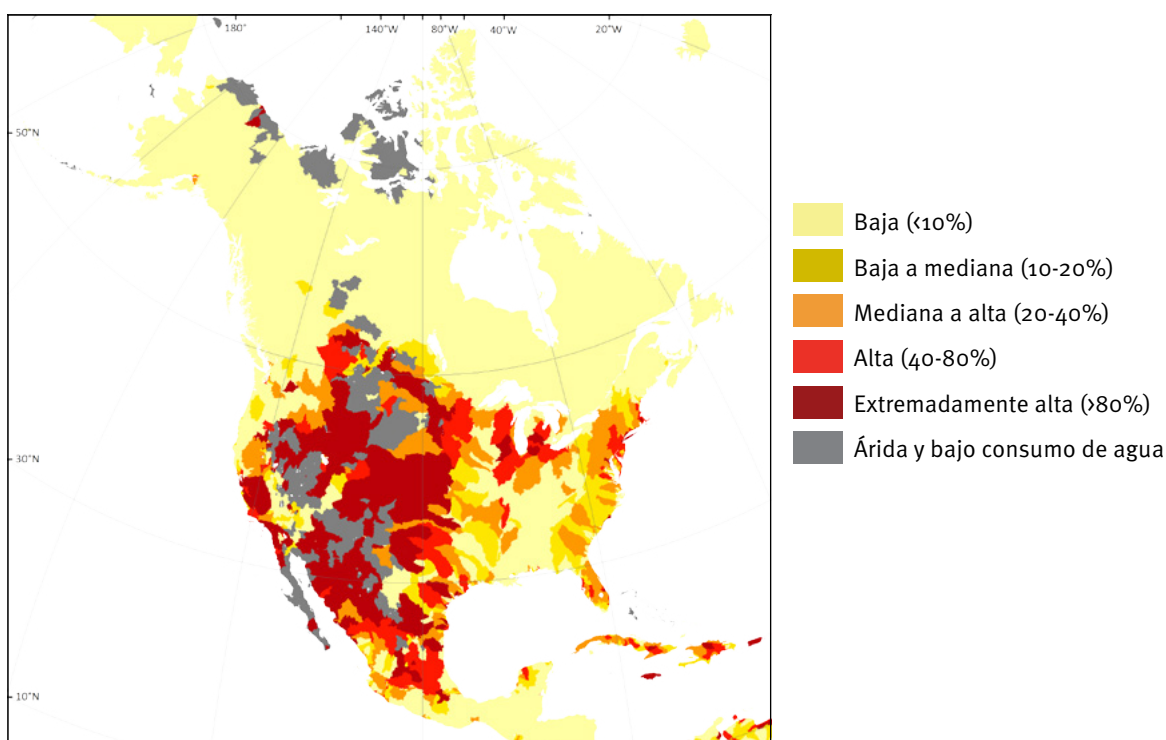
Fuentes: ICMM, 2013; Hatch, 2013.

La iniciativa sobre cambio climático del Consejo Internacional sobre Minería y Metales (ICMM, por sus siglas en inglés) busca fortalecer el compromiso de la industria con el desarrollo sustentable por medio de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptación al cambio climático (ICMM, 2015b; ICMM, 2013). Las medidas de adaptación contribuirían al logro de objetivos de desarrollo sustentable complementarios relacionados con, por ejemplo, participación comunitaria y gestión de los recursos naturales.

El agua es fundamental para la minería. El beneficio o procesamiento de los minerales necesita abasto confiable de agua limpia, y la gestión del líquido, incluido el control de las emisiones contaminantes, es primordial para las operaciones de la mina y para la planeación de su desmantelamiento. El agua también es vital para el consumo doméstico, la agricultura y otras facetas del desarrollo económico. Los métodos modernos de explotación minera hacen énfasis en la reutilización del agua regresándola de la corriente de desechos al proceso de beneficio (molienda), lo que reduce el volumen de agua dulce requerido, disminuye el volumen de desechos a tratar y beneficia a las comunidades cercanas a las operaciones mineras.

El cambio climático genera incertidumbre y riesgos respecto de la cantidad de agua disponible, que varían según la región y la temporada, y hace anticipar cambios tales como flujos máximos más altos y mayor sequía. La gráfica 28 muestra los niveles actuales de presiones en materia de agua en toda América del Norte. Las minas de oro y cobre del suroeste de Estados Unidos (sur de California, Nevada y Arizona) y el norte de México (Sonora) operan en áreas con presiones extremas en materia de agua y los modelos del cambio climático predicen que para finales del siglo la disponibilidad del líquido descenderá a niveles graves en estas zonas (ICMM, 2013). Las compañías mineras ya incorporan proyecciones de incremento en la escasez de agua a su planeación. Rio Tinto, por ejemplo, compañía mundial con minas sobre todo en Australia y América del Norte, tiene formulada una estrategia de reducción del consumo de agua en sus operaciones y de preparación en caso de escasez futura (Rio Tinto, 2013).

Gráfica 28. Presiones de referencia en materia de agua en América del Norte



Nota: Los niveles de presión se refieren a la extracción del líquido expresada como porcentaje del flujo de agua total.

Fuente: World Resources Institute (Gassert *et al.*, 2015).

El cambio climático puede afectar temperaturas, precipitación pluvial, deshielo y tasas y patrones de evaporación, todo lo cual se combina e interactúa a través de los procesos químicos, físicos y biológicos que determinan la calidad del agua (Anawar, 2013). Estas condiciones influyen en las emisiones de contaminantes y sus impactos, ya que, por ejemplo, los volúmenes de contaminantes tóxicos en el agua aumentan si el cambio en las condiciones provoca que la materia orgánica emita más metales. El impacto de los contaminantes también sufre variaciones; por ejemplo, el aumento de la temperatura del agua da lugar a que algunos metales, como cobre y cadmio, se vuelvan más tóxicos para la vida acuática, aunque los efectos de la temperatura varían según las especies y las condiciones ambientales (Holmstrup *et al.*, 2010).

La incorporación del cambio climático a la planificación del desmantelamiento de una mina es de particular importancia ante la necesidad de estructuras estables y medidas de recuperación eficaces en el largo plazo. En el norte de Canadá, factores como condiciones cambiantes en los hielos eternos y proyecciones de las condiciones de flujos máximos más elevados se toman en cuenta en el desmantelamiento de las minas. Uno de los primeros planes de recuperación de minas que incorporó estas consideraciones fue el de la mina Polaris, mina de plomo-zinc en el Ártico superior que dejó de operar en 2002 (Cowan *et al.*, 2013). En el norte del Yukón, en donde el calentamiento ha venido dejando su huella en los últimos 50 años (Bush *et al.*, 2014), una mina de asbesto dejó de operar en 1978, dejando relaves que formaron corrientes debido a la erosión, lo que dañó y destruyó el hábitat de los peces. La erosión se debió a la degradación de los hielos eternos, que no se había previsto en los planes de rehabilitación del sitio (Pearce *et al.*, 2011, Duerden *et al.*, 2014).

La incertidumbre sobre las condiciones climatológicas futuras y la influencia de éstas en el ambiente vuelven todavía más compleja la evaluación y planeación minera. Herramientas como evaluación de la vulnerabilidad y elaboración de escenarios con proyecciones de cambio climático pueden ayudar a planificar, operar y desmantelar minas que sean resilientes al cambio climático (CCA, 2014b).



## Referencias

- American Geosciences Institute (2016), “What are environmental regulations on mining activities?”, en: <[www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-are-regulations-mining-activities](http://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-are-regulations-mining-activities)> (consulta realizada el 15 de julio de 2016).
- Anawar, H. M. (2013), “Impact of climate change on acid mine drainage generation and contaminant transport in water ecosystems of semi-arid and arid mining areas”, en: *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, núms. 58-60.
- Arezki, R. y A. Matsumoto (2015), “Metals and oil: A tale of two commodities”, *IMF Blog*, Fondo Monetario Internacional (FMI), en: <<https://blog-imfdirect.imf.org/2015/09/14/metals-and-oil-a-tale-of-two-commodities/>>.
- AGC (2016), “Projects”, Artisanal Gold Council [Oro Artesanal], en: <[www.artisanalgold.org/our-projects](http://www.artisanalgold.org/our-projects)> (consulta realizada el 30 de octubre de 2016).
- Asif, Z. y Z. Chen (2016), “Environmental management in North American mining sector”, *Environ Sci Pollut Res Int*, vol. 23, núm. 1, pp. 167-179.
- Auditor General of British Columbia (2016), *An Audit of Compliance and Enforcement of the Mining Sector*, Office of the Auditor General of British Columbia [Oficina del Auditor General de Columbia Británica]; disponible en: <[www.bcauditor.com/pubs/2016/audit-compliance-and-enforcement-mining-sector](http://www.bcauditor.com/pubs/2016/audit-compliance-and-enforcement-mining-sector)>.
- Baffinland y QIA (2013), *The Mary River Project Inuit Impact and Benefit Agreement*, Baffinland Iron Ore Mines Corporation y Qikiqtani Inuit Association.
- Baldé, C. P., F. Wang, R. Kuehr y J. Huisman (2015), *The global e-waste monitor 2014*, United Nations University, IAS – SCYCLE, Bonn, Germany, Instituto de Estudios Avanzados sobre la Sostenibilidad de la Universidad de las Naciones Unidas.
- Baldwin, C. y J. Fipke (2010), *Canadian mining law*, ponencia presentada en el curso breve “Rocky Mountain Mineral Law Foundation Mining Law”, en Boulder, Colorado (11-15 de mayo de 2009), Lawson Lundell LLP; disponible en: <[www.lawsonlundell.com/media/news/135\\_CanadianMiningLaw.pdf](http://www.lawsonlundell.com/media/news/135_CanadianMiningLaw.pdf)>.
- Banco Mundial (2013), “Artisanal and small-scale mining”, en: <[www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/artisanal-and-small-scale-mining](http://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/artisanal-and-small-scale-mining)>.
- Basurto, D. y R. Soza (2007), *Mexico’s federal waste regulations: An overview*, Air and Waste Management Association [Asociación de Gestión del Aire y Desechos].
- Bauer, A. (2007), *Image:heapLeaching.png*. BioMineWiki, ilustración de Anna Bauer, en: <<http://wiki.biomine.skelleftea.se/wiki/index.php/Image:HeapLeaching.png>>.
- Berndt, M. E. (2003), *Mercury and Mining in Minnesota*, St. Paul, Minnesota Department of Natural Resources, Division of Lands and Minerals, Minerals Coordinating Committee [St. Paul: Departamento de Recursos Naturales de Minnesota, División de Tierras y Minerales, Comité de Coordinación de Minerales].
- BLM (2015), “Abandoned mine lands portal”, Bureau of Land Management [Oficina de Manejo de la Tierra], en: <[www.abandonedmines.gov/index-2.html](http://www.abandonedmines.gov/index-2.html)> (consulta realizada el 11 de julio de 2016).
- BLM y Forest Service (2007), *Abandoned mine lands: A decade of progress reclaiming hardrock mines*, publicación de BLM número BLM-WO-GI-07-013-3720, US Department of the Interior, Bureau of Land Management [Departamento del Interior de Estados Unidos, Oficina de Manejo de la Tierra] y US Department of Agriculture, US Forest Service [Departamento de Agricultura de Estados Unidos, Servicio Forestal de Estados Unidos]; disponible en: <[www.dtsc.ca.gov/SiteCleanup/upload/AML\\_Ten-Year\\_Rpt.pdf](http://www.dtsc.ca.gov/SiteCleanup/upload/AML_Ten-Year_Rpt.pdf)>.
- Blodgett, S. (2004), *Environmental Impacts of Aggregate and Stone Mining*, Center for Science in Public Participation [Centro de Ciencia en Participación Pública]; disponible en: <[www.csp2.org/files/reports/Environmental Impacts of Sand and Gravel Operations in New Mexico.doc.pdf](http://www.csp2.org/files/reports/Environmental%20Impacts%20of%20Sand%20and%20Gravel%20Operations%20in%20New%20Mexico.doc.pdf)>.
- BLS (2012), “NAICS 2012 changes since 2007”, Bureau of Labor Statistics, US Department of Labor [Oficina de Estadísticas Laborales de Estados Unidos]; disponible en: <[www.bls.gov/cew/naics2012.xls](http://www.bls.gov/cew/naics2012.xls)> (consulta realizada el 1 de octubre de 2016).
- BLS (2016), Bureau of Labor Statistics, US Department of Labor [Oficina de Estadísticas Laborales, Departamento de Trabajo de Estados Unidos], en: <[www.bls.gov/home.htm](http://www.bls.gov/home.htm)> (consulta realizada el 15 de julio de 2016).
- Brasdefer, L., R. Contreras y J. Enríquez (2016), “Mining in Mexico: A destination for Canadian investments”, *Negocios ProMéxico*, febrero, pp. 30-31.

- Briseño, O. (2017), comunicación personal, marzo de 2017, Grupo México.
- Bush, E. J., J. W. Loder, T. S. James, L. D. Mortsch y S. J. Cohen (2014), "An overview of Canada's changing climate", en: *Canada in a changing climate: Sector perspectives on impacts and adaptation*, pp. 23-64, Ottawa, Government of Canada [Gobierno de Canadá].
- Butler, J. (2013), "Environmental regulation of Nevada's mining industry", *Nevada Lawyer*, abril, pp. 8-11.
- Camacho, A., E. Van Brussel, L. Carrizales, R. Flores Ramírez, B. Verduzco, S. R. Huerta, M. León y F. Díaz Barriga (2016), "Mercury mining in Mexico: I. Community engagement to improve health outcomes from artisanal mining", *Annals of Global Health*, vol. 82, núm. 1, pp. 149-155.
- Campa, M. F. y P. J. Coney (1983), "Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in México", *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 20, núm. 6, pp. 1040-1051.
- Camprubí, A. (2009), "Major metallogenic provinces and epochs of Mexico", *SGA News*, núm. 25 (junio), pp. 7-20.
- CNSC (2014), "Regulatory oversight report for uranium and nuclear substance processing facilities in Canada: 2014", Canadian Nuclear Safety Commission [Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear] en: <[www.nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/publications/reports/2014-CNSC-staff-report-performance-of-uranium-and-nuclear-substance-processing-facilities/index.cfm](http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/resources/publications/reports/2014-CNSC-staff-report-performance-of-uranium-and-nuclear-substance-processing-facilities/index.cfm)> (consulta realizada el 20 de octubre de 2016).
- CCA (2013), *Evaluación de los suministros de mercurio primario y secundario en México*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal.
- CCA (2014a), *Plan de acción para fomentar la comparabilidad de los registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) en América del Norte*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal; disponible en: <[www3.cec.org/islandora/en/item/11583-action-plan-enhance-comparability-pollutant-release-and-transfer-registers-prtrs-en.pdf](http://www3.cec.org/islandora/en/item/11583-action-plan-enhance-comparability-pollutant-release-and-transfer-registers-prtrs-en.pdf)>.
- CCA (2014b), *Evaluación de la conservación para la región Big Bend-Río Bravo: un enfoque de cooperación binacional para la conservación*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal.
- CCA (2014c), *En balance, vol. 14: Análisis de los cambios observados en los RETC de América del Norte, 2005-2010, con atención especial en las emisiones al aire y el agua provenientes del sector de fabricación de celulosa, papel y cartón*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal.
- CCA (2016), "Los RETC y sus requisitos generales de registro", en: <[www.cec.org/es/herramientas-y-recursos/en-balance/los-retc-y-sus-requisitos-generales-de-registro](http://www.cec.org/es/herramientas-y-recursos/en-balance/los-retc-y-sus-requisitos-generales-de-registro)> (consulta realizada el 7 de julio de 2016).
- CCSI *et al.* (2016a), *Mapping mining to the sustainable development goals: An atlas (executive summary)*, Columbia Center on Sustainable Investment [Centro de Inversión Sostenible de la Universidad de Columbia], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible, de las Naciones Unidas (SDSN, por sus siglas en inglés), y Foro Económico Mundial, Ginebra.
- CCSI *et al.* (2016b), *Mapping mining to the sustainable development goals: An atlas (white paper)*, Columbia Center on Sustainable Investment [Centro de Inversión Sostenible de la Universidad de Columbia], Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible, de las Naciones Unidas (SDSN, por sus siglas en inglés), y Foro Económico Mundial, Ginebra.
- Ciacci, L., E. M. Harper, N. T. Nassar, B. K. Reck y T. E. Graedel (2016), "Metal dissipation and inefficient recycling intensify climate forcing", *Environmental Science & Technology* (en proceso de revisión).
- CIM Council (2014), "CIM definition standards for mineral resources and mineral reserves", estándares adoptados por el Consejo del Instituto Canadiense de Minería el 10 de mayo de 2014, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum [Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo]; archivo pdf disponible en: <<http://web.cim.org/standards/menupage.cfm?sections=177&menu=178>>.
- Clark, K. F. y D. C. Fitch (2009), *Evolution of metallic deposits in time and space in Mexico*, University of Texas at El Paso [Universidad de Texas en El Paso]; disponible en: <[www.geo.utep.edu/pub/Clark-Fitch/ClarkandFitchJan2013.pdf](http://www.geo.utep.edu/pub/Clark-Fitch/ClarkandFitchJan2013.pdf)>.
- Clements, W. H. y C. Kotalik (2016), "Effects of major ions on natural benthic communities: an experimental assessment of the US Environmental Protection Agency aquatic life benchmark for conductivity", *Freshwater Science*, vol. 35, núm. 1, pp. 126-138.
- CMIC (2014), *Pre-feasibility report of the ESI Water Working Group*, Canada Mining Innovation Council [Consejo de Innovación en Minería de Canadá]; disponible en: <[www.cmic-ccim.org/wp-content/uploads/2014/06/20140612\\_\\_ESI-Water-Working-Group-Pre-Feasibility-Study-Report.pdf](http://www.cmic-ccim.org/wp-content/uploads/2014/06/20140612__ESI-Water-Working-Group-Pre-Feasibility-Study-Report.pdf)>.

- Compound Interest (2014), "The chemical elements of a smartphone", en: <[www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/](http://www.compoundchem.com/2014/02/19/the-chemical-elements-of-a-smartphone/)>.
- Cormier, S. M., S. P. Wilkes y L. Zheng (2013), "Relationship of land use and elevated ionic strength in Appalachian watersheds", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 32, núm. 2, pp. 296-303.
- Cowan, W. R. y W. O. Mackasey (2006), *Rehabilitating abandoned mines in Canada: A toolkit of funding options*, Cowan Minerals Ltd., Sudbury, Ontario (informe preparado para la Iniciativa Nacional para Minas Huérfanas o Abandonadas [*National Orphaned/Abandoned Mines Initiative*]).
- Cowan, W. R., W. O. Mackasey y J. G. A. Robertson (2013), *Case studies and decision making process for the relinquishment of closed mine sites*, Cowan Minerals Ltd., Sudbury, Ontario (informe preparado para la Iniciativa Nacional para Minas Huérfanas o Abandonadas [*National Orphaned/Abandoned Mines Initiative*]).
- Damigos, D. (2006), "An overview of environmental valuation methods for the mining industry", *Journal of Cleaner Production*, vol. 14, núm. 3, pp. 234-247.
- Dance, A. (2015), "Northern reclamation in Canada: Contemporary policy and practice for new and legacy mines", *The Northern Review*, núm. 41, pp. 41-80.
- Dashwood, H. S. (2014), "Sustainable development and industry self-regulation developments in the global mining sector", *Business & Society*, vol. 53, núm. 4, pp. 551-582.
- Duerden, F., T. Pearce, J. Ford y J. Pittman (2014), *Case studies of adaptation to climate change in the Yukon mining sector: From planning and operation to remediation and restoration*, informe presentado a la División de Impactos y Adaptación al Cambio Climático (*Climate Change Impacts and Adaptation Division*) del ministerio de Recursos Naturales de Canadá (Natural Resources Canada), Ottawa.
- Eagles-Smith, C. A., J. G. Wiener, C. Eckley, J. J. Willacker, D. C. Evers, M. Marvin-DiPasquale, D. Obrist *et al.* (2016), "Mercury in western North America: An overview of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife", *Science of the Total Environment*, núm. 568 (enero), pp. 1213-1226.
- Eamer, J., L. Wakelyn y S. King (2015), "Industrial development activity in terrestrial ecosystems, with a focus on cumulative effects (North American Arctic)", en: *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) scoping study for the Arctic*, Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) working group of Arctic Council [Grupo de Trabajo sobre Conservación de la Flora y la Fauna Árticas, Consejo del Ártico], Akureyri, Islandia.
- EC (2012), *Metal mining technical guidance for environmental effects monitoring*, Environment Canada [ministerio de Medio Ambiente de Canadá], Gatineau; disponible en: <[www.ec.gc.ca/esee-eem/default.asp?lang=En&n=AEC7C481-1&offset=3&toc=hide](http://www.ec.gc.ca/esee-eem/default.asp?lang=En&n=AEC7C481-1&offset=3&toc=hide)>.
- EC (2013), *Guide for reporting to the National Pollutant Release Inventory (NPRI) 2012 and 2013. Canadian Environmental Protection Act, 1999 (CEPA 1999)*, Environment Canada [ministerio de Medio Ambiente de Canadá], Gatineau, Inventario Nacional de Emisiones Contaminantes.
- EC (2015), *Overview of reviewed facility-reported data. National Pollutant Release Inventory (NPRI), 2014*, Environment Canada [ministerio de Medio Ambiente de Canadá]; disponible en: <[www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=386BAB5A-1&printfullpage=true](http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=386BAB5A-1&printfullpage=true)>.
- ECCC (2015), "Guidance for the reporting of tailings and waste rock to the National Pollutant Release Inventory (NPRI)", Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], en: <<http://ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=FEC85072-1>> (consulta realizada el 17 de agosto de 2016).
- ECCC (2016a), *Code of practice for the management of PM 2.5 emissions in the potash sector in Canada*, Environment and Climate Change Canada, Mining and Processing Division [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá, División de Minería y Beneficio].
- ECCC (2016b), "National Pollutant Release Inventory (NPRI) - 2013 Pollutant release and transfer data reported by facilities, single year tabular format", actualizado el 29 de septiembre de 2016.
- ECCC (2017), "Criteria air contaminants and related pollutants", Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], en: <[www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=7C43740B-1](http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=7C43740B-1)> (consulta realizada el 2 de marzo de 2017).
- Eckstrand, O. R., W. D. Sinclair y R. I. Thorpe, eds. (1996), *Geology of Canadian mineral deposit types*, Natural Resources Canada [ministerio de Recursos Naturales de Canadá].

- Emas, R. (2015), *The concept of sustainable development: Definition and defining principles (brief for GSDR)*.
- EPA (1999), *EPCRA Section 313 industry guidance: Metal mining facilities*; disponible en: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/20001DOH.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>>>.
- EPA (2003), *Final rule to reduce toxic air emissions from taconite iron ore processing facilities (fact sheet)*, Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards [Agencia de Protección Ambiental, Oficina de Planeación y Normatividad sobre Calidad del Aire]; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/tiop\\_fs2.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/tiop_fs2.pdf)>.
- EPA (2011), *Final rule to reduce mercury emissions from gold mine ore processing and production sources (fact sheet)*, Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Oficina de Planeación y Normatividad sobre Calidad del Aire]; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/2016-01/documents/gold\\_mines\\_fs\\_121610.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2016-01/documents/gold_mines_fs_121610.pdf)>.
- EPA (2014a), *Reference guide to treatment technologies for mining-influenced water*, Environmental Protection Agency, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, Oficina de Rehabilitación e Innovación Tecnológica del Superfondo]; disponible en: <[https://clu-in.org/download/issues/mining/reference\\_guide\\_to\\_treatment\\_technologies\\_for\\_miw.pdf](https://clu-in.org/download/issues/mining/reference_guide_to_treatment_technologies_for_miw.pdf)>.
- EPA (2014b), *Toxic Chemical Release Inventory reporting forms and instructions - revised 2013 version*, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/2014-02/documents/rfi\\_ry2013\\_120413.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2014-02/documents/rfi_ry2013_120413.pdf)>.
- EPA (2015), *Toxic Release Inventory (TRI): Basis of OSHA carcinogens*, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/2015-03/documents/osha\\_carcinogen\\_basis\\_march\\_2015\\_0.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-03/documents/osha_carcinogen_basis_march_2015_0.pdf)>.
- EPA (2016a), “About the National Center for Environmental Assessment”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <[www.epa.gov/aboutepa/about-national-center-environmental-assessment-ncea](http://www.epa.gov/aboutepa/about-national-center-environmental-assessment-ncea)>.
- EPA (2016b), “National Enforcement Initiative: Reducing Pollution from Mineral Processing Operations”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <[www.epa.gov/enforcement/national-enforcement-initiative-reducing-pollution-mineral-processing-operations](http://www.epa.gov/enforcement/national-enforcement-initiative-reducing-pollution-mineral-processing-operations)> (consulta realizada el 20 de diciembre de 2016).
- EPA (2016c), “Special wastes”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <[www.epa.gov/hw/special-wastes](http://www.epa.gov/hw/special-wastes)> (consulta realizada el 4 de diciembre de 2016).
- EPA (2016d), “Toxics Release Inventory”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <[www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program](http://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program)> (consulta realizada el 8 de julio de 2016).
- Esteller, M. V., E. Domínguez Mariani, S. E. Garrido y M. Avilés (2015), “Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico”, *Environmental Earth Sciences*, vol. 74, núm. 4, pp. 2893-2906.
- FMI (2015), *World Economic Outlook: Adjusting to lower commodity prices*, Fondo Monetario Internacional, Washington; disponible en: <[www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/02/pdf/text.pdf](http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/02/pdf/text.pdf)>.
- FMI (2016a), “International Monetary Fund primary commodity prices”, Fondo Monetario Internacional, Washington, en: <[www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx](http://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx)> (consulta realizada el 30 de junio de 2016).
- FMI (2016b), *World economic outlook: Too slow for too long*, World Economic and Financial Surveys, Fondo Monetario Internacional, Washington.
- Fraser Institute (2012), “What is the Social Licence to Operate (SLO)?”, en: <[www.miningfacts.org/Communities/What-is-the-social-licence-to-operate/](http://www.miningfacts.org/Communities/What-is-the-social-licence-to-operate/)>.
- Freeport-McMoRan (2014), *Mining reclamation in North America: Supporting a sustainable future*; disponible en: <[www.fcx.com/sd/pdf/mining\\_red\\_na\\_2014.pdf?t=257](http://www.fcx.com/sd/pdf/mining_red_na_2014.pdf?t=257)>.
- Gassert, F., M. Landis, M. Luck, P. Reig y T. Shiao (2015), *Aqueduct Global Maps 2.1: Indicators*, World Resources Institute (WRI), Washington, D.C.; disponible en: <[www.wri.org/publication/aqueduct-global-maps-21-indicators](http://www.wri.org/publication/aqueduct-global-maps-21-indicators)>.
- GlobeScan (2014), *Mining industry report/2014*, Globescan y Consejo Internacional de Minería y Metales.

- GlobeScan (2017), GlobeScan Radar, en: <[www.globescan.com/news-and-analysis/globescan-radar.html](http://www.globescan.com/news-and-analysis/globescan-radar.html)> (consulta realizada el 19 de abril de 2017).
- González Sánchez, F. y A. Camprubí (2010), “La pequeña minería en México”, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 62, núm. 1, pp. 101-108.
- Graedel, T. E., E. M. Harper, N. T. Nassar y B. K. Reck (2015), “On the materials basis of modern society”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 112, núm. 20, pp. 6295-6300.
- Grewal, I. (2016), “Mineral processing introduction”, Met-Solve Laboratories Inc., en: <<http://met-solve.com/library/articles/mineral-processing-introduction>> (consulta realizada el 20 de julio de 2016).
- GRI (2016), “Empowering sustainable decisions”, Global Reporting Initiatives, en: <[www.globalreporting.org/Pages/default.aspx](http://www.globalreporting.org/Pages/default.aspx)> (consulta realizada el 8 de agosto de 2016).
- Hanchar, J. C. y A. D. Kerr (2012), *Mineral commodities of Newfoundland and Labrador: Iron ore*, St John's, NL: Geological Survey Mineral Commodities Series, número 7, Newfoundland Labrador Natural Resources [Ministerio de Recursos Naturales de Newfoundland y Labrador].
- Hatch (2013), *Environmental analysis of the mining industry in Canada*, preparado para el Canadian Mining Innovation Council (CMIC) [Consejo Canadiense de Innovación Minera].
- Hendry, M. J., A. Biswas, J. Essilfie-Dughan, N. Chen, S. J. Da y S. L. Barbour (2015), “Reservoirs of selenium in coal waste rock: Elk Valley, British Columbia, Canada”, *Environmental Science & Technology*, vol. 49, núm. 13, pp. 8228-8236.
- Holmstrup, M., A. M. Bindesbøl, G. J. Oostingh, A. Duschl, V. Scheil, H. R. Köhler, S. Loureiro *et al.* (2010), “Interactions between effects of environmental chemicals and natural stressors: A review”, *Science of the Total Environment*, vol. 408, núm. 18, pp. 3746-3762.
- Horvath, J. (2011), *Development and implementation of a closure and remediation plan : A case study of the Faro Mine closure project, YT*, Kingston, Queen's University.
- Hudson, T. L., F. D. Fox y G. S. Plumlee (1999), *Metal mining and the environment*, Alexandria, Virginia: AGI Environmental Awareness Series, American Geological Institute [Instituto de Geología de Estados Unidos].
- ICMM (2012), *Mining's contribution to sustainable development – An overview*, Consejo Internacional de Minería y Metales.
- ICMM (2013), *Adapting to a changing climate: Implications for the mining and metals industry*, Londres, Consejo Internacional de Minería y Metales.
- ICMM (2015a), *Indigenous Peoples and mining. Good practice guide*, Consejo Internacional de Minería y Metales.
- ICMM (2015b), “International Council on Mining and Metals (ICMM) statement on climate change”, en: <[www.icmm.com/](http://www.icmm.com/)> (consulta realizada el 23 de mayo de 2016).
- ICMM y GlobeScan (2014), *2014 ICMM stakeholder perception study: Tracking progress*, Consejo Internacional de Minería y Metales y GlobeScan; disponible en: <[www.icmm.com/document/8615](http://www.icmm.com/document/8615)>.
- IIED (2002), *Breaking new ground: The report of the Mining, Minerals and Sustainable Development Project*, Londres, Earthscan Publications Ltd.; disponible en: <[www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25129583](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25129583)>.
- Independent Expert Engineering Investigation and Review Panel (2015), *Report on Mount Polley tailings storage facility breach*, Provincia de Columbia Británica; disponible en: <[www.mountpolleyreviewpanel.ca/final-report](http://www.mountpolleyreviewpanel.ca/final-report)>.
- ISRI (2015), “Recycling”, Institute of Scrap Recycling Industries, Inc., en: <[www.isri.org/docs/default-source/recycling-industry/facts-and-figures-fact-sheet---recycling.pdf?sfvrsn=16](http://www.isri.org/docs/default-source/recycling-industry/facts-and-figures-fact-sheet---recycling.pdf?sfvrsn=16)>.
- ISRI (2016), *The ISRI scrap yearbook 2016*, Institute of Scrap Recycling Industries, Inc.; disponible en: <<https://cld.bz/Sk9SJhe#>>.
- Izatt, R. M., S. R. Izatt, R. L. Bruening, N. E. Izatt y B. A. Moyer (2014), “Challenges to achievement of metal sustainability in our high-tech society”, *Chemical Society reviews*, vol. 43, núm. 8, pp. 2451-2475.
- Jamieson, H. E. (2014), “The legacy of arsenic contamination from mining and processing refractory gold ore at Giant Mine”, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 79, núm. 1, Yellowknife.
- Jiménez, G. (2016), comunicación personal, noviembre de 2016, University of British Columbia, Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering [Universidad de Columbia Británica, Instituto de Ingeniería Minera Norman B. Keevil].

- Kelly, T. D. y G. R. Matos (2016), "Historical statistics for mineral and material commodities in the United States", US Geological Survey Data Series 140; 2014 version, en: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/>> (consulta realizada el 4 de julio de 2016).
- Kogel, J. E., N. C. Trivedi, J. M. Barker y S. T. Krukowski (2006), *Industrial minerals and rocks: Commodities, markets, and uses*, 7a. edición, Littleton: Society for Mining Metallurgy, and Exploration [Sociedad Minero-Metalúrgica y de Exploración].
- Kondos, P. y C. Weatherell (2014), *Towards Zero Waste Mining: The evolution of Canada's mineral sector*, Factsheet, Canada Mining Innovation Council [Consejo de Innovación Minera de Canadá]; disponible en: <[www.parl.gc.ca/Content/HOC/Committee/412/FINA/WebDoc/WD6615327/412\\_FINA\\_PBC2014\\_Briefs%5CCanadaMiningInnovationCouncil-e.pdf](http://www.parl.gc.ca/Content/HOC/Committee/412/FINA/WebDoc/WD6615327/412_FINA_PBC2014_Briefs%5CCanadaMiningInnovationCouncil-e.pdf)>.
- Kondos, P. y C. Weatherell (2016), *Towards zero waste mining: Fundamentally transforming Canada's mineral sector*, A submission to Finance Canada for Budget 2016, Canada Mining Innovation Council [Consejo de Innovación Minera de Canadá].
- Kuchapski, K. A. y J. B. Rasmussen (2015), "Surface coal mining influences on macroinvertebrate assemblages in streams of the Canadian Rocky Mountains", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 34, núm. 9, pp. 2138-2148.
- Laird, K. R., B. Das y B. F. Cumming (2014), "Enrichment of uranium, arsenic, molybdenum, and selenium in sediment cores from boreal lakes adjacent to northern Saskatchewan uranium mines", *Lake and Reservoir Management*, vol. 30, núm. 4, pp. 344-357.
- Long, K. R., J. H. DeYoung Jr. y S. Ludington (1998), *Database of significant deposits of gold, silver, copper, lead, and zinc in the United States*, Open File Report 98-206-A,B, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos]; disponible en: <<https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr98206AB>>.
- MAC (2016a), The Mining Association of Canada [Asociación Minera de Canadá], en: <<http://mining.ca/>> (consulta realizada el 23 de mayo de 2016).
- MAC (2016b), "Towards Sustainable Mining", Mining Association of Canada [Asociación Minera de Canadá], en: <<http://mining.ca/towards-sustainable-mining>> (consulta realizada el 25 de mayo de 2016).
- MacDonald, A. (2002), *Industry in transition: A profile of the North American mining sector*, Instituto Internacional para el Desarrollo Sostenible, Winnipeg.
- Marshall, B. (2015), *Facts and figures of the Canadian mining industry: F&F 2015*, The Mining Association of Canada [Asociación Minera de Canadá].
- McLeod, C. R. y S. R. Morison (1995), "Placer gold, platinum", en: *Geology of Canadian mineral deposit types*, O. R. Eckstrand, W. D. Sinclair y R. I. Thorpe (comps.), Geological Survey of Canada, Natural Resources Canada [Servicio Geológico de Canadá, ministerio de Recursos Naturales de Canadá], serie núm. 8.
- Mendoza, R. C. y A. Jiménez (2016), "Mining 2015: Mexico", *Latin Lawyer, the business law resource for Latin America*, en: <<http://latinlawyer.com/reference/topics/46/mining/>> (consulta realizada el 31 de mayo de 2016).
- Mendoza Sammet, A. (2008), *Cumulative effects in Mexico: Legislation and practice*, ponencia presentada en la conferencia "Assessing and managing cumulative environmental effects", 6-9 de noviembre de 2008, Calgary, Alberta, International Association for Impact Assessment [Asociación Internacional de Evaluación de Impactos].
- Mines (2016), "Inside.Mines: Sustainability", Colorado School of Mines [Escuela de Minería de Colorado], en: <<https://inside.mines.edu/SUS-Sustainability>> (consulta realizada el 8 de agosto de 2016).
- Mine-Engineer.com (2016), "Why do we mine? Why mining is necessary", en: <<http://mine-engineer.com/mining/mine2.htm>> (consulta realizada el 6 de noviembre de 2016).
- Minerals UK (2016), "World mineral statistics data", Minerals UK Centre for Sustainable Mineral Development [Centro para el Desarrollo Mineral Sustentable del Servicio Geológico Británico], en: <[www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS](http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/wms.cfc?method=searchWMS)> (consulta realizada el 2 de noviembre de 2016).
- Minería Sustentable (2016), "15 grandes proyectos que cuentan con licencia social", *Minería Sustentable*, Academia Nacional de Ecología (ANE) y Estudios y Planificación Ambiental (EPA), en: <<http://mineriasustentable.com.mx/15-grandes-proyectos-que-cuentan-con-licencia-social/>> (consulta realizada el 3 de agosto de 2016).
- MMR (2016), "Mexico mining review 2015", versión en línea en: <[www.mexicominingreview.com/mmronline2015/index.html](http://www.mexicominingreview.com/mmronline2015/index.html)> (consulta realizada el 31 de mayo de 2016).

- Morton Bermea, O., R. G. Jiménez Galicia, J. Castro Larragoitia, E. Hernández Álvarez, R. Pérez Rodríguez, M. E. García Arreola, I. Gavilán García y N. Segovia (2015), "Anthropogenic impact of the use of Hg in mining activities in Cedral S.L.P. Mexico", *Environmental Earth Sciences*, vol. 74, núm. 2, pp. 1161-1168.
- NAS (2007), *Coal: Research and development to support national energy policy*, National Research Council of the National Academies, Committee on Coal Research Technology and Resource Assessments to Inform Energy Policy [Consejo Nacional de Investigación de las Academias Nacionales, Comité sobre Tecnología de Investigación en Carbón y Evaluaciones de Recursos en Apoyo a Políticas Energéticas], National Academies Press.
- NMA (2014), *The economic contributions of U.S. mining (2012)*, National Mining Association [Asociación Minera Nacional].
- NOAMI (2015), *National Orphaned/Abandoned Mines Initiative NOAMI performance update 2009-2015*, Natural Resources Canada, Ottawa, NOAMI Secretariat [ministerio de Recursos Naturales de Canadá, Secretariado de NOAMI].
- NRC (2016), "Uranium recovery", US Nuclear Regulatory Commission [Comisión de Regulación Nuclear], en: <[www.nrc.gov/materials/uranium-recovery.html](http://www.nrc.gov/materials/uranium-recovery.html)> (consulta realizada el 4 de diciembre de 2016).
- NRCAN (2014), "About uranium", Natural Resources Canada [ministerio de Recursos Naturales de Canadá], en: <[www.nrcan.gc.ca/energy/uranium-nuclear/7695](http://www.nrcan.gc.ca/energy/uranium-nuclear/7695)> (consulta realizada el 10 de octubre de 2016).
- NRCAN (2016a), "Adaptation Platform", Natural Resources Canada, [ministerio de Recursos Naturales de Canadá], en: <[www.nrcan.gc.ca/environment/impacts-adaptation/adaptation-platform/10027](http://www.nrcan.gc.ca/environment/impacts-adaptation/adaptation-platform/10027)> (consulta realizada el 1 de agosto de 2016).
- NRCAN (2016b), "Annual statistics of mineral production", Natural Resources Canada [ministerio de Recursos Naturales de Canadá], en: <<http://sead.nrcan.gc.ca/prod-prod/ann-ann-eng.aspx>> (consulta realizada el 1 de julio de 2016).
- NRCAN (2016c), *Canadian mineral production in 2015*, boletín informativo, marzo de 2016; disponible en: <[www.nrcan.gc.ca/mining-materials/resources](http://www.nrcan.gc.ca/mining-materials/resources)>.
- NRCAN (2016d), "Mineral trade - annual statistics", Natural Resources Canada [ministerio de Recursos Naturales de Canadá], en: <<http://sead.nrcan.gc.ca/trad-comm/TradeTable.aspx?FileT=1&Lang=en>> (consulta realizada el 5 de julio de 2016).
- NRCAN (2016e), "The Atlas of Canada - Indigenous mining agreements", en: <<http://atlas.gc.ca/imaema/en/>>.
- OFII (2016), *Foreign direct investment in the United States: September 2016 report*, Organization for International Investment, Washington, DC; disponible en: <[http://ofii.org/sites/default/files/Foreign Direct Investment in the United States 2016 Report.pdf](http://ofii.org/sites/default/files/Foreign%20Direct%20Investment%20in%20the%20United%20States%202016%20Report.pdf)>.
- Olagunju, A. y J. A. E. Gunn (2016), "Integration of environmental assessment with planning and policy-making on a regional scale: a literature review", *Environmental Impact Assessment Review*, núm. 61, pp. 68-77.
- ONU (1987), *Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future*, Oslo, Asamblea General de las Naciones Unidas, Desarrollo y Cooperación Económica Internacional: Medio ambiente; disponible en: <[www.un-documents.net/our-common-future.pdf](http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf)>.
- ONU (2016), "UN Comtrade Database, 280540 Mercury; 2015 data", Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, División de Estadísticas, en: <<https://comtrade.un.org/>> (consulta realizada el 6 de noviembre de 2016).
- ONU CEPE (2014), *Safety guidelines and good practices for tailings management facilities*, Nueva York y Ginebra, Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa; disponible en: <[www.unecce.org/fileadmin/DAM/env/documents/2014/TEIA/Publications/1326665\\_ECE\\_TMF\\_Publication.pdf](http://www.unecce.org/fileadmin/DAM/env/documents/2014/TEIA/Publications/1326665_ECE_TMF_Publication.pdf)>.
- Owen, J. R. y D. Kemp (2013), "Social licence and mining: A critical perspective", *Resources Policy*, vol. 38, núm. 1, Elsevier, Ámsterdam, pp. 29-35.
- Papp, J. F. (2016), *2014 Minerals Yearbook: Recycling-Metals [Advance Release]*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos]; disponible en: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/recycle/myb1-2014-recyc.pdf>>.
- PDAC (2016), "e3 Plus", Prospectors and Developers Association of Canada [Asociación de Exploradores y Desarrolladores de Canadá], en: <[www.pdac.ca/programs/e3-plus](http://www.pdac.ca/programs/e3-plus)> (consulta realizada el 8 de agosto de 2016).
- Pearce, T. D., J. D. Ford, J. Prno, F. Duerden, J. Pittman, M. Beaumier, L. Berrang-Ford y B. Smit (2011), "Climate change and mining in Canada", *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 16, núm. 3, pp. 347-368.
- Pérez, A. A (2016), "The mineral industry of Mexico", en: *2013 Minerals Yearbook Mexico [Advance Release]*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos].

- Perucca, C. F. (2003), "Potash processing in Saskatchewan - A review of process technologies", *CIM Special Volume 53: Industrial Minerals in Canada*, núm. 53, pp. 1-5.
- Pimentel, B. S., E. S. González y G. N. O. Barbosa (2016), "Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges", *Journal of Cleaner Production*, núm. 112, pp. 2145-2157.
- Pirrone, N. y R. Mason, eds. (2009), "World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining", en: *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models*, pp. 131-172, Springer, Nueva York.
- PNUMA (2012), *Reducing mercury use in artisanal and small-scale gold mining*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; disponible en: <[www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/ASGM/Techdoc/UNEP Tech Doc APRIL 2012\\_120608b\\_web.pdf](http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/ASGM/Techdoc/UNEP_Tech_Doc_APRIL_2012_120608b_web.pdf)>.
- PNUMA (2016), Minamata Convention on Mercury, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, en: <[www.mercuryconvention.org/Convention/tabid/3426/Default.aspx](http://www.mercuryconvention.org/Convention/tabid/3426/Default.aspx)> (consulta realizada el 1 de noviembre de 2016).
- PNUMA e IFIA (2001), *Environmental Aspects of Phosphate and Potash Mining*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente e International Fertilizer Industry Association [Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes].
- Pokhrel, L. R. y B. Dubey (2013), "Global scenarios of metal mining, environmental repercussions, public policies, and sustainability: A review", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 43, núm. 21, pp. 2352-2388.
- Portales, L. y S. Romero (2016), *Inconsistencies and limitations of the Social License to Operate: the case of Mexican mining*, Humanistic Management Network Research Paper Series No. 01/16, Universidad de Monterrey.
- ProMéxico (2015), *México: Mining*, Gobierno de México; disponible en: <[www.promexico.gob.mx/documentos/folletos-sectoriales/mining.pdf](http://www.promexico.gob.mx/documentos/folletos-sectoriales/mining.pdf)>.
- ProMéxico (2016), "Mexican mining: A competitive industry", *Negocios ProMéxico*, febrero, pp. 10-19.
- Reichl, C., M. Schatz y G. Zsak (2016), *World mining data: Volume 31, minerals production*, Viena, International Organizing Committee for the World Mining Congresses [Comité Internacional de Organización de los Congresos Mundiales de Minería].
- Rheume, G. y M. Caron-Vuotari (2013), *The future of mining in Canada's North: Economic performance and trends*, Conference Board of Canada [Consejo de la Conferencia de Canadá]; disponible en: <[www.canada2030.ca/wp-content/uploads/2013/08/Future-of-mining-in-Canadas-north\\_cfn.pdf](http://www.canada2030.ca/wp-content/uploads/2013/08/Future-of-mining-in-Canadas-north_cfn.pdf)>.
- Rio Tinto (2013), *Rio Tinto and water*; disponible en: <[www.export.gov.il/uploadfiles/04\\_2013/riotinto\\_and\\_water.pdf](http://www.export.gov.il/uploadfiles/04_2013/riotinto_and_water.pdf)>.
- Roberts, K. (2016), "A legacy that no one can afford to inherit: The Gold King disaster and the threat of abandoned hardrock legacy mines", *Journal of the National Association of Administrative Law Judiciary*, vol. 36, núm. 1.
- Rohrig, B. (2015), "Smartphones. Smart chemistry", *ChemMatters*, pp. 10-12.
- Santana, V., G. Medina y A. Torre (2014), *The Minamata Convention on Mercury and its implementation in the Latin American and Caribbean region*, Montevideo, Uruguay: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Saunders, J. A., B. E. Pivetz, N. Voorhies y R. T. Wilkin (2016), "Potential aquifer vulnerability in regions down-gradient from uranium *in situ* recovery (ISR) sites", *Journal of Environmental Management*, núm. 183, pp. 67-83.
- SE (2010), *Statistical yearbook of the Mexican Mining: Extended, 2009* (versión 2010), Secretaría de Economía, México.
- SE (2013), "Medio ambiente y minería", Secretaría de Economía, México; disponible en: <[www.siam.economia.gob.mx/work/models/siam/Resource/Avisos/pag\\_prin.pdf](http://www.siam.economia.gob.mx/work/models/siam/Resource/Avisos/pag_prin.pdf)>.
- SE (2016), "SIIVI: Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (fracción arancelaria 28054001, mercurio)", Secretaría de Economía, México, en: <[www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php](http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php)>.
- Seccatore, J., M. Veiga, C. Origiasso, T. Marin y G. De Tomi (2014), "An estimation of the artisanal small-scale production of gold in the world", *Science of the Total Environment*, Elsevier, Ámsterdam, núm. 496, pp. 662-667.
- Semarnat (2014), *Norma Oficial Mexicana NOM-165-SEMARNAT-2013, Que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*, en: *Diario Oficial de la Federación*, viernes 24 de enero de 2014, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; disponible en: <[www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6640/1/nom-165-semarnat-2013.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6640/1/nom-165-semarnat-2013.pdf)>.



- Semarnat (2016a), “Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC)”, en: <<http://apps1.semarnat.gob.mx/retc/index.html>> (consulta realizada el 24 de enero de 2017).
- Semarnat (2016b), “RETC data for 2013”, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SGM (2014), *Statistical yearbook of the Mexican mining, 2013*, Servicio Geológico Mexicano.
- SSHRCC (sin fecha), “Canadian environmental health atlas: Asbestos production in Canada”, Social Sciences and Humanities Research Council of Canada [Consejo de Investigación en Ciencias Sociales y Humanidades de Canadá], en: <[www.ehatlas.ca/asbestos/trends/asbestos-production-canada-0#footnote5\\_er7xspc](http://www.ehatlas.ca/asbestos/trends/asbestos-production-canada-0#footnote5_er7xspc)>.
- Sipl, K. y H. Selin (2012), “Global Policy for Local Livelihoods: Phasing Out Mercury in Artisanal and Small-Scale Gold Mining”, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, núm. 54 (abril), pp. 18-29.
- SME (2014), *The safe and effective use of cyanide in the mining industry*, Society for Mining Metallurgy, and Exploration [Sociedad Minero-Metalúrgica y de Exploración]; disponible en: <[www.smenet.org/gpac/](http://www.smenet.org/gpac/)>.
- Solomon, G. M., R. Morello-Frosch, L. Zeise y J. B. Faust (2016), “Cumulative environmental impacts: Science and policy to protect communities”, *Annual Review of Public Health*, vol. 37, núm. 1, Annual Reviews, pp. 83-96.
- Statistics Canada (2012), *North American Industry Classification System (NAICS) Canada*.
- Statistics Canada (2016a), “Imports, exports and trade balance of good on a balance-of-payments basis, by country or country grouping”, en: <[www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l01/cst01/gblec02a-eng.htm](http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l01/cst01/gblec02a-eng.htm)>.
- Statistics Canada (2016b), “International investment position, Canadian direct investment abroad and foreign direct investment in Canada, by North American Industry Classification System (NAICS) and region”, en: <[www5.statcan.gc.ca/cansim/a26](http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26)> (consulta realizada el 15 de julio de 2016).
- Story, R. y T. Yalkin (2014), *Federal contaminated sites cost*, Office of the Parliamentary Budget Officer of Canada [Oficialía del Presupuesto Parlamentario de Canadá]; disponible en: <[www.tbs-sct.gc.ca/fcsi-rscf/home-accueil-eng.aspx](http://www.tbs-sct.gc.ca/fcsi-rscf/home-accueil-eng.aspx)>.
- Straskraba, V. y R. E. Moran (1990), “Environmental occurrence and impacts of arsenic at gold mining sites in the western United States”, *International Journal of Mine Water*, núms. 1-4, vol. 9, Springer, pp. 181-191.
- Tetreault, D. (2015), “Social environmental mining conflicts in Mexico”, *Latin American Perspectives*, vol. 42, núm. 5, pp. 48-66.
- Thorpe, M. (2009), “The decision in Great Lakes United v. Canada (Minister of Environment): The federal government’s responsibility to report on pollution from the mining sector, and beyond?”, *News Brief: Environmental Law Centre*, vol. 24, núm. 2, pp. 8-11.
- US EIA (2016a), “Data: Coal”, US Energy Information Administration [Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos], en: <[www.eia.gov/coal/data.cfm](http://www.eia.gov/coal/data.cfm)> (consulta realizada el 4 de julio de 2016).
- US EIA (2016b), “Today in energy: US mining and exploration investment declined 35% in 2015”, US Energy Information Administration [Administración de Información sobre Energía de Estados Unidos], en: <[www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=24912](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=24912)> (consulta realizada el 1 de noviembre de 2016).
- USFWS (2013), “Digest of federal resource laws”, United States Fish and Wildlife Service [Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos], en: <[www.fws.gov/laws/lawsdigest/Resourcelaws.html](http://www.fws.gov/laws/lawsdigest/Resourcelaws.html)> (consulta realizada el 4 de diciembre de 2016).
- USGS (1997), *Geologic province map*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos]; disponible en: <<http://earthquake.usgs.gov/data/crust/maps.php>>.
- USGS (2005), *Mineral commodity summaries 2005*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos]; disponible en: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2005/mcs2005.pdf>>.
- USGS (2008a), *Mineral commodity summaries 2008*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos].
- USGS (2008b), *Understanding contaminants associated with mineral deposits*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos], Circular 1328; disponible en: <<http://pubs.usgs.gov/circ/1328/>>.
- USGS (2014), *Mineral commodity summaries 2014*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos].
- USGS (2016), *Mineral commodity summaries 2016*, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos].

- Vaughan, S., B. C. Sloan, T. R. Shaw y R. Hilier (2012), "Federal contaminated sites and their impacts, Chapter 3", en: *2012 Spring report of the commissioner of the Environment and Sustainable Development*, núm. 40, Ottawa, Office of the Auditor General of Canada [Oficina del Auditor General de Canadá].
- Veiga, M. (2016), comunicación personal, noviembre de 2016, University of British Columbia, Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering [Universidad de Columbia Británica, Instituto de Ingeniería Minera Norman B. Keevil].
- Veiga, M., G. Angeloci-Santos y J. A. Meech (2014), "Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining", *Extractive Industries and Society*, vol. 1, núm. 2, Elsevier, Ámsterdam, pp. 351-361.
- Wellington, T. A. A. y T. E. Mason (2014), "The effects of population growth and advancements in technology on global mineral supply", *Resources Policy*, núm. 42, Elsevier, Ámsterdam, pp. 73-82.
- West Coast Environmental Law (2015), "Social licence: mob rule or democracy in action?", en: <<http://wcel.org/resources/environmental-law-alert/social-licence-mob-rule-or-democracy-action>> (consulta realizada el 8 de agosto de 2016).
- Williams, I. D. (2016), "Global metal reuse, and formal and informal recycling from electronic and other high-tech wastes", en: *Metal sustainability: Global challenges, consequences, and prospects*, R. M. Izatt (comp.), Wiley.
- YESAB (2016), "How Yukon's assessment process works", Yukon Environmental and Socio-economic Assessment Board [Consejo de Evaluación Ambiental y Socioeconómica de Yukón], en: <[www.yesab.ca/the-assessment-process/how-does-yukons-assessment-process-work](http://www.yesab.ca/the-assessment-process/how-does-yukons-assessment-process-work)> (consulta realizada el 1 de diciembre de 2016).
- Zientek, M. L. y G. J. Orris (2005), *Geology and nonfuel mineral deposits of the United States*, Open-File Report 2005-1294A, US Geological Survey [Servicio Geológico de Estados Unidos]; disponible en: <<https://pubs.usgs.gov/of/2005/1294/a/of2005-1294a.pdf>>.
- Ziglio, G., M. Siligardi y G. Flaim (2006), *Biological monitoring of rivers: Applications and perspectives*, John Wiley and Sons, Ltd., Chichester.



**Emisiones y transferencias  
del sector minero  
en América del Norte, 2013**

## Introducción

El objetivo de este capítulo es brindar información adicional sobre la industria minera de América del Norte para ayudar a los lectores a interpretar los datos sobre las emisiones y transferencias de contaminantes de dicho sector. Como se señala en el capítulo 1, cerca de un tercio de los aproximadamente 5,230 millones de kilogramos registrados en 2013 por todas las ramas industriales que presentaron informes a los registros de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC) de América del Norte correspondió al sector de la minería.<sup>32</sup> Gran parte de esa cantidad consistió en eliminación o disposición de materia contaminante en forma de relaves y residuos de roca estéril. Una mejor comprensión de la naturaleza de estas emisiones, así como del resto de las emisiones y transferencias registradas por los establecimientos mineros, puede ser un buen punto de partida para evaluar si representan —y, de hacerlo, de qué manera— un riesgo para la salud humana y ambiental.

Los análisis de los siguientes apartados revelan que las emisiones y transferencias suelen corresponder a una o sólo unas cuantas instalaciones, por lo que observar totales, promedios y cambios en el tiempo puede conducir a conclusiones erróneas. Es posible aprender mucho más si se examinan los datos RETC con mayor detalle, por contaminantes, clases de minería, regiones y establecimientos específicos. Por tanto, los datos también están desagregados según los códigos de registro del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) a fin de brindar perfiles más definidos de las ocho clases de minería que abarcan los programas RETC.

Estos análisis ilustran también que las diferencias entre los requisitos de registro de los RETC nacionales afectan de manera notable los datos suministrados por el sector minero. La evaluación de estas brechas da lugar a reflexiones adicionales sobre algunas de las diferencias que resultan de particular importancia en el contexto de este sector extractivo, el cual genera enormes cantidades de desechos que contienen contaminantes que pueden ser preocupantes, según se los maneje. Tales consideraciones señalan caminos para enriquecer los tres RETC de América del Norte a fin de que reflejen con mayor precisión las actividades de esta importante industria.

### 3.1 Alcance y metodología

#### 3.1.1 Fuentes de datos

Este análisis examina los datos sobre las emisiones y transferencias de contaminantes según lo informado por los establecimientos del sector minero a sus respectivos programas RETC en el año de registro de 2013. Los datos presentados son los más recientes disponibles relativos a los tres países al momento de redactarse este documento. Fueron recopilados en la base de datos RETC de América del Norte integrada por la CCA: *En balance en línea* (véase el capítulo 1). El presente capítulo proporciona análisis adicionales de las cantidades, clases, fuentes y manejo de los contaminantes registrados por las instalaciones mineras de América del Norte.

Como se señala en el capítulo 1, los programas nacionales a menudo publican, actualizados, los datos anuales de los RETC después de realizar verificaciones de aseguramiento y control de calidad y recibir correcciones de la industria; de igual modo, los datos se actualizan periódicamente conforme a estas revisiones en la base de datos de *En balance en línea*. Es importante destacar que las plantas industriales registran anualmente las emisiones y transferencias para cumplir con los requisitos nacionales, por lo que los establecimientos no necesariamente presentan todos un listado exhaustivo de sus emisiones y transferencias de contaminantes. Para examinar los datos registrados por el sector minero de América del Norte, consúltese *En balance en línea*, en: <[www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)>.

Los datos empleados para los análisis de este capítulo provienen de los conjuntos de datos de los informes NPRI, TRI y RETC de septiembre de 2016, noviembre de 2016 y agosto de 2014, respectivamente. Después de septiembre de 2016, el programa NPRI realizó cambios adicionales, menores en su mayoría, a los datos de 2013, los cuales se mencionan

32. Se recuerda a los lectores que las diferencias entre los tres RETC en cuanto a cobertura de industrias y contaminantes afectan el panorama resultante de la contaminación industrial en América del Norte. Si se requiere más información, véase el apéndice 1.

cuando son relevantes para la interpretación de los datos.<sup>33</sup> La modificación más significativa de este registro fue una revisión del informe inicial sobre el derrame de mineral de carbón presentado por los dueños de la mina Obed. Como la revisión corrigió varios errores significativos del informe presentado originalmente, todos los análisis de datos en este capítulo se ajustaron al informe revisado de la mina.

Además de los datos RETC, se ha incluido información de otras fuentes (como informes de la industria y los medios de comunicación sobre ciertas minas) cuando la misma proporciona un contexto más amplio.

### 3.1.2 Cobertura de la industria

Las instalaciones incluidas en los análisis y planteamientos de este capítulo son las correspondientes a las actividades mineras según sus códigos del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).<sup>34</sup> En concreto, este capítulo está dedicado a los establecimientos clasificados como “minería de minerales metálicos y no metálicos, excepto petróleo y gas” (código 212 del SCIAN) y comprende los siguientes grandes grupos industriales, en el nivel de cuatro dígitos:

- minería de carbón mineral (SCIAN 2121);
- minería de minerales metálicos (SCIAN 2122), y
- minería de minerales no metálicos (SCIAN 2123).

Los análisis por tipo de extracción minera presentados en el apartado 3.4 se basan en registros industriales agregados en el nivel de cinco dígitos del SCIAN (por ejemplo, la minería de oro y plata, código 21222). Sin embargo, algunos establecimientos que informan conforme los códigos de minería del SCIAN también operan plantas fundidoras (código 33141). En Estados Unidos, las operaciones de minería y fundición combinadas a veces desglosan sus registros químicos para alinearlos con sus respectivos códigos SCIAN. En Canadá y México se usa un solo código para el registro de cada planta.

## 3.2 Panorama general de los registros RETC del sector minero de América del Norte, 2013

### 3.2.1 Perfiles de América del Norte y nacionales

En toda América del Norte, 373 establecimientos mineros registraron más de 1,670 millones de kilogramos de emisiones y transferencias para el año de registro 2013 (véase el cuadro 16). Tal cantidad representa un incremento cercano a 286 millones de kilogramos (20%) desde 2010, último año para el que se analizaron los datos (*En balance*, volumen 14). Las instalaciones informaron haber emitido o transferido un total de 79 contaminantes en 2013, de los cuales 14 dan cuenta de 99% del total.

El cuadro 16 presenta los datos RETC de América del Norte desagregados por país. En él se observan similitudes en cuanto a las cantidades totales registradas por los sectores mineros de Canadá y Estados Unidos en 2013. Sin embargo, el valor de la producción minera en Estados Unidos de ese año fue casi tres veces el de Canadá (capítulo 2, apartado 2.1.3), lo que indica que, en términos generales, se registra una mayor proporción de emisiones y transferencias relacionadas con la minería en el NPRI respecto del TRI. En contraste, la industria minera de México es más pequeña, con un valor de producción la mitad que el de Canadá en 2013. Aun así, la masa total de emisiones y transferencias de los 74 centros mineros de México que presentaron registros fue mucho menor que la de los otros dos países: menos de 0.1% del total de América del Norte.

33. En relación con los datos sobre azufre reducido total (ART; en inglés: *total reduced sulfur*, TRS), nótese lo siguiente: a fin de evitar una doble cuantificación y brindar una imagen más precisa de las emisiones y transferencias de este sector, las cantidades de ART registradas (sujetas a registro sólo en el NPRI) se han eliminado de los análisis de este capítulo. El único compuesto de azufre reducido emitido por las minas en 2013 fue el disulfuro de carbono (elemento constitutivo del ART), que también se informa por separado en el RETC de Canadá. Los requisitos de registro del NPRI se modificaron a partir de los informes de 2014 para requerir la información de ART y sus componentes, por lo cual deben registrarse sólo las respectivas emisiones al aire. Puesto que los datos de 2013 aún incluyen algunos registros con cantidades de ART y disulfuro de carbono duplicadas, estos informes con conteo doble se han suprimido para fines de los análisis del presente capítulo.

34. El código 212 del sistema de clasificación SCIAN, designa al subsector “Minería (excepto petróleo y gas)”, que a su vez corresponde al sector 21: “Minería, incluida la extracción de petróleo y gas”. En aras de la simplicidad, y con el fin de ajustarse a la terminología de uso común, a lo largo del presente informe el código 212 del SCIAN aparece referido como sector minero. Si se requiere más información al respecto, véase el capítulo 2.

Cuadro 16. Perfiles de los registros RETC del sector minero de América del Norte, 2013

| Programa RETC                             | Número de establecimientos que presentaron registros* | Número de sustancias* | Emisiones y transferencias totales registradas (kg) |
|---|---|-----------------------|---|
| Canadá (NPRI)                             | 117   | 63                    | 770,697,863   |
| Estados Unidos (TRI)                      | 182   | 59                    | 901,359,624   |
| México (RETC)                             | 74  | 8                     | 1,244,628   |
| <b>Minería total en América del Norte</b> | <b>373</b>  | <b>79</b>             | <b>1,673,302,115</b>                                |

\* Valores de registro superiores a 0.0001 kg.

Nota: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

Estos perfiles de registro nacionales reflejan variaciones en tamaño y composición de las industrias mineras en los tres países, así como diferencias en los requisitos de registro de los RETC nacionales relativos a las actividades y contaminantes industriales. En el capítulo 2 y en el apéndice 1: “Uso y comprensión de los datos de *En balance*”, se describen las características principales de los tres programas RETC y se señala en qué son similares y en qué únicos. Las diferencias entre los tres sistemas generan lagunas de registro que repercuten de manera importante en el panorama general de las emisiones y transferencias del sector minero de América del Norte. Tales diferencias se analizan con mayor detalle en los siguientes apartados.

### 3.2.2 Clases de emisiones y transferencias registradas

En términos del total registrado en América del Norte en 2013, las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, comprenden la mayor parte (99%) de las emisiones y transferencias, seguidas de lejos por la disposición fuera de sitio (0.4%), las transferencias fuera de sitio para reciclaje (0.4%), las emisiones al aire en sitio (0.2%) y las descargas en aguas superficiales en sitio (0.2%) (véase la gráfica 29).

Los metales dan cuenta de la casi totalidad de los registros correspondientes a la categoría de transferencias fuera de sitio para reciclaje. Como se dijo en el capítulo 2, son estrechos los vínculos entre los precios de metales y minerales y la producción; las compañías mineras se benefician cuando reciclan parte de los desechos generados en sus instalaciones.

Gráfica 29. Emisiones y transferencias del sector minero en América del Norte, por categoría (2013)



Emisiones y transferencias totales: 1,673,302,115 kg

Nota: El rubro “sin categoría” incluye datos del NPRI canadiense. Con excepción de ciertos contaminantes específicos, las instalaciones pueden informar sobre emisiones menores a una tonelada (1,000 kg) en la categoría “emisiones totales”, en lugar de identificar el medio específico en el que se verificaron dichas emisiones.

También les resulta lucrativo transferir residuos mineros que contienen materias primas valiosas a una planta procesadora de un país cercano. Los establecimientos mineros de América del Norte no informaron de transferencias transfronterizas de contaminantes en 2013, pero lo han hecho en años anteriores (véase “Transferencias transfronterizas” en el sitio *En balance en línea*, en: <[www.cec.org/enbalance](http://www.cec.org/enbalance)>).

Con todo, los perfiles nacionales de emisiones y transferencias registrados que se muestran en el cuadro 17 revelan diferencias significativas entre los países. Se observa que casi el total de las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, en 2013 correspondió a instalaciones de Canadá y Estados Unidos. En términos del sector minero, la categoría “emisiones o eliminación en el suelo, en sitio”<sup>35</sup> se refiere sobre todo a disposición de contaminantes contenidos en residuos de roca y relaves en Estados Unidos y Canadá. En los programas NPRI y TRI, dichos contaminantes se deben registrar en condiciones específicas que difieren entre los dos países (capítulo 2, apartado 2.4.2).<sup>36</sup> En tanto que los relaves y residuos de roca suelen componer la mayor parte de los volúmenes que se eliminan o disponen en el suelo, en sitio, algunos establecimientos que cuentan con operaciones de procesamiento mineral también eliminan metales en la escoria de los procesos de fundición.

El NPRI es el único de los tres sistemas RETC nacionales que distingue entre los contaminantes eliminados en zonas de relaves y aquéllos contenidos en los residuos de roca como categorías separadas. Los datos indican que 83.4% de la masa total de emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, registrada por las minas canadienses en 2013 correspondió a contaminantes en zonas de relaves; 16.5%, a contaminantes en residuos de roca, y apenas 0.15%, a eliminación en rellenos sanitarios y emisiones al suelo en sitio (cálculos a partir de los datos del NPRI [ECCC, 2016a]).

Cuadro 17. Emisiones y transferencias registradas por el sector minero, por país (2013)

| Tipo de emisión o transferencia                 | Canadá (NPRI)      |                      | Estados Unidos (TRI) |                      | México (RETC)    |                      |
|---|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|
|   | Cantidad (kg)      | % del total nacional | Cantidad (kg)        | % del total nacional | Cantidad (kg)    | % del total nacional |
| <b>EN SITIO</b>                                 |                    |                      |                      |                      |                  |                      |
| Emisiones al aire                               | 1,251,367          | 0.2%                 | 1,783,926            | 0.2%                 | 2,075            | 0.2%                 |
| Emisiones al agua                               | 3,069,265          | 0.4%                 | 677,022              | 0.1%                 | 11,206           | 0.9%                 |
| Emisiones al subsuelo por inyección subterránea | –                  | –                    | 50,462               | <0.1%                | N/A              | N/A                  |
| Emisiones o eliminación en el suelo             | 760,787,885        | 98.7%                | 892,756,664          | 99.0%                | 1,457            | 0.1%                 |
| Sin categoría                                   | 4,203              | <0.1%                | N/A                  | N/A                  | N/A              | N/A                  |
| <b>FUERA DE SITIO</b>                           |                    |                      |                      |                      |                  |                      |
| Eliminación o disposición final                 | 3,904,882          | 0.5%                 | 1,478,489            | 0.2%                 | 1,101,851        | 88.5%                |
| Transferencias para reciclaje                   | 1,634,199          | 0.2%                 | 4,607,822            | 0.5%                 | 128,039          | 10.3%                |
| Otras transferencias                            | 46,062             | <0.1%                | 5,238                | <0.1%                | 0                | 0%                   |
| <b>TOTAL</b>                                    | <b>770,697,863</b> |                      | <b>901,359,624</b>   |                      | <b>1,244,628</b> |                      |

Notas: “Otras transferencias” se refiere a contaminantes enviados fuera de sitio para tratamiento, recuperación de energía o descargas al alcantarillado en plantas de tratamiento (de aguas residuales) de propiedad pública (o municipal), PTPP.

Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“–” significa “no registrado”.

35. Esta categoría conjuga los datos correspondientes tanto a las emisiones al suelo como la eliminación o disposición —también en el suelo—, en sitio, que se caracterizan de manera distinta en cada uno de los tres programas RETC, lo que significa que los datos no se pueden armonizar por completo a escala de América del Norte. Para obtener detalles adicionales, consulte el apéndice 1: “Uso y comprensión de los datos de *En balance*”.

36. Los relaves son roca residual y efluentes producidos por una planta de procesamiento minero; se dispone de ellos en estanques de relaves en el predio de las instalaciones. La roca residual es mineral de baja calidad y otras rocas que se han excavado, pero no procesado (véase el capítulo 2, apartado 2.2.1).

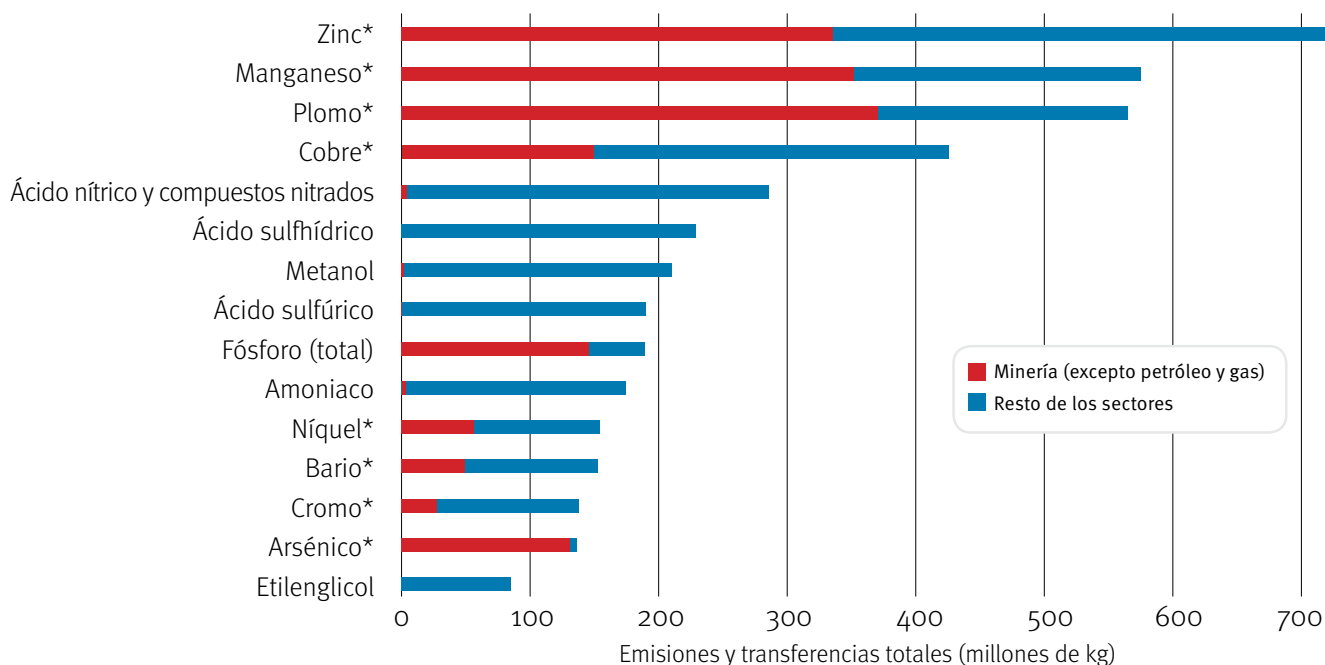
En el programa *RETC* de México, la disposición se define como transferencia fuera de sitio y no se incluye entre las categorías de registro de emisiones en sitio: las instalaciones deben informar sólo sobre las emisiones al aire, el agua y el suelo en sitio (véase el capítulo 2, cuadro 13). Asimismo, como en México sólo se deben registrar las actividades de beneficio (o procesamiento), las instalaciones no están obligadas a informar sobre las cantidades de sustancias químicas objeto de registro en el *RETC* que se eliminan en forma de residuos de roca. Estos atributos del sistema de registro mexicano generan drásticos contrastes por cuanto a los volúmenes que declara el sector minero mexicano y los de los otros dos países, ya que, a diferencia de sus contrapartes estadounidense y canadiense, los establecimientos mineros de México no informaron sobre eliminación o disposición de relaves y residuos de roca en sitio. Tan sólo registraron cantidades relativamente menores de contaminantes emitidos al suelo en sitio, junto con alguna transferencia fuera de sitio para disposición final, casi exclusivamente de cianuro (que dio cuenta de cerca de 90% de todas las emisiones y transferencias registradas en 2013 por ese sector en México).

### 3.2.3 Emisiones y transferencias del sector minero en el marco de todos los registros industriales en América del Norte

Los establecimientos mineros en América del Norte son fuente importante de muchos de los contaminantes con mayores registros, sobre todo metales (y sus compuestos). De los 5,227,020,104 kilogramos (kg) de contaminantes emitidos o transferidos que todos los sectores industriales de América del Norte registraron para el año 2013, más de 1,670 millones de kg (32%) correspondieron a instalaciones mineras (cuadro 16); y, del conjunto de las operaciones mineras, la minería de minerales metálicos dio cuenta de casi el total de la masa de contaminantes registrados por ese sector.

La gráfica 30 presenta la contribución del sector minero a las emisiones y transferencias totales registradas de contaminantes con mayores registros de todos los sectores industriales de América del Norte en 2013. Los establecimientos mineros dieron cuenta de 95% de todo el arsénico registrado, 78% del fósforo total, 66% del plomo, 61% del manganeso, 47% del zinc, 35% del níquel, 35% del cobre y 32% del bario. El total del bario registrado por la minería en 2013 fue más alto que lo normal (véase el recuadro 16 en el apartado 3.5.2).

Gráfica 30. **Los 15 contaminantes con registros más elevados (por emisiones y transferencias totales registradas), 2013: sector minero frente al resto de los sectores**



Notas: Al hacer interpretaciones de datos *RETC* de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales. “\*” significa “y sus compuestos”.



La contribución del sector minero a las emisiones y transferencias de fósforo total que se muestran en esta gráfica posiblemente sea un cálculo muy subestimado, dado que este contaminante sólo se registra en Canadá.<sup>37</sup> De igual modo, es muy probable que se hayan subestimado las contribuciones de la minería a la cantidad de metales que suelen emitirse y depositarse durante las operaciones mineras en América del Norte —sobre todo zinc, manganeso y cobre (y sus compuestos)— debido a la ausencia de registros de las plantas mexicanas, ya que estos metales no están sujetos a registro obligatorio en el *RETC*.

El problema de las lagunas generadas por las diferencias entre los sistemas *RETC* nacionales no es exclusivo del sector minero, pero la falta de registros de numerosas sustancias que son típicas de la minería metálica en México llama particularmente la atención al respecto, sobre todo a la luz de las grandes cantidades de residuos de los que se informa en Canadá y Estados Unidos. Como se dijo, gran parte de los desechos que el sector declara en estos dos países consiste en sustancias contenidas en los relaves y la roca residual que las instalaciones emiten o eliminan en sitio. En México, la eliminación o disposición en sitio (en el suelo) no es una categoría del *RETC*, lo cual es un factor que amplía las lagunas en los datos declarados a escala regional.

En el capítulo 2 (gráfica 24 y cuadro 9) se abordan los principales contaminantes asociados con actividades mineras y se explican las rutas típicas por las que, de no manejarse de manera adecuada, ingresan al medio ambiente y ejercen un impacto negativo. A fin de ayudar a los lectores a interpretar los datos suministrados por el sector minero, los siguientes apartados brindan más información sobre emisiones y transferencias y las clases de contaminantes registrados.

### 3.3 Para comprender las emisiones y transferencias de la industria minera

#### 3.3.1 Contaminantes registrados en grandes proporciones por el sector minero, 2013

La gráfica 31 presenta los diez contaminantes con mayores registros, por cantidades totales de emisiones y transferencias, de los que presentaron informes los establecimientos mineros de América del Norte en 2013. También indica la proporción del total aportado por cada uno de los tres grandes grupos de la industria minera (minería de carbón mineral, de minerales metálicos y de minerales no metálicos). La mayor parte de estos contaminantes son comunes a los tres grupos y difieren sólo por su importancia (clasificación) relativa. Son excepciones el aluminio, que sólo figuró entre los diez más importantes de la minería de carbón mineral (y que sólo registró una mina de carbón en Alberta); el plomo y el bario, que sólo se emitieron o transfirieron en cantidades significativas por parte de las minas de mineral de carbón y de minerales metálicos, y el amoníaco, que constituyó un contaminante de consideración en las minas de mineral de carbón y de minerales no metálicos, aunque no para la minería de minerales metálicos. El fósforo (total) fue por mucho el contaminante registrado en las cantidades más elevadas, tanto por la minería de carbón como la de minerales no metálicos e instalaciones de cantera, aunque sólo se registra en Canadá.

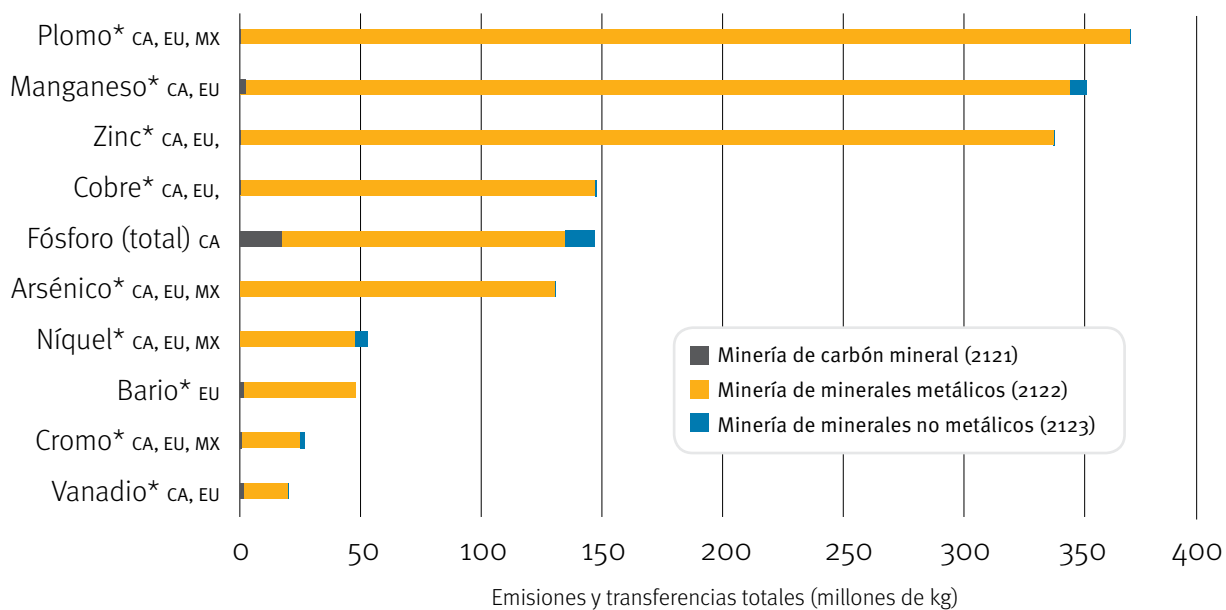
Las ocho sustancias con mayores volúmenes registrados que aparecen en esta gráfica dieron cuenta de 95% de las emisiones y transferencias totales registradas por establecimientos mineros en 2013: plomo y sus compuestos (22%), manganeso y sus compuestos (21%), zinc y sus compuestos (20%), cobre y sus compuestos (9%), fósforo total (9%), arsénico y sus compuestos (8%), níquel y sus compuestos (3%) y bario y sus compuestos (3%). Sin embargo, de los diez con registros de volúmenes más elevados, sólo cuatro —plomo, arsénico, níquel y cromo— se deben registrar en los tres sistemas de *RETC*.

Junto con las variaciones entre los *RETC* de América del Norte en cuanto a las sustancias sobre las que se debe informar, los umbrales de registro de los contaminantes en cada país pueden ser muy distintos (véase el cuadro 18). Por ejemplo, los umbrales para el arsénico son mucho más elevados en el TRI de Estados Unidos que en el *RETC* y el NPRI. Con el propósito de determinar emisiones y transferencias que realmente reflejen los niveles nacionales de actividad industrial y el uso de sustancias contaminantes (en concreto, “manufactura, procesamiento u otros usos” o MPO), cada programa establece sus propios umbrales de registro. Además, el programa *RETC* de México ha establecido también umbrales de “emisión” de contaminantes más bajos que los correspondientes a MPO, y, con objeto de recopilar información sobre emisiones al medio ambiente mucho más pequeñas, cada uno de los tres programas ha establecido umbrales de registro más bajos para ciertas sustancias.<sup>38</sup>

37. Las formas físicas amarillas y blancas (alótropos) del fósforo se registran en el TRI, si bien no se emiten en actividades mineras.

38. Véase la lista de contaminantes registrados en los *RETC* de América del Norte, en: <Los *RETC* y sus requisitos generales de registro>.

Gráfica 31. Diez principales contaminantes del sector minero, por emisiones y transferencias totales registradas, 2013



Notas: “\*” significa “y sus compuestos”.

“CA” (Canadá, NPRI), “EU” (Estados Unidos, TRI) y “MX” (México, RETC) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro.

Cuadro 18. Umbrales de registro nacionales de los diez principales contaminantes del sector minero

| Contaminante    | NPRI de Canadá      | TRI de Estados Unidos |        | RETC de México |                |
|-----------------|---------------------|-----------------------|--------|----------------|----------------|
|                 | (MPO) (kg)          | (M, P) (kg)           | O (kg) | (MPO) (kg)     | (Emisión) (kg) |
| Plomo*          | 50                  | 45                    | 45     | 5              | 1              |
| Manganeseo*     | 10,000              | 11,340                | 4,536  | N/A            | N/A            |
| Zinc*           | 10,000              | 11,340                | 4,536  | N/A            | N/A            |
| Cobre*          | 10,000              | 11,340                | 4,536  | N/A            | N/A            |
| Fósforo (total) | 10,000              | N/A                   | N/A    | N/A            | N/A            |
| Arsénico*       | 50                  | 11,340                | 4,536  | 5              | 5              |
| Níquel*         | 10,000              | 11,340                | 4,536  | 5              | 1              |
| Bario*          | N/A                 | 11,340                | 4,536  | N/A            | N/A            |
| Cromo*          | 10,000 <sup>†</sup> | 11,340                | 4,536  | 5              | 1              |
| Vanadio*        | 10,000              | 11,340                | 4,536  | N/A            | N/A            |

Notas: Los umbrales mostrados se aplican a la masa de una sustancia manufacturada (M), procesada (P) o con otro uso (O). El RETC de México tiene, además, un umbral de “emisión”.

“\*” significa “y sus compuestos”.

MPO = manufactura, procesamiento u otros usos. MP = Manufactura y procesamiento.

† El NPRI tiene un umbral más bajo para el Cr6 (cromo hexavalente), forma sumamente tóxica del cromo.

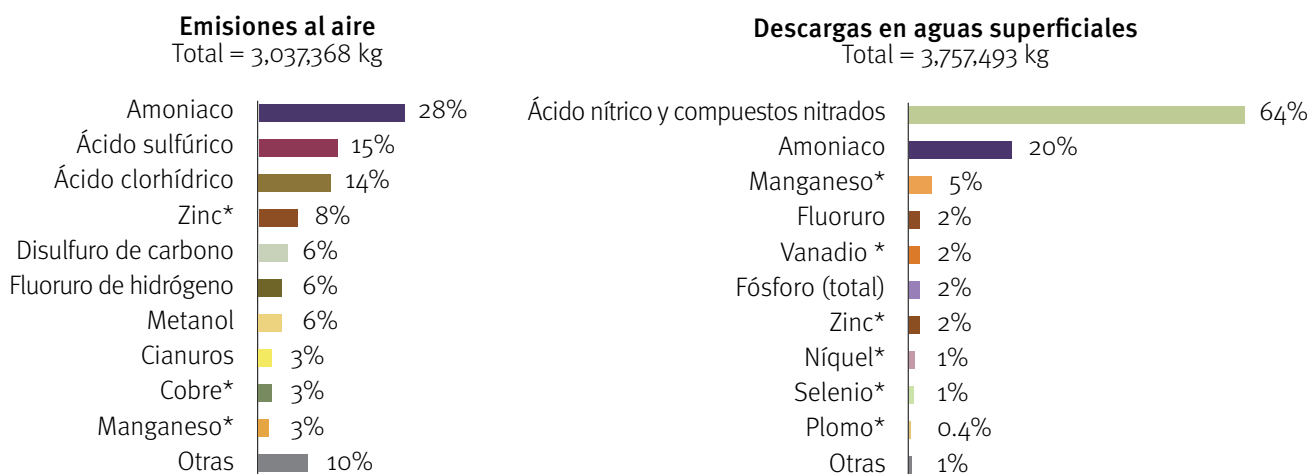
Las diferencias entre los requisitos de registro de contaminantes de los RETC generan distorsiones en la imagen de las emisiones y transferencias de contaminantes del sector minero en América del Norte. Como resultado, la importancia relativa de cada una de estas sustancias en tanto contaminantes relacionados con la minería es poco clara. Sin embargo, de la misma manera en que las lagunas entre programas RETC respecto de ciertos contaminantes afectan los perfiles de contaminación resultantes, es muy probable que las lagunas en el registro de estos contaminantes —los cuales se asocian a actividades mineras (en particular las de minerales metálicos)— se traduzcan en una subestimación significativa de la contribución general del sector a las emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte.

### 3.3.2 Evaluación del riesgo de los contaminantes de la minería

Las gráficas del apartado anterior brindan una buena “instantánea” de los contaminantes responsables de la mayor parte de las emisiones y transferencias del sector minero en 2013. Con todo, como se dijo al principio de este informe, la evaluación de los efectos potenciales de las emisiones de contaminantes en la salud de los seres humanos y el medio ambiente es una tarea compleja, por lo que —aparte de las cantidades totales— deben tomarse en cuenta otros factores para dilucidar si existe un riesgo. Por ejemplo, la disposición de asbesto en un relleno sanitario seguro entraña un riesgo muy diferente que el del asbesto emitido al aire. Las rutas seguidas por los contaminantes y los efectos de estas sustancias en el medio ambiente dependen del clima, la topografía y las características de las rocas, el suelo y el agua del lugar; la cantidad y la forma de los contaminantes emitidos, así como su toxicidad inherente, el tiempo de exposición o residencia, etcétera.

La gráfica 32 presenta los diez contaminantes con registros de volúmenes más elevados de los que presentaron informes las instalaciones mineras de América del Norte en 2013, clasificados según cantidades emitidas a aire y agua. Ahí se observa que los no metales, incluidos amoníaco, ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, comprenden la mayor parte (57%) de los contaminantes registrados como emisiones al aire; y que el ácido nítrico y compuestos nitrados y el amoníaco emitieron 84% de las descargas en aguas superficiales. Los establecimientos registraron también, a uno o a ambos medios, pequeñas cantidades de metales (y sus compuestos) como zinc, manganeso, vanadio y cobre.

Gráfica 32. Diez contaminantes emitidos al aire y el agua en mayores proporciones por el sector minero de América del Norte (2013)



Notas: “Otras” representa la suma de emisiones o descargas de todos los demás contaminantes con registros para el medio en cuestión.

“\*” significa “y sus compuestos”.

Como se dijo en el apartado sobre metodología, el azufre reducido total (ART) se eliminó de los análisis de este capítulo para evitar el doble conteo. Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

### 3.3.3 Clasificación de las emisiones al aire y el agua en función de sus riesgos de toxicidad

Aparte de valorar los totales registrados, las emisiones de contaminantes al aire y el agua pueden también evaluarse en términos del riesgo que representan para la salud humana. En el apartado 1.3.2 del capítulo 1 se presentan los índices de potencial de equivalencia tóxica (PET) que se emplean en *En balance* para indicar cómo califican en materia de riesgo ciertos contaminantes emitidos al aire y el agua con base en sus cantidades y toxicidad. Si bien la calificación PET no constituye una evaluación de riesgo, sí indica el potencial de riesgo en función de las cantidades emitidas y la toxicidad inherente de una sustancia, sin tomar en cuenta otros factores de riesgo. Los índices PET son útiles porque destacan sustancias muy tóxicas que suelen emitirse en cantidades relativamente pequeñas y que de otro modo podrían no reconocerse como contaminantes significativos.

En 2013, el sector minero representó sólo 0.7% de la masa total de las emisiones al aire de todos los sectores industriales y 1.7% de la masa total de las descargas en el agua. Sin embargo, las calificaciones PET de algunos de los contaminantes emitidos a aire y agua (cuadro 19) indican que tienen un elevado potencial para afectar de manera negativa la salud humana, incluso en cantidades muy pequeñas. Entre los ejemplos más llamativos figura el contraste entre las bajas cantidades emitidas y las elevadas calificaciones de riesgo cancerígeno y no-cancerígeno de las dioxinas y furanos, el talio y el mercurio.

Al examinar las emisiones de contaminantes específicos que contribuyen a calificaciones elevadas de riesgo de toxicidad, a menudo se constata que una sola o apenas unas cuantas instalaciones son responsables de la mayor parte de las emisiones que se traducen en riesgo. Tal es el caso, por ejemplo, del arsénico, que representó 60% del índice PET de riesgo calculado para las emisiones al aire en 2013 y que fue registrado por sólo tres establecimientos (una mina de níquel canadiense, una de cobre de Estados Unidos y otra de mineral de hierro de Canadá). Por tanto, es conveniente observar las emisiones de contaminantes por establecimiento, incluidos contaminantes con bajas emisiones totales.

Cuadro 19. **Potencial de equivalencia tóxica (PET) de contaminantes seleccionados emitidos al aire y al agua por el sector minero, 2013**

| Contaminante              | Emisiones al aire, en sitio |                                    |                                       | Emisiones al agua, en sitio |                                    |                                       |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
|                           | Kg                          | Índice PET de riesgos cancerígenos | Índice PET de riesgos no-cancerígenos | Kg                          | Índice PET de riesgos cancerígenos | Índice PET de riesgos no-cancerígenos |
| <b>Arsénico*</b>          | 6,939                       | 111,016,494                        | 582,836,593                           | 4,332                       | 17,326,044                         | 86,630,221                            |
| <b>Cadmio*</b>            | 2,387                       | 62,061,812                         | 4,535,286,238                         | 1,471                       | 2,794,560                          | 205,914,937                           |
| <b>Cromo*</b>             | 4,797                       | 623,620                            | 14,870,938                            | 4,484                       | 0                                  | 1,973,135                             |
| <b>Cobre*</b>             | 89,816                      | 0                                  | 1,167,611,804                         | 13,381                      | 0                                  | 160,574,486                           |
| <b>Dioxinas y furanos</b> | 0.0037                      | 4,453,284                          | 3,265,741,336                         | 0.005                       | 3,464,490                          | 2,460,290,000                         |
| <b>Plomo*</b>             | 27,072                      | 758,009                            | 15,701,619,981                        | 14,271                      | 28,542                             | 599,387,079                           |
| <b>Mercurio*</b>          | 1,421                       | 0                                  | 19,887,271,783                        | 60                          | 0                                  | 775,970,759                           |
| <b>Talio*</b>             | 1.81                        | 0                                  | 21,772,434                            | 227                         | 0                                  | 612,349,700                           |

Notas: La calificación PET se calcula multiplicando la cantidad emitida de un contaminante por el potencial de equivalencia tóxica (PET) asignado al mismo.  
 “\*” significa “y sus compuestos”.

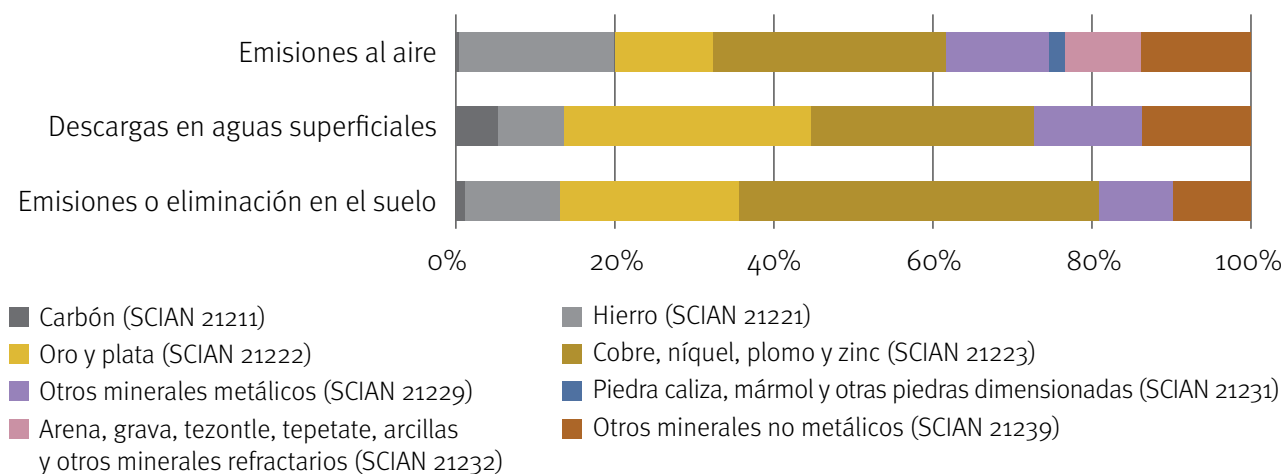
Como se dijo, la mayor parte de los contaminantes registrados por el sector minero en 2013 correspondió a residuos de roca y relaves. En Canadá y Estados Unidos (donde se declararon cuantiosas cantidades de emisiones o eliminación de estos residuos), las dependencias federales y estatales o provinciales o territoriales exigen que los residuos de roca se depositen en estructuras diseñadas para contener contaminantes. Los mayores riesgos para la salud humana y ambiental derivados de la mayor parte de las sustancias tóxicas eliminadas en el suelo obedecen al potencial de que los contaminantes entren en aguas superficiales y profundas y se dispersen fuera de sitio. Esto puede ser resultado de fallas en las instalaciones u operaciones de almacenamiento de contaminantes en el suelo, por ejemplo, la fractura de una presa o escorrentías y filtración, sobre todo en donde las rocas residuales o los relaves son generadores de ácido. Los contaminantes que se emiten o eliminan en el suelo pueden también transmitirse por el aire en forma de polvo. Aunque los índices PET de riesgo no se pueden calcular directamente a partir del almacenamiento en suelo de sustancias tóxicas, el peligro que éstas representan puede evaluarse con base en las cantidades y formas de los contaminantes presentes en el establecimiento, la manera en que se disponen y se mantienen, y otros factores que influyen en el potencial de exposición humana a los mismos.

### 3.4 Examen más detallado de los registros de contaminantes por tipo de extracción minera y establecimiento

En los análisis de los apartados anteriores se abordaron las emisiones y transferencias del sector minero en su conjunto y según los tres grupos principales de esa industria: minerías de carbón mineral, de minerales metálicos y de minerales no metálicos y cantera. Mientras la combinación de contaminantes empleados y emitidos o transferidos por las minas es específica de un sitio, debido a las propiedades de los yacimientos y los procesos de extracción y beneficio empleados para concentrar los minerales, ciertos contaminantes o grupos de ellos tienden a asociarse con —o ser típicos de— ciertas clases de minas. Por ello es importante examinar los datos registrados en los códigos de cinco dígitos del SCIAN, ya que esto permite matizar la interpretación de los datos correspondientes a las ocho clases de minas incluidas en este informe.

Estas clases de minería se muestran en las dos gráficas que se presentan a continuación. Las cantidades y las formas de las emisiones y transferencias de contaminantes pueden variar significativamente entre las plantas que se agrupan según el tipo de extracción minera. Ello obedece a que los códigos de cinco dígitos del SCIAN combinan minas de clases muy diferentes (en particular en las categorías “otros”: “otros metales” y “otros no metales”), así como a diferencias en escala, ubicación y naturaleza de las operaciones mineras (gráfica 33).

Gráfica 33. Emisiones al aire, el agua y el suelo, en sitio, por tipo de extracción minera (código SCIAN de cinco dígitos), 2013



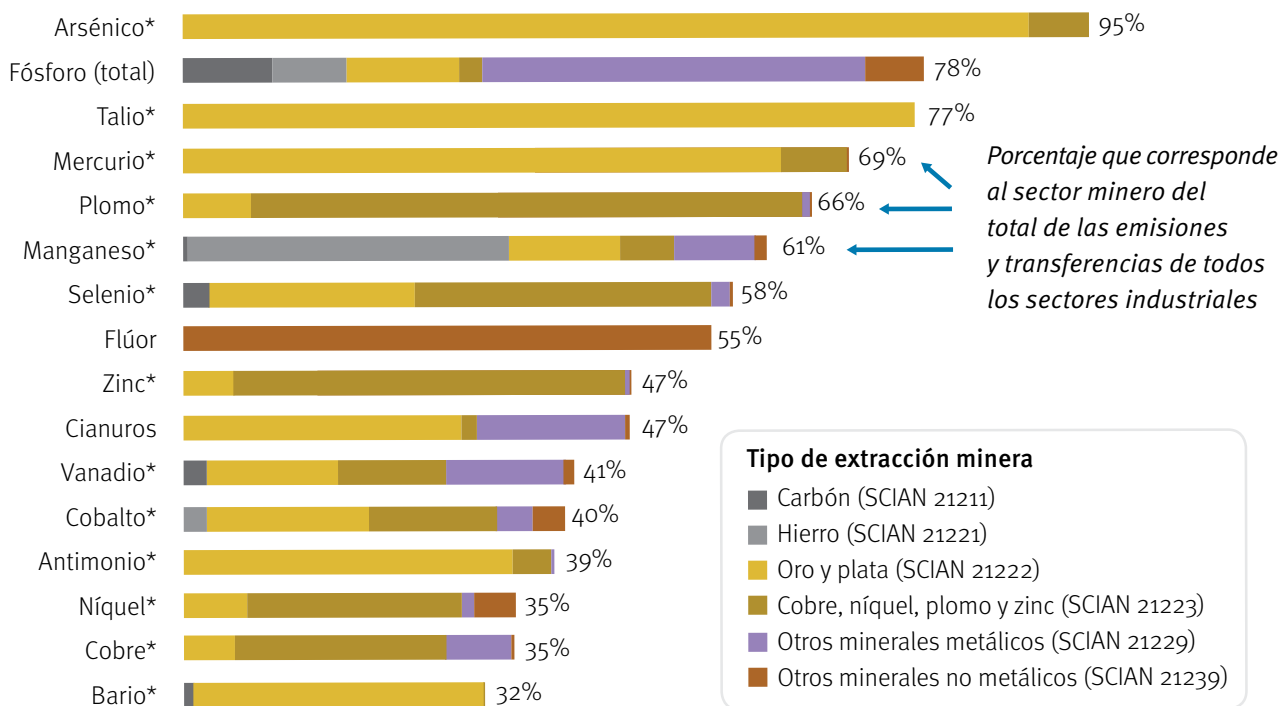
Nota: Los porcentajes representan la parte del total correspondiente a cada tipo de extracción minera, por categoría de registro.

La gráfica 34 presenta los contaminantes emitidos o transferidos en volúmenes más elevados por el sector minero de América del Norte en 2013 e indica las proporciones relativas con que contribuyó cada una de las clases de minería incluidas en este informe. Dos tipos: arena, grava, barro y cerámica, por un lado, y piedra, por el otro, se excluyen de esta gráfica porque contribuyeron con menos de 0.01% de total de cada contaminante.

Las cantidades totales de contaminantes emitidos y transferidos no son muy útiles para determinar la posible contaminación y el riesgo para la salud humana y del medio ambiente derivados de las actividades mineras ya que, como se dijo, para evaluar apropiadamente el riesgo deben considerarse otros factores. Sin embargo, resúmenes como los presentados en la gráfica 34 brindan información sobre los contaminantes con mayores registros asociados con clases específicas de minas y, sobre todo, las diferencias en las clases y proporciones de contaminantes generados en las operaciones mineras de extracción de minerales metálicos, carbón y minerales no metálicos.

El siguiente apartado presenta, en forma tabular, breves resúmenes para cada clase de minería conforme a la clasificación de cinco dígitos del SCIAN. Estos cuadros incluyen información sobre el tamaño del sector minero (datos del capítulo 2) y el número de establecimientos que presentaron registros para el año 2013. Asimismo, cada cuadro brinda un análisis de las fuentes y el contexto de los registros de contaminantes emitidos al aire y el agua, al igual que emitidos o eliminados en el suelo, en sitio, en los casos en que estas sustancias revisten importancia por su cantidad y por sus efectos potenciales en la salud humana y el medio ambiente.

Gráfica 34. Contribución a las emisiones y transferencias totales de la minería por contaminantes seleccionados según el tipo de mina (código de cinco dígitos del SCIAN), 2013



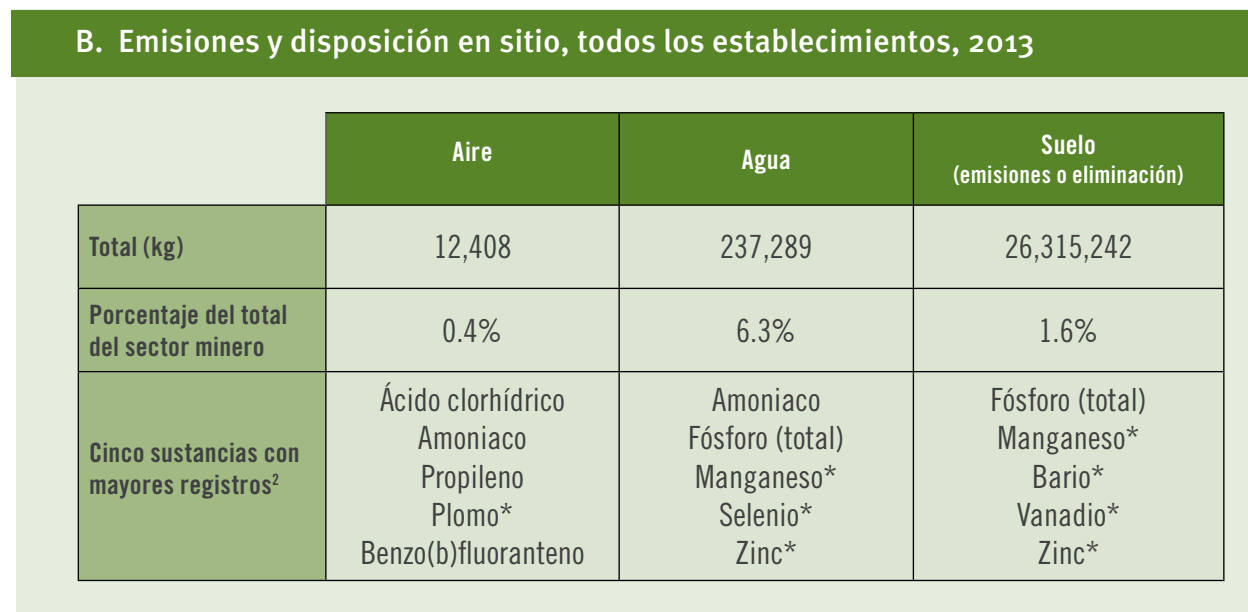
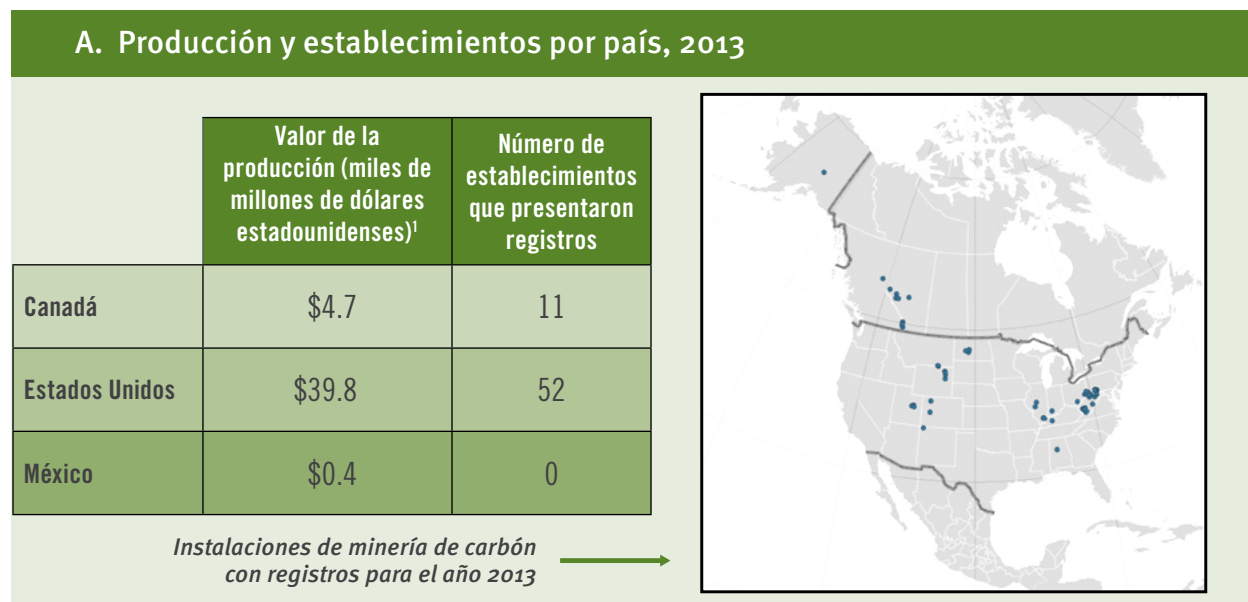
Notas: Se muestran todos los contaminantes para los que el sector minero contribuye con más de 30% de las emisiones y transferencias totales. Se omiten las actividades de extracción de arena, grava, barro y cerámica, y piedra (códigos SCIAN 21231 y 21232), pues representan menos de 0.01% de las emisiones de cada contaminante.

“\*” significa “y sus compuestos”.

Los lectores deben recordar que algunas minas que producen una gama de productos minerales presentan registros en la categoría “otros” de las claves de cinco dígitos del SCIAN (por ejemplo, “otros minerales metálicos”, SCIAN 21229; “otros minerales no metálicos”, SCIAN 21239). Así, por ejemplo, se dan casos en que minas que producen cobre y oro, o plomo y zinc, estén clasificadas como “minería de otros minerales metálicos”.

### 3.4.1 Minería de carbón mineral

Gráfica 35. Minería de carbón mineral (código SCIAN 21211)



1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“\*” significa “y sus compuestos”.

Las minas de mineral de carbón registraron cantidades relativamente pequeñas de contaminantes en la categoría de emisiones y disposición en sitio. Los datos de *En balance* no incluyen contaminantes atmosféricos de criterio (CAC), grupo de sustancias químicas asociadas con efectos ambientales como el esmog, la neblina regional y la lluvia ácida, así como con enfermedades respiratorias. Algunos CAC, como partículas finas y monóxido de carbono, se emiten durante la combustión y otras actividades, y constituyen un problema de contaminación común a las instalaciones mineras de carbón mineral. Los CAC se informan en el NPRI canadiense, pero no en los sistemas de registro de los otros dos países.<sup>39</sup> Sin embargo, los datos sobre contaminantes atmosféricos del NPRI correspondientes a las minas de carbón mineral de Canadá muestran que dichas actividades mineras emiten grandes cantidades de CAC (en especial, partículas finas, junto con monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, contaminantes orgánicos volátiles y dióxido de azufre), en comparación con todas las demás sustancias (ECCC, 2016a). Los estudios de contaminación atmosférica en las minas de carbón mineral en Estados Unidos y otros sitios indican que en la minería superficial correspondiente se generan niveles elevados de partículas finas (Jaramillo y Muller, 2016; Aneja *et al.*, 2012).

Los registros de los RETC tampoco dan cuenta de la adición de iones a las aguas receptoras. El aumento de iones, incluidos sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), está vinculado con el deterioro de las comunidades de invertebrados corriente abajo de las minas de carbón estadounidenses (capítulo 2, cuadro 9).

El **fósforo (total)**, del que es obligatorio informar sólo en Canadá, predominó en los registros de las minas de mineral de carbón. Casi todo el fósforo del que se informó (99.8%) consistió en eliminación en sitio por descarga en suelo de las nueve minas de carbón mineral del oeste de Canadá. Aunque menores en cantidad si se les compara con las emisiones o eliminación en el suelo, 93% de todas las descargas de fósforo en agua del sector minero correspondió a cinco minas de carbón de una región: el valle de Elk River en Columbia Británica, lo que refleja la importancia de la geología regional en la composición de los desechos mineros. El fósforo es un nutriente que tiene el potencial de modificar los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, los estudios indican que las minas de carbón no han dado lugar a cambios significativos en el fósforo disponible o en el crecimiento de algas en Elk River (Kuchapski y Rasmussen, 2015; Hauer y Sexton, 2013).

El **bario**, la tercera sustancia más abundante depositada en el suelo en las minas de carbón mineral, sólo está sujeto a informe en Estados Unidos, donde fue registrado por diez minas de carbón.

El **selenio** es de creciente preocupación como contaminante asociado con la minería de carbón (capítulo 2, cuadro 9). Lo registraron nueve minas de carbón en Canadá y dos en Estados Unidos. Sólo informaron sobre descargas de selenio en agua las minas canadienses, mientras que dos de Estados Unidos registraron disposiciones de este mineral al suelo. Es probable que los datos RETC subestimen las emisiones de selenio. Los requisitos para su registro varían de manera considerable: los umbrales de registro en el NPRI (100 kg) son más de cien veces menores que los del TRI (11,340 kg) (véase la lista de contaminantes registrados en los RETC de América del Norte, en: <Los RETC y sus requisitos generales de registro>). El selenio no está sujeto a registro en el RETC de México.

Incluso si se alcanza el umbral del contaminante, no todas las disposiciones y emisiones necesariamente están sujetas a presentación de informe. Por ejemplo, no presentaron informes sobre el selenio depositado en suelo en forma de residuos de roca estéril las minas de carbón de Elk Valley en 2013, ya que la roca se consideró inerte (comentarios del NPRI; ECCC, 2016d). Todas las emisiones o eliminación en el suelo registradas por estas minas correspondieron a relaves. El selenio está presente en los residuos de roca de Elk Valley en diversas formas de sustancias químicas con una concentración promedio de 3.12 mg/kg (Hendry *et al.*, 2015). Los niveles de selenio medidos en el agua que se escurre o infiltra desde los estanques o vertederos de residuos permiten suponer que el selenio se libera en el agua mediante la oxidación de sulfuros seleníferos, mismos que constituyen cerca de 20% de las reservas de selenio en la roca residual (Hendry *et al.*, 2015). Sin embargo, el registro de contaminantes en las escorrentías y filtraciones de agua a través de los residuos de roca estéril es muy heterogéneo entre los tres RETC.

39. Como los CAC no se registran en los tres programas RETC, no se incluyen en el informe *En balance*. Si se requiere una explicación, véanse el capítulo 1 y el apéndice 1: "Uso y comprensión de los datos de *En balance*".



Las emisiones al agua de las minas de carbón mineral en 2013 incluyen datos sobre un derrame causado por la fractura de un muro de un estanque de contención en la mina Obed operada por Coal Valley Resources Inc., en Alberta (Cooke *et al.*, 2016). El derrame fue responsable de una parte considerable de las emisiones totales al agua provenientes de actividades de esta rama del sector minero de los tres contaminantes con mayores registros: fósforo (total), manganeso y zinc, pero no produjo cantidades significativas de amoníaco y selenio (cuadro 20). Asimismo, este derrame constituyó la única descarga registrada por minas de mineral de carbón, de antimonio y cobalto, y también fue responsable de las mayores cantidades de arsénico, cromo, cobre y plomo registradas por tales minas ese año. En el apartado 3.5.3 y el cuadro 22 se presenta información adicional sobre este derrame.

Cuadro 20. **Contaminantes derramados en la mina de carbón de Obed, en Alberta, Canadá, en comparación con las emisiones al agua totales de las actividades de extracción de carbón mineral (2013)**

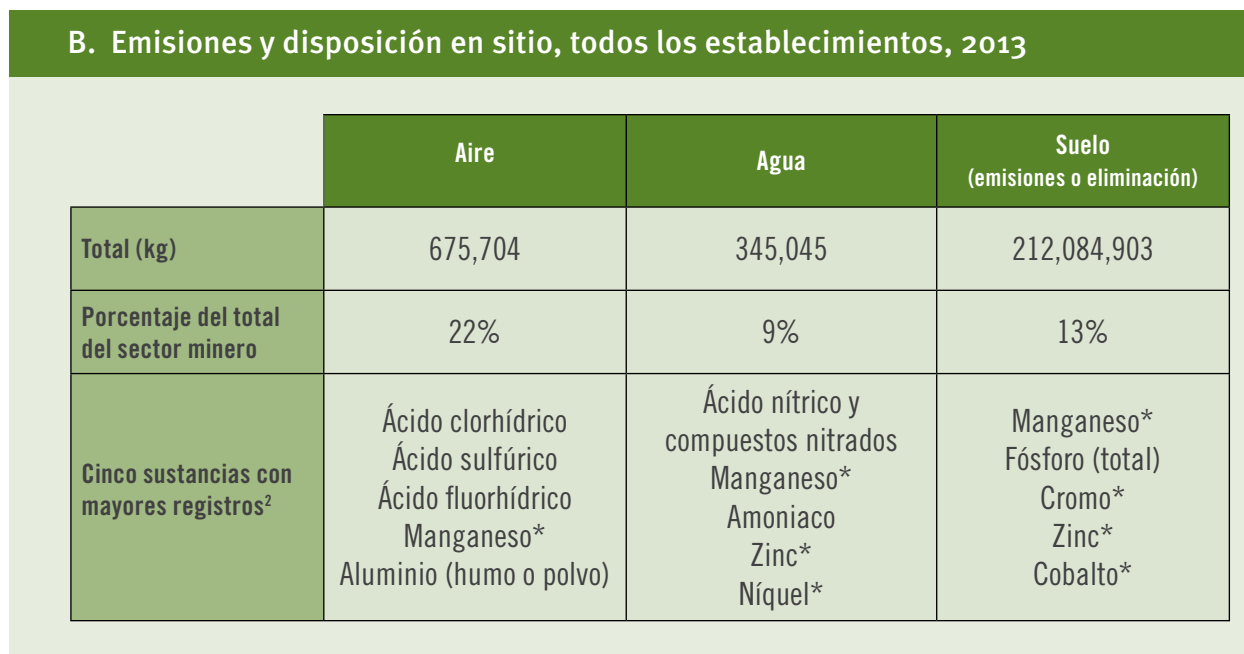
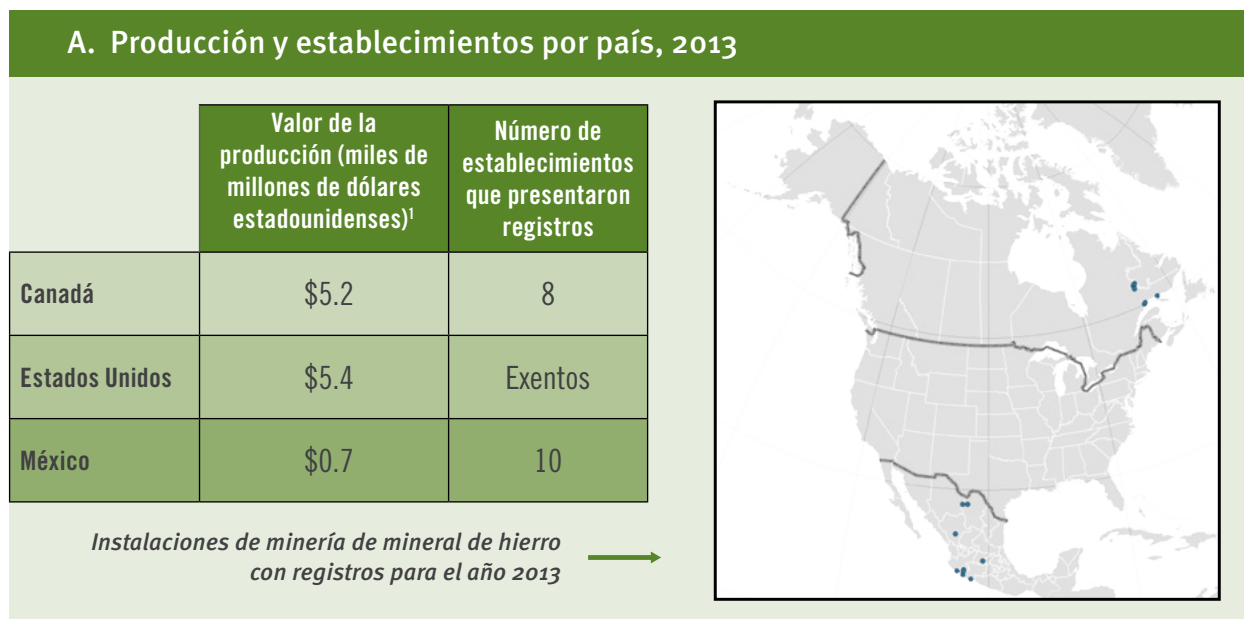
| Contaminante    | Volumen derramado en la mina de Obed (kg) <sup>1</sup> | Emisiones al agua por actividades mineras de carbón mineral (kg) | Porcentaje del total de las emisiones por actividades de extracción de carbón mineral correspondiente a las descargas de la mina de Obed |
|-----------------|--|--|--|
| Amoníaco        | 1,762  | 81,061   | 2%   |
| Antimonio*      | 29   | 29   | 100%   |
| Arsénico*       | 567  | 641  | 88%  |
| Cadmio*         | 23   | 114  | 20%  |
| Cromo*          | 1,095  | 1,197  | 92%  |
| Cobalto*        | 552  | 552  | 100%   |
| Cobre*          | 994  | 1,223  | 81%  |
| Plomo*          | 771  | 816  | 94%  |
| Manganeso*      | 36,800   | 39,504   | 93%  |
| Mercurio*       | 4  | 10   | 41%  |
| Níquel*         | 1,463  | 4,588  | 32%  |
| Fósforo (total) | 42,688   | 80,354   | 53%  |
| Selenio*        | 27   | 16,681   | <1%  |
| Vanadio*        | 1,762  | 2,015  | 87%  |
| Zinc*           | 4,057  | 8,362  | 49%  |
| <b>Total</b>    | <b>92,594</b>  | <b>237,147</b>   | <b>39%</b>   |

1. Datos sobre el derrame revisados por el ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (*Environment and Climate Change Canada, ECCC*), diciembre de 2016. “\*” significa “y sus compuestos”.

El efecto inmediato fue la erosión y asfixia del hábitat acuático y una columna de turbidez que se extendió 1,100 km corriente abajo al delta del río. Las pruebas de toxicidad realizadas con el agua emitida y el sedimento indicaron un orden relativamente bajo de toxicidad aguda; el potencial de los efectos de largo plazo del derrame en los ecosistemas acuáticos corriente abajo se sigue monitoreando (Cooke *et al.*, 2016).

### 3.4.2 Minería de mineral de hierro

Gráfica 36. Minería de mineral de hierro (código SCIAN 21221)



1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

\*" significa "y sus compuestos".

Si bien las industrias extractivas de mineral de hierro canadienses y de Estados Unidos fueron de tamaño similar en 2013, las instalaciones respectivas de este último país están exentas de presentar informes al RETC. En México, la industria es relativamente pequeña: una producción diez veces menor que la de los otros dos países en 2013. Aunque en México fueron diez minas de mineral de hierro las que presentaron informes, la mayoría de las sustancias con mayores registros de las que Canadá y Estados Unidos presentaron informes por actividades de beneficio de mineral de hierro no requieren de similar registro en México. Por tanto, los datos presentados reflejan básicamente las disposiciones y emisiones de las ocho instalaciones de minería de mineral de hierro activas en Canadá en 2013.

El proyecto del lago Carol de la Iron Ore Company en Labrador dio cuenta de 37% de las emisiones al aire y de 90% de la disposición y emisiones al suelo, pero de sólo 15% de las descargas al agua. Cerca de la mitad de la producción de mineral de hierro en 2013 correspondió al proyecto Carol (*Canadian Mining Journal*, 2013).

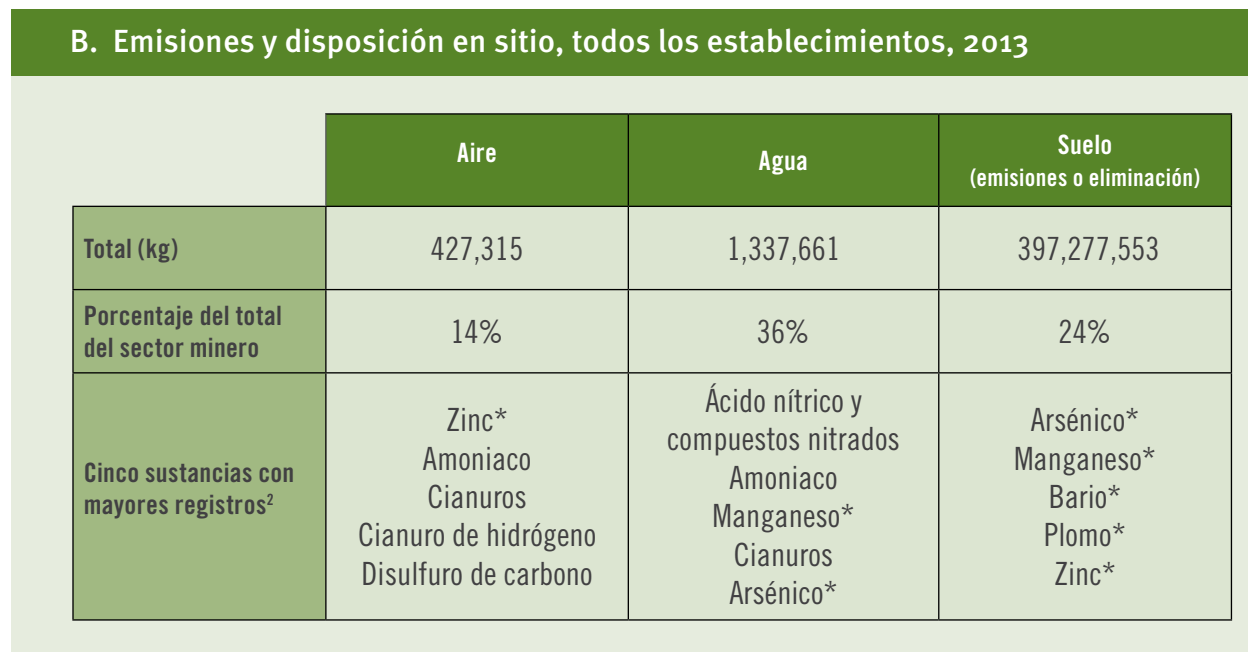
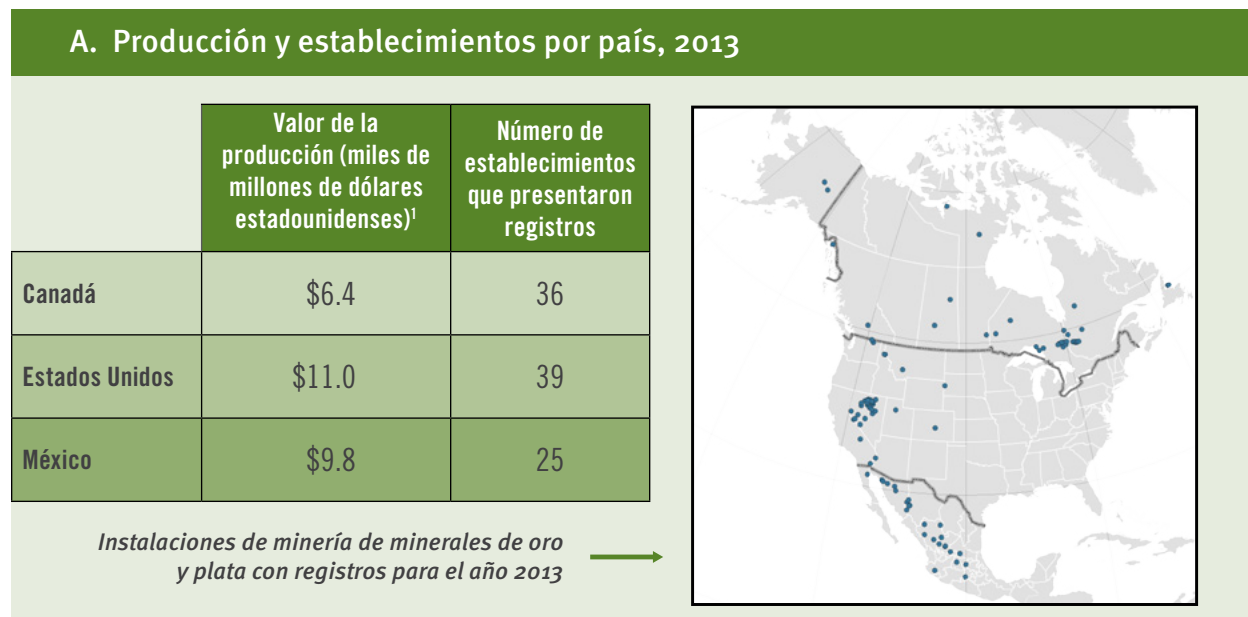
**Contaminantes emitidos al aire.** Numerosas minerías de mineral de hierro cuentan con hornos de procesamiento que calientan el mineral para endurecerlo y formar hierro granulado (capítulo 2, cuadro 9). El proceso térmico genera contaminantes atmosféricos, sobre todo dióxido de azufre, partículas finas y óxidos de nitrógeno. Estas sustancias, clasificadas como contaminantes atmosféricos de criterio (CAC) y que sólo se registran en el RETC canadiense, son el foco de las actuales iniciativas de reducción en fuente en dos instalaciones de mineral de hierro de Canadá: el proyecto Carol en Labrador y la fábrica peletizadora Usine de Bouletage de Port-Cartier de ArcelorMittal Exploitation Minière Canada, en Quebec (ECCC, 2016e). Estas dos instalaciones fueron responsables de 82% de las emisiones atmosféricas (excluidos los CAC) registradas por minas de mineral de hierro en 2013. Dos contaminantes: ácido clorhídrico y ácido sulfúrico, representaron, juntos, 76% de las emisiones atmosféricas registradas por las minas de hierro. Los establecimientos mexicanos informaron sobre indicios de emisiones (menos de un kilogramo en total) de arsénico, cadmio, cromo y plomo. Los principales contaminantes emitidos al aire por las actividades de beneficio de mineral de hierro (véase la gráfica 36) no figuran en la lista de contaminantes del RETC.

**Contaminantes emitidos al agua.** Las descargas en agua de contaminantes con registros de volúmenes mayores provinieron de unas cuantas instalaciones; por ejemplo: la mina de Mont-Wright de ArcelorMittal, en Quebec, y la instalación de Mines Scully Wabush, en Labrador, fueron responsables de 92% de las emisiones de ácido nítrico y compuestos nitrados (contaminantes emitidos al agua en mayores proporciones). El níquel, el contaminante más tóxico de los emitidos al agua, correspondió básicamente al proyecto Carol (89%), seguido de cantidades mucho menores emitidas por una mina mexicana y dos canadienses.

**Contaminantes emitidos o eliminados en el suelo.** Debido a que la disposición en sitio no es una categoría de registro en el RETC, las emisiones y la eliminación en el suelo registraron cantidades bajas en México. Por ejemplo, el cromo, tercera sustancia más abundante, se registró como emitida o eliminada en el suelo en cantidades que oscilan entre menos de 0.01 y 4 kilogramos, en tanto que las minas canadienses emitieron o dispusieron en suelo, cada una, entre 20,000 y 280,000 kilogramos de cromo. El manganeso, principal contaminante eliminado en el suelo, no se registra en México. Esa sustancia química se asocia con algunos yacimientos de mineral de hierro en Canadá y en ocasiones es necesario emplear ciertos tipos de minería y procesamiento selectivos a fin de reducir el contenido de manganeso del producto, el cual se dispone en sitio (Hanchar y Kerr, 2012). La minería de mineral de hierro dio cuenta de 34% de las emisiones y transferencias totales registradas de manganeso de todas las industrias de América del Norte; el proyecto Carol fue responsable de 94% de esa cantidad en 2013.

### 3.4.3 Minería de minerales de oro y plata

Gráfica 37. Minería de minerales de oro y plata (código SCIAN 21222)



1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“\*” significa “y sus compuestos”.

Como se dijo en apartados anteriores, la minería de oro y plata dio cuenta de proporciones significativas de las disposiciones o emisiones totales de la industria de América del Norte de varios contaminantes en 2013: arsénico, talio, mercurio, cianuro, antimonio y bario. Todos excepto el cianuro son elementos constitutivos de ciertos yacimientos minerales de oro y plata, en tanto que el cianuro se emplea en actividades de procesamiento en las minas de esos minerales. De estos contaminantes, el talio y el bario se liberaron sobre todo a raíz de un incidente de eliminación en el suelo (apartado 3.5.3).

El **arsénico** es el contaminante más claramente asociado con esta clase de minería: 89% de todos los registros industriales de este mineral en América del Norte correspondió a minas de oro y plata. Esta sustancia, constituyente común de numerosos yacimientos minerales, en particular los que se explotan por su contenido de oro, se declaró principalmente como eliminado en residuos de roca, relaves y pilas (en operaciones de lixiviación). La disposición en sitio (emisiones o eliminación en el suelo) no constituye una categoría de registro en el *RETC*, razón por la cual en México las minas de oro y plata registraron pequeñas cantidades de arsénico (casi siempre menos de un kilogramo), sobre todo como descargas en el agua. El arsénico, que se disuelve con facilidad en el agua en condiciones ácidas o básicas, es un problema común de contaminación de las minas de oro y plata, sea en operación, decomisadas o abandonadas en los tres países (véanse, por ejemplo, Straskraba y Moran, 1990; Jamieson, 2014; Esteller *et al.*, 2015, y Razo *et al.*, 2004). El arsénico en el agua se asocia con riesgos de toxicidad cancerígena y no-cancerígena (apartado 3.3.3).

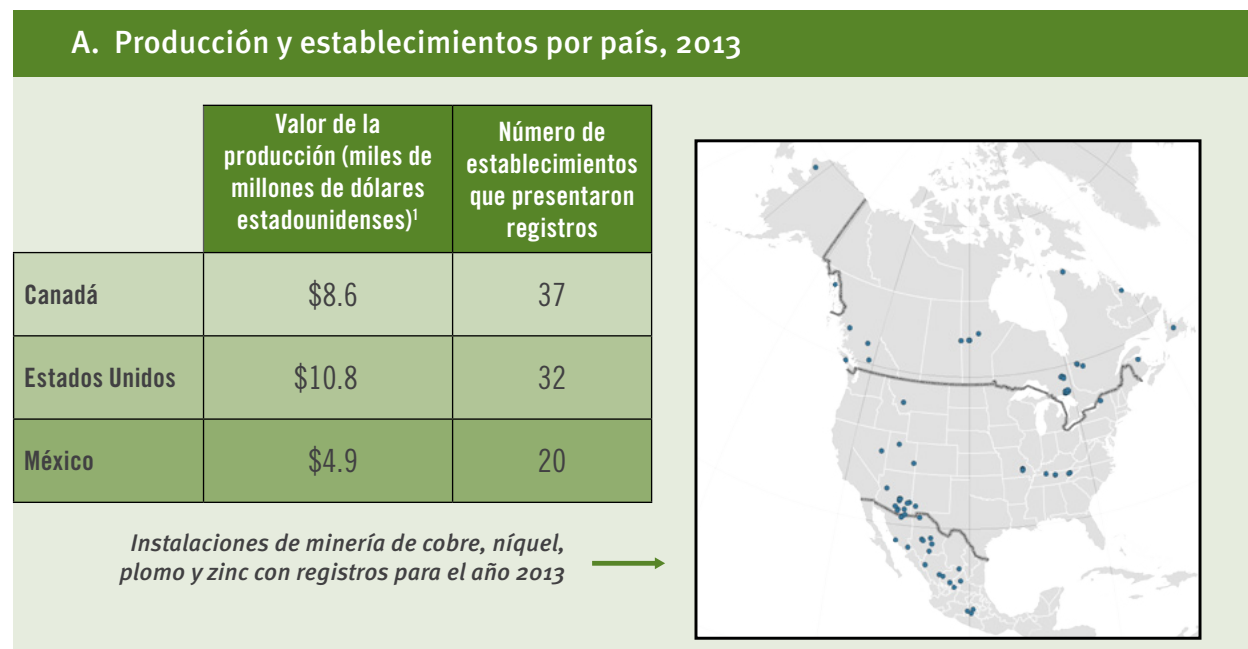
El **cianuro**, usado por lo general para disolver y separar el oro y la plata mediante extracción o lixiviado, se registra en los tres *RETC* nacionales. En 2013, 29 minas de oro y plata informaron de emisiones al aire de cianuro y 22 de descargas en el agua de esa sustancia. Unas cuantas minas fueron responsables de las mayores emisiones atmosféricas de cianuro, sobre todo la St. Andrew Goldfields Ltd.'s Holloway, en Ontario, y la Florida Canyon and Standard Mines, en Nevada, en tanto que las descargas del compuesto en el agua correspondieron sobre todo (75%) a cuatro minas de oro canadienses. La mayor parte de las emisiones totales de cianuro correspondió a la categoría emisiones o eliminación al suelo, en sitio, con 60% proveniente de dos minas: Barrick Goldstrike Mines Inc., en Nevada, y Detour Gold Corporation's Detour Lake Project, en Ontario. Pese a tener el *RETC* mexicano un umbral de registro más bajo para el cianuro, las minas de oro y plata de México no registraron emisiones de cianuro al aire y sus descargas en el agua correspondieron a sólo 2% del total de las descargas del compuesto en esta categoría. Una mina mexicana, Minera Real de Ángeles, S.A. de C.V., informó de volúmenes considerables de cianuro transferidos fuera de sitio para eliminación o disposición final.

El **mercurio** se empleaba en el pasado en algunas minas de plata y oro con los mismos propósitos para los que hoy se usa el cianuro. Aunque este método ya no suele usarse debido a la elevada toxicidad del mercurio y a su tendencia a acumularse en los peces y, por ende, representar un riesgo para la salud humana, este elemento se usa en México en operaciones de minería de oro artesanales y de pequeña escala (véase el capítulo 2, recuadro 4). El mercurio, al igual que el arsénico, suele encontrarse en yacimientos de oro y plata, por lo que está presente en los residuos de roca y relaves en numerosos sitios, y también en las emisiones atmosféricas de instalaciones de procesamiento (Eagles-Smith *et al.*, 2016; EPA, 2011). Más de 99.9% del mercurio registrado por las minas de oro y plata en 2013 correspondió a emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, mientras que el resto fueron casi en su totalidad emisiones al aire. Si bien, dadas las cantidades liberadas, el mercurio rara vez alcanza a figurar entre los diez contaminantes con mayores registros, ocupa el segundo lugar por cuanto a su potencial de toxicidad por riesgos no-cancerígenos en las emisiones tanto al agua como al aire de todas las industrias de América del Norte. El mercurio en los residuos de roca y los relaves puede disolverse mediante la escorrentía ácida de los yacimientos mineros o trasladarse a sedimentos de corrientes mediante erosión o derrames. De acuerdo con los registros, 53 minas emitieron o eliminaron mercurio en el suelo, pero 64% del total correspondió a sólo tres minas de oro de Nevada, Estados Unidos.

**Contaminantes emitidos al agua.** Las emisiones de contaminantes al agua son relativamente altas en la minería de oro y plata: a ésta correspondió 36% de esa clase de emisiones del total respectivo de las minerías de América del Norte. Las clases de contaminantes dependen de los métodos de procesamiento empleados y de la composición del mineral. Se informó que emisiones de ácido nítrico y compuestos nitrados, que no están sujetos a registro en México, se registraron en un tercio de las instalaciones de los otros dos países: 64% proveniente de tres de ellas: la mina Williams, en Ontario; Division Laronde, de Mines Agnico Eagle Ltée., en Quebec, y la mina Pogo, en Alaska. Hubo informes de amoniaco, que tampoco se registra en México, de minas canadienses, pero no de las estadounidenses, aunque los umbrales de registro son similares. El níquel se registró como descargas en el agua por parte de 19 instalaciones; 50% de las emisiones corresponden a dos minas: la Division Laronde de Mines Agnico Eagle Ltée. (Quebec) y La Guitarra Compañía Minera, S.A. de C.V., de Silvermex Resources Inc. (México).

### 3.4.4 Minería de cobre, níquel, plomo y zinc

Cuadro 38. Minería de cobre, níquel, plomo y zinc (código SCIAN 21223)



**B. Emisiones y disposición en sitio, todos los establecimientos, 2013**

|   | Aire  | Agua  | Suelo (emisiones o eliminación)                    |
|---|---|---|--|
| Total (kg)  | 1,002,520   | 1,192,828   | 815,804,407  |
| Porcentaje del total del sector minero              | 33%   | 32%   | 49%  |
| Cinco sustancias con mayores registros <sup>2</sup> | Ácido sulfúrico<br>Metanol<br>Disulfuro de carbono<br>Zinc*<br>Cobre* | Ácido nítrico y compuestos nitrados<br>Amoniacó<br>Zinc*<br>Manganeso*<br>Níquel* | Plomo*<br>Zinc*<br>Cobre*<br>Níquel*<br>Manganeso* |

1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“\*” significa “y sus compuestos”.



La minería de cobre, níquel, plomo y zinc dio cuenta de la proporción más elevada de emisiones atmosféricas y al suelo de todas las clases de minería, y ocupa el segundo lugar, después de las minas de oro y plata, en cantidad de contaminantes descargados en el agua. Ello obedece en parte a los grandes volúmenes de material procesado durante la minería de metales comunes. Los contaminantes que comprenden la mayor parte de las emisiones y transferencias industriales de toda América del Norte en 2013 fueron todos metales (y sus compuestos): zinc, cobalto, níquel, cobre y plomo, que se dispusieron en sitio en relaves o residuos de roca. Estos metales también figuran entre los diez contaminantes con registros de volúmenes más elevados de los que ha informado la industria minera en general.

**Contaminantes atmosféricos.** La mayor parte de las emisiones atmosféricas registradas corresponde a emisiones de chimenea generadas por procesamientos. El ácido sulfúrico, el zinc y el cobre fueron registrados por numerosas instalaciones. El disulfuro de carbono, del que sólo Canadá presenta informes, correspondió a dos complejos minero-metalúrgicos de Ontario. Sin embargo, todas las emisiones de metanol consistieron en emisiones fugitivas de una planta: Red Dog Operations, de Teck America Inc., en Alaska. El metanol se usa en el invierno como anticongelante en el agua para control de polvo (Northwest Arctic Borough, 2009).

**Contaminantes emitidos al agua.** El ácido nítrico y los compuestos nitrados y el amoníaco se registraron como emisiones al agua por un pequeño número de instalaciones, sobre todo minas de cobre (doce minas de ácido nítrico y compuestos nitrados y nueve de amoníaco). Informaron sobre zinc en descargas en agua numerosas minas canadienses y estadounidenses, en tanto que el manganeso y el níquel fueron registrados, cada uno, por menos de 20 minas; un puñado de éstas registró gran parte del total de las cantidades descargadas.

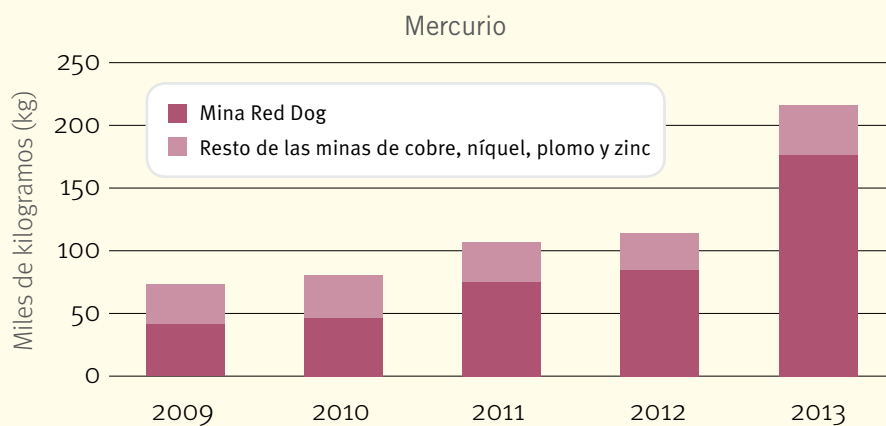
**Contaminantes emitidos al suelo.** Las cinco sustancias emitidas al suelo en cantidades mayores por estas instalaciones mineras, juntas, fueron responsables de 62% de todas las emisiones y transferencias del sector minero y 32% de las emisiones y transferencias de todas las industrias en América del Norte en 2013. Casi todas consistieron en eliminación o disposición final de residuos de roca estéril y relave en Estados Unidos y Canadá. Los umbrales de registro (tanto para cantidades como para concentraciones de contaminantes en forma de residuos de roca o relaves), examinados en el capítulo 2, influyen tanto en las diferencias entre los dos países como en los cambios de un año a otro en las instalaciones. De esos cinco metales, el níquel y el plomo (y sus compuestos) se registran en el *RETC*, pero sólo en muy pequeñas cantidades, ya que en México no se registran los relaves y residuos de roca.

El riesgo para la salud humana y el medio ambiente que representan los metales de relaves y residuos de roca se relaciona principalmente con su potencial para entrar en el agua tanto superficial como subterránea mediante las escorrentías ácidas de los yacimientos mineros, lixiviado, erosiones o derrames o, en menor grado, con su potencial para convertirse en polvo transportado por el aire (apartado 3.5.1). Una proporción elevada de la disposición de residuos de roca estéril y relaves provino de una mina: la de plomo y zinc Red Dog, de Teck American Inc., en Alaska (véase el recuadro 15).

### Recuadro 15. Disposición de residuos de roca estéril y relaves de metales en la mina Red Dog (2009 a 2013)

La proporción de las emisiones al suelo totales de la minería metálica básica correspondiente a la mina Red Dog varía en cuanto a contaminantes y años: de 1 a 2 por ciento de cobre a 80 y 90 por ciento de zinc (y sus compuestos). El zinc dio cuenta de 79% de las emisiones al suelo registradas por la mina en 2013. La disposición de relaves, de la que se informa en una categoría por separado en el TRI, fue responsable de 32% del zinc (EPA, 2015a). Puede suponerse que el restante 68% registrado en la categoría "otras disposiciones" fueron sobre todo residuos de roca estéril. La mina Red Dog también es relevante por muchos otros metales (y sus compuestos) que no se eliminan en tan altos volúmenes, incluido el arsénico y el mercurio. La eliminación o disposición de mercurio en el suelo se cuadruplicó en todas las minerías de minerales metálicos básicos en 2013, en comparación con los cuatro años previos, lo que refleja cambios de la presencia del mercurio en los residuos de roca y relaves en la mina Red Dog (véase la gráfica siguiente).

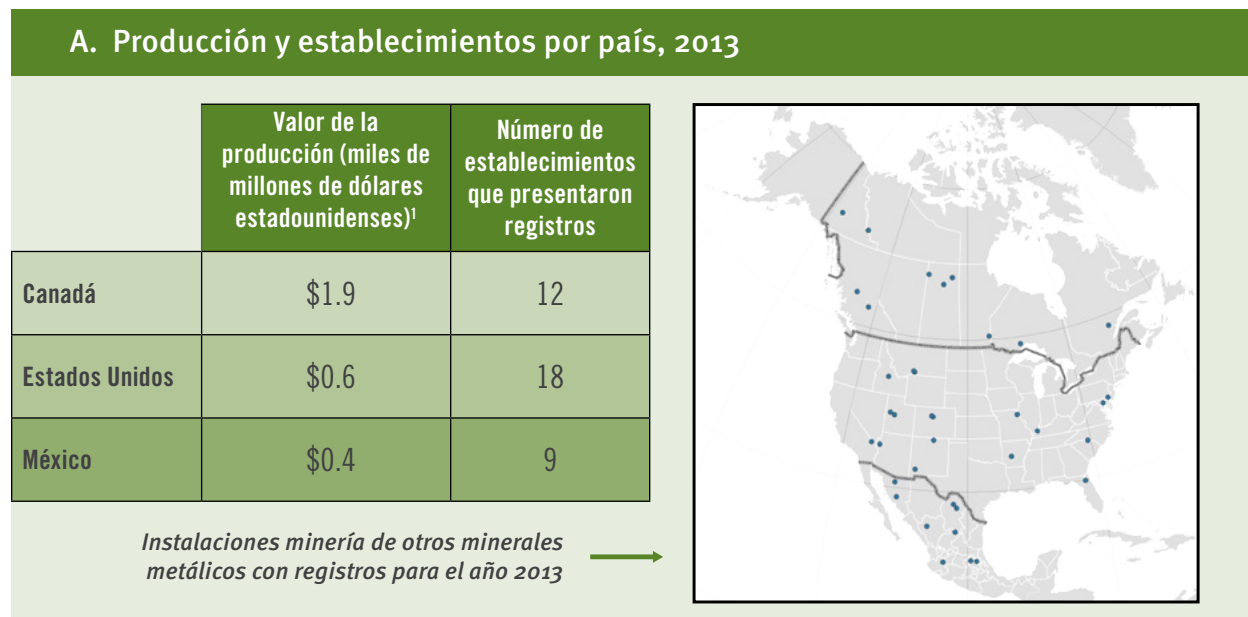
#### Emisiones o eliminación en el suelo de mercurio (y sus compuestos) efectuadas por todas las minas de cobre, plomo, níquel y zinc, contrastadas con la proporción correspondiente a la mina Red Dog en Alaska (2009-2013)





### 3.4.5 Minería de otros minerales metálicos

Gráfica 39. Minería de otros minerales metálicos (código SCIAN 21229)



1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“\*” significa “y sus compuestos”.

Los códigos mineros del SCIAN abarcan una combinación de tipos de minas que producen diversos productos:

- En Canadá, cinco minas de uranio y yacimientos de niobio, cesio y tántalo o tantalio, metales del grupo de platino, tungsteno y combinaciones de metales de categorías cruzadas (cobre-oro y cobre-oro-molibdeno).
- En Estados Unidos, las minas de molibdeno y otras instalaciones productoras de metales, incluidos vanadio, berilio y titanio.
- En México, minas de molibdeno y una mina de plata.

Esta categoría de “otros minerales metálicos” dio cuenta de proporciones considerables de las emisiones y transferencias industriales totales de América del Norte de fósforo (total), cianuro y vanadio en 2013. Casi la totalidad del fósforo (99%) se declaró como eliminado en sitio por dos establecimientos mineros: la mina de cobre y oro Mount Polley, de la Imperial Metals Corporation, en Columbia Británica, y la mina de niobio denominada Niobec, de Magris Resources, en Quebec. El predominio del cianuro en esta clase de minas se relaciona exclusivamente con las emisiones fuera de sitio (para disposición) de más de un millón de kilogramos de cianuro en 2013 de una mina de plata mexicana: Minera La Encantada, S.A. de C.V., en Coahuila (que probablemente presentó registros en un código SCIAN equivocado). El vanadio correspondió sobre todo (82%) a la mina Mount Polley y representó un volumen anormalmente elevado de emisiones y disposición en sitio ese año.

La gama de clases de minería se refleja en las listas de los contaminantes con mayores registros (por ejemplo, en la gráfica 30), mismos que, en algunos casos, están vinculados parcial o totalmente con una instalación. Así, por ejemplo:

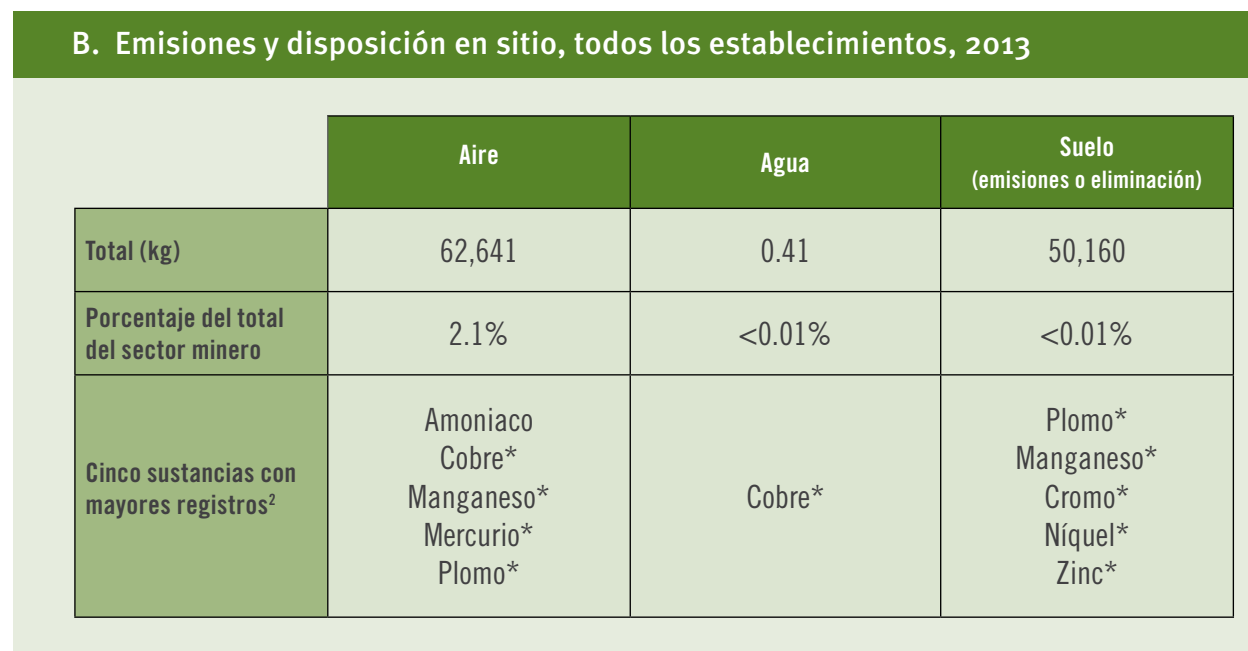
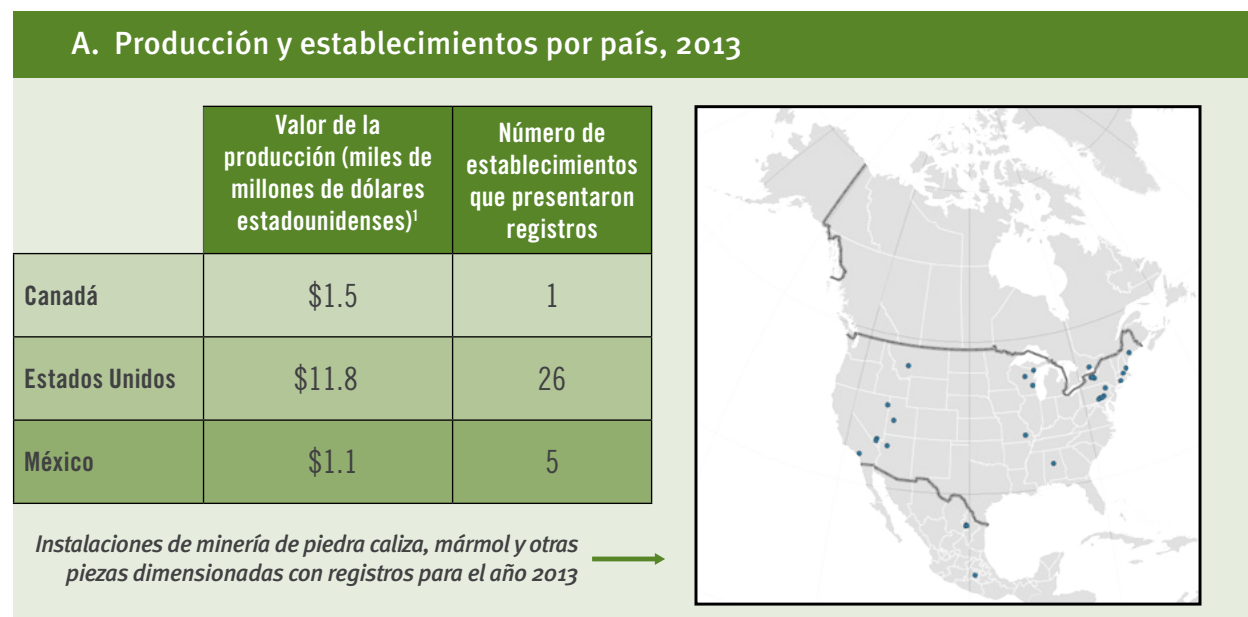
- El amoniaco provino principalmente de dos instalaciones, casi todo como emisión al suelo en una mina de berilio de Utah (Materion Natural Resources Inc. Mill), y como emisiones atmosféricas de una mina de vanadio en Arkansas (Evrax Stratcor Inc.). Este código SCIAN dio cuenta de 50% de todas las emisiones atmosféricas de amoniaco del sector minero.
- Todas las emisiones de flúor al agua por parte del sector minero o cualquier otro sector industrial en 2013 fueron responsabilidad de la mina Niobec de Magris Resources, en Quebec. El flúor se enriquece en el yacimiento del mineral (Clow *et al.*, 2011) y sólo se registra en el NPRI canadiense.
- Aunque la emisión es demasiado modesta como para figurar entre los cinco contaminantes con mayores registros de esta categoría minera, la emisión total del sector minero al agua de dioxinas y furanos —contaminantes conocidos por su elevado potencial de toxicidad— correspondió a una planta estadounidense que produce titanio y otros minerales: Chemours Starke Facility, en Florida.

### Minería de uranio y minerales radiactivos

Cinco instalaciones canadienses de minería y molienda de uranio, todas en el norte de Saskatchewan, presentaron registros en 2013. Las sustancias con mayores registros en el NPRI fueron disposiciones de metales en relaves y roca residual. El plomo (y sus compuestos) comprendió 62% de todas las disposiciones o emisiones al suelo de las cinco minas. Los relaves y los residuos de roca también contienen concentraciones significativas de elementos radiactivos que no están sujetos a registro en el NPRI. Éstos son, básicamente, dos productos de decaimiento del uranio: torio 230 y radio 226 (CNSC, 2015). Los datos sobre disposiciones o emisiones de estas sustancias radiactivas por parte de las instalaciones no están todos abiertos al público. Las descargas de radio 226 al agua se registran anualmente en cumplimiento con el Reglamento sobre Aguas Residuales de la Minería Metálica (*Metal Mining Effluent Regulations*) (EC, 2015b).

### 3.4.6 Minería de piedra caliza, mármol y otras piezas dimensionadas

Gráfica 40. Minería de piedra caliza, mármol y otras piezas dimensionadas (código SCIAN 21231)



1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“\*” significa “y sus compuestos”.



Numerosas instalaciones con operaciones de extracción de piedra no alcanzan los umbrales estándares de declaración en los RETC por número de empleados o volumen de producción.<sup>40</sup> Las relativamente pocas instalaciones que presentan registros se localizan en Estados Unidos, lo que refleja el tamaño mucho más grande de la industria en ese país. La presentación de registros en el TRI por parte de esta clase de minería es obligatoria únicamente para el procesamiento, y sólo para las instalaciones que no incluyen una cantera (EPA, 2016).

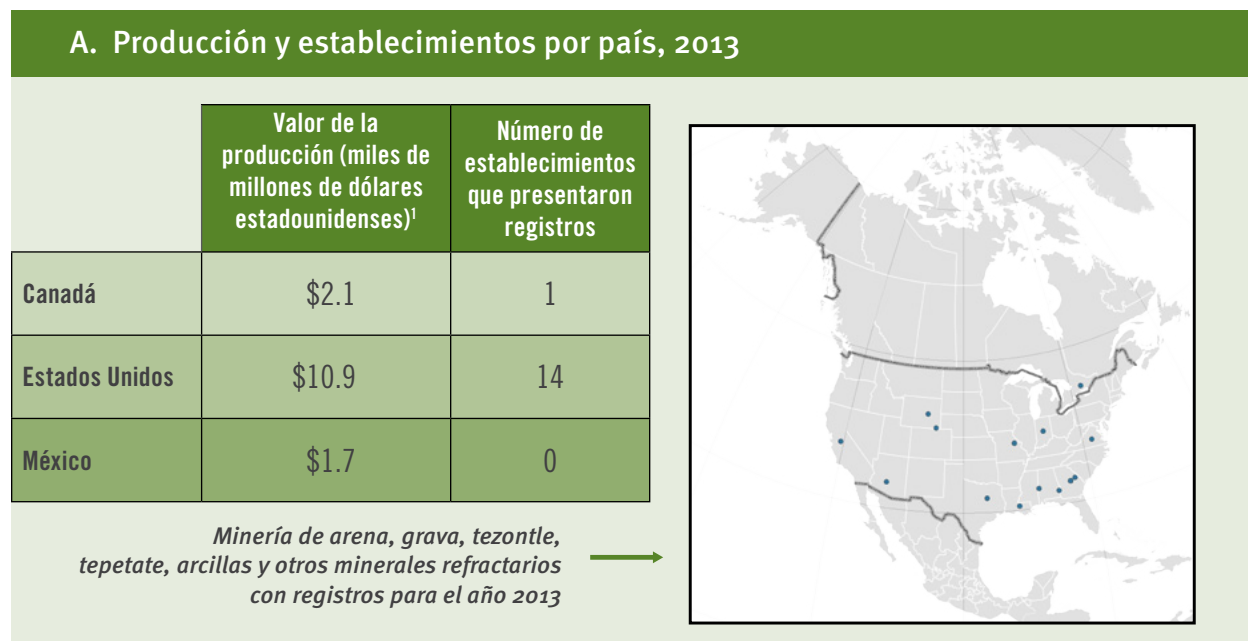
Las cantidades de contaminantes registradas por esta clase de minería son bajas, con predominio de las emisiones atmosféricas. La única descarga en el agua registrada fue de menos de un kilogramo de cobre en una instalación.

Dos instalaciones dieron cuenta en 2013 de 80% de las emisiones y transferencias totales registradas por establecimientos de extracción de piedra: la planta LLC-O'Neal de Lhoist NA, de Alabama, que fabrica productos de piedra caliza, y la planta Greystone de 3M Co. en Wausau, Wisconsin, que produce techos granulados para la industria de tejas de asfalto. Ambas tuvieron perfiles de registro muy diferentes: la planta de Lhoist, en Alabama, registró casi 100% de todas las emisiones al aire de esta clase de minas, y los volúmenes declarados por el establecimiento de 3M Wausau se dividieron casi por igual entre emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, y transferencias fuera de sitio para reciclaje de metales.

40. En el NPRI y el TRI, los umbrales de empleo son de diez empleados de tiempo completo o el equivalente en horas hombre. El RETC de México no tiene umbral de empleados. En el caso del NPRI, las explotaciones de superficie y canteras sólo deben informar si tienen una producción anual de 500,000 toneladas o más, independientemente del número de empleados.

### 3.4.7 Minería de arena, grava, tezontle, tepetate, arcillas y otros minerales refractarios

Gráfica 41. Minería de arena, grava, tezontle, tepetate, arcillas y otros minerales refractarios (código SCIAN 21232)



#### B. Emisiones y disposición en sitio, todos los establecimientos, 2013

|   | Aire  | Agua                | Suelo (emisiones o eliminación)   |
|---|---|---------------------|---|
| Total (kg)  | 328,475   | 6                   | 108,781   |
| Porcentaje del total del sector minero              | 11%   | <0.01%              | <0.01%  |
| Cinco sustancias con mayores registros <sup>2</sup> | Amoniaco<br>Ácido fluorhídrico<br>Metanol<br>Ácido sulfúrico<br>Ácido clorhídrico | Plomo*<br>Mercurio* | Manganeso*<br>Zinc*<br>Plomo*<br>Ácido nítrico y compuestos nitrados<br>Cadmio* |

1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“\*” significa “y sus compuestos”.

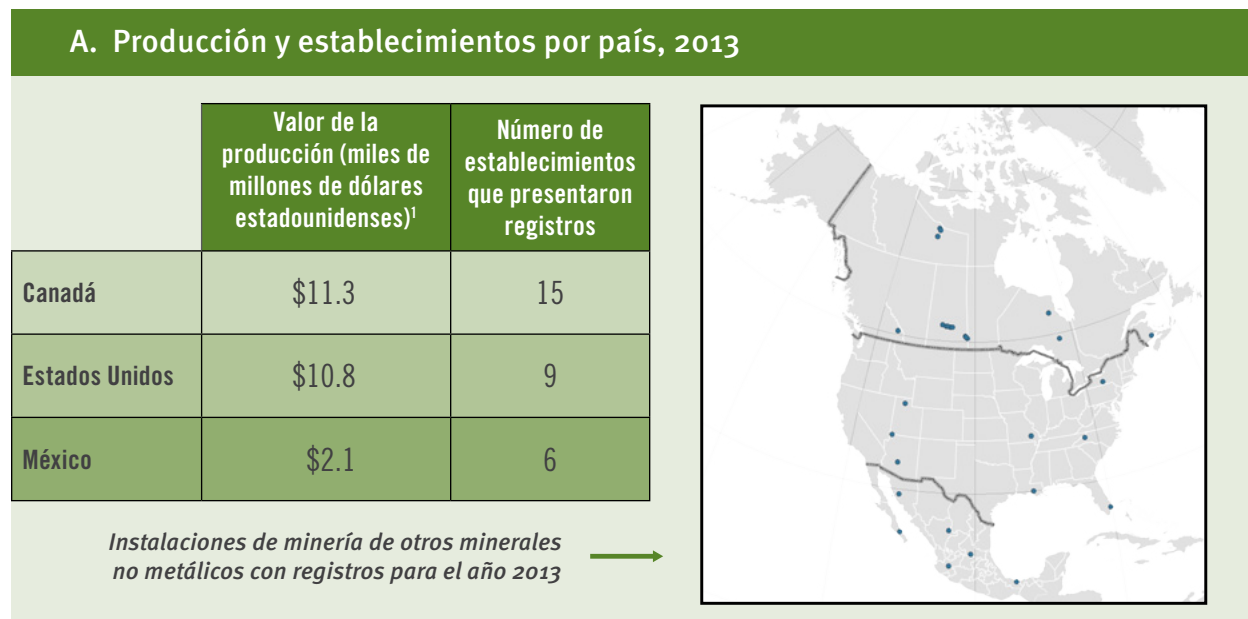


Este código minero del SCIAN comprende varias y diversas clases de minería y procesamiento. Al igual que la minería de piedra caliza, mármol y otras piezas dimensionadas, la mayoría de los establecimientos que presentaron registros se encuentran en Estados Unidos debido a la mayor producción de ese país de productos minerales cubiertos por este código. Sólo las instalaciones con actividades de beneficio que no comprenden cantera deben informar al TRI. Esta categoría incluye establecimientos que producen una gama de minerales industriales. La mayor parte de las emisiones y transferencias (97%) correspondió a instalaciones que producen minerales empleados en la manufactura de cerámica (Imerys Pyramax Ceramics, en Georgia; tres plantas de Carbo Ceramics Inc., en Georgia y Alabama, y las operaciones de sienita nefelítica de Unimin Canada Ltd., en Ontario).

Las emisiones atmosféricas fueron hasta cierto grado significativas en este tipo de extracción minera. Si bien en su mayor proporción correspondieron a los cinco contaminantes con registros más elevados de los que informaron sobre todo las plantas de cerámica antes citadas, varias sustancias contaminantes quedaron registradas por otras instalaciones. Entre ellas, sustancias con elevado potencial de toxicidad, tales como compuestos aromáticos policíclicos (registrados por cinco instalaciones), plomo y sus compuestos (registrados por siete) y mercurio y sus compuestos (registrados por una mina de arcilla). La casi totalidad de las disposiciones o emisiones de metales al suelo registradas correspondieron a una instalación canadiense.

### 3.4.8 Minería de otros minerales no metálicos

Gráfica 42. Minería de otros minerales no metálicos (código SCIAN 21239)



**B. Emisiones y disposición en sitio, todos los establecimientos, 2013**

|   | Aire   | Agua  | Suelo (emisiones o eliminación)  |
|---|--|---|--|
| Total (kg)  | 61,521   | 57,010  | 29,047,070   |
| Porcentaje del total del sector minero              | 2.0%   | 1.5%  | 1.8%   |
| Cinco sustancias con mayores registros <sup>2</sup> | <p>Ácido clorhídrico</p> <p>Fósforo (total)</p> <p>Etileno</p> <p>Propileno</p> <p>Tolueno</p> | <p>Ácido nítrico y compuestos nitrados</p> <p>Amoniaco</p> <p>Níquel*</p> <p>Cromo*</p> <p>Plomo*</p> | <p>Fósforo (total)</p> <p>Manganeso*</p> <p>Níquel*</p> <p>Cromo*</p> <p>Zinc*</p> |

1. Datos obtenidos del capítulo 2, apartado 2.1.2.

2. En orden decreciente (de mayor a menor), en función de la masa o volumen.

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

Una mina mexicana —la mina de cobre Minera Roble, S.A. de C.V., en el estado de Durango— se incluyó en esta categoría. Puesto que la única cantidad declarada por esta mina corresponde a la categoría de transferencias fuera de sitio para reciclaje, este error de clasificación no tiene efecto alguno en los datos que aquí se presentan.

“\*” significa “y sus compuestos”.

Esta categoría del SCIAN (21239: Minería de otros minerales no metálicos) comprende una gama diversa de instalaciones de beneficio y extracción de minerales; para comprender el patrón de sus emisiones y disposición, los datos deberán analizarse con base en el tipo de instalación. Aparte de las clases de minas más comunes que se analizan enseguida, las instalaciones incluidas en esta categoría produjeron yeso, diatomita (tierra de diatomea), vermiculita, fluorita (o espato flúor), wollastonita y materiales para techar. La mayor parte de los registros de 2013 de esta categoría provino de minas canadienses que registraron emisiones o eliminación en el suelo, en sitio por un total de 29,046,765 kilogramos. El total registrado por las instalaciones de Estados Unidos fue mucho más bajo: 49,625 kg, de los cuales 84% correspondió a un establecimiento: la mina de sal de Cargill Inc. Las instalaciones mexicanas de esta categoría informaron sobre emisiones por 9,042 kg, la mayor parte (91%) proveniente de Roca Fosfórica Mexicana II, S.A. de C.V., en Baja California Sur.

### Minas de potasa

Nueve de las diez instalaciones que operaban en Canadá en 2013 estaban en Saskatchewan. La producción de potasa de ese año tuvo un valor de \$EU5,500 millones, casi la mitad del valor de la producción mineral de esta clase de minas en Canadá (capítulo 2, apartado 2.1.3). En Estados Unidos y en México no se produce potasa.

Las minas de potasa no registraron contaminantes descargados en el agua o emitidos al aire. Las sustancias dispuestas o emitidas al suelo con mayores registros, en orden descendente de masa total, fueron manganeso (y sus compuestos), de seis minas; fósforo (total), de una mina; vanadio (y sus compuestos), de dos minas; cromo (y sus compuestos), de dos minas, y cantidades menores de zinc, plomo, arsénico, selenio y mercurio (y sus compuestos).

Los problemas de contaminación más importantes que suelen asociarse con la minería de potasa —la liberación de partículas de materia fina al aire y emisiones de sales y arcilla y otros sedimentos finos al agua (capítulo 2, cuadro 9)— no aparecen reflejados en estos datos. Las sales y sedimentos finos liberados al agua no están sujetos a registro en el NPRI. El RETC canadiense sí exige registrar las emisiones atmosféricas de partículas finas, que pueden ser dañinas para la salud humana. Sin embargo, por las razones antes expuestas en este capítulo, los datos no se incluyen en la base de datos *En balance en línea*. Los lectores pueden consultar la base de datos del NPRI, donde encontrarán información sobre las emisiones de partículas de materia de las minas de potasa de Canadá.

### Minas de diamantes

En 2013, cuatro minas de diamantes operaban en Canadá: tres en los Territorios del Noroeste y una en el norte de Ontario. No hubo actividad de esa clase de minería en Estados Unidos ni en México. Las sustancias con mayores registros dispuestas en sitio como residuos de roca fueron fósforo (total), níquel, manganeso y cromo (y sus compuestos).

Las únicas emisiones atmosféricas en cantidades significativas fueron 1,600 kilogramos de propileno por parte de la mina Snap Lake de De Beers Canada Inc. y 1,800 kilogramos de la mina Ekati de Dominion Diamond Ekati Corp. El propileno es componente de las emisiones derivadas de la generación eléctrica a base de diésel. Otras sustancias (CAC) comprendidas en las emisiones de esos sitios se registran en el NPRI, pero no se incluyen en *En balance*.

Las cuatro minas de diamantes registraron emisiones de dioxinas y furanos. Aun en cantidades pequeñas, dichas emisiones pueden ser significativas por cuanto al riesgo que comportan, ya que se trata de sustancias muy tóxicas, bioacumulables a lo largo de la cadena alimentaria y persistentes en el medio ambiente (apartado 3.3.3). Las emisiones de dioxinas y furanos generadas por incineración de desechos acumulados en los sedimentos en un lago corriente abajo provocaron que la compañía tomara medidas para mejorar las prácticas de incineración a fin de reducir las emisiones de dichos compuestos.

Sólo dos minas de diamantes informaron sobre descargas en el agua. Las principales descargas provinieron de la mina Snap Lake y fueron de ácido nítrico y compuestos nitrados, amoniaco y compuestos de manganeso, en tanto Ekati registró una emisión de compuestos de mercurio al agua.



### Minas de sal y salmuera

Una planta de México y dos de Estados Unidos presentaron informes sobre emisiones y transferencias de contaminantes en 2013. La producción de sal en Canadá dio cuenta de casi 1.5% del valor de la minería de ese país ese año (capítulo 2, apartado 2.1.3), pero ninguna instalación de sal presentó registros en el NPRI. Esta clase de minería dio informes sobre pocas emisiones al aire y el agua, pero las registradas fueron sustanciales. La Cargill Inc. Salt Division de Nueva York informó sobre una emisión al aire de ácido clorhídrico que dio cuenta de 68% de todas las emisiones atmosféricas de la categoría minera “otras”. La mina de sal Sales del Istmo, S.A. de C.V., en Veracruz, informó sobre emisiones de níquel, cromo y cadmio (y sus compuestos) al agua, con lo que ocupó el tercer lugar de todas las descargas en el agua provenientes de todas las minas mexicanas en 2013.

### Minas de roca fosfatada

Sólo una mina canadiense y otra mexicana registraron roca fosfatada para 2013, pero en cantidades relativamente altas. Los registros de las operaciones de Kapuskasing, de Agrium Inc., en Canadá, fueron de fósforo (total) y compuestos de manganeso, la mayor parte como emisiones o eliminación en el suelo. Las emisiones de fósforo al aire de esta sola planta representaron 82% del total de esas emisiones de todo el sector minero en 2013. Roca Fosfórica Mexicana, en Baja California Sur, informó sobre emisiones al agua de cromo, plomo, níquel, cianuros, cadmio, arsénico y mercurio (y sus compuestos), que, combinados, constituyeron 73% de todos los contaminantes registrados como descargas al agua por todas las minas mexicanas en dicho año.

## 3.5 Análisis: Integridad y comparabilidad de los datos RETC de América del Norte en el marco del sector minero

Un examen más cuidadoso de las emisiones y transferencias por tipo de extracción minera presentado en el apartado anterior revela un grado elevado de variabilidad de una instalación a otra en lo que toca a contaminantes y cantidades. Parte de esta variabilidad tiene que ver con el tipo de extracción minera, otra con la geología de la región y en gran medida con la naturaleza y tamaño de cada mina en particular, incluidos los procesos asociados y las operaciones de apoyo. Las diferencias en los requisitos de registro de los RETC entre los tres países (presentadas en el capítulo 2, apartado 2.4) deben tomarse en cuenta siempre que se analicen los datos en una escala subcontinental. Otros factores que afectan la lectura de los análisis son el cumplimiento y la continuidad en las prácticas de registro de las instalaciones.

Como se dijo, las cantidades totales de contaminantes emitidos y transferidos por el sector minero no ofrecen una medida muy útil de los efectos contaminantes asociados con las actividades mineras en América del Norte. Sin embargo, resúmenes como los presentados en el apartado 3.2 brindan información sobre los contaminantes con mayores registros en los que hay que centrarse en el caso de la industria y las clases más importantes de emisiones y transferencias. Los minerales que existen de manera natural en yacimientos minerales y roca circundante y que se eliminan en el suelo, en sitio, sobre todo como relaves y residuos de roca, predominan en las emisiones y transferencias totales registradas en Estados Unidos y Canadá. Esta categoría de disposición en sitio no existe en el RETC de México. La cantidad de un metal en residuos de roca o relaves manejados en sitio es muy distinta, en términos de potencial de exposición y riesgo para la salud humana y ambiental, que la misma cantidad de metal emitida al aire o descargada en el agua, en donde puede dispersarse con rapidez hacia el medio circundante. Ello no significa que las cantidades de contaminantes eliminados en el suelo, en sitio, deban descontarse, sino sólo que la información ha de interpretarse desde una perspectiva diferente. La mayoría de los derrames e impactos ambientales de largo plazo, difíciles de mitigar, derivados de la minería se relacionan con la disposición en sitio de residuos mineros y su acumulación durante años. La declaración anual de distintos tipos y cantidades de sustancias eliminadas proporciona un registro de la acumulación de contaminantes almacenados en cada instalación, lo que constituye una fuente de información importante en caso de accidente. El grado de riesgo de estos contaminantes almacenados depende de la manera en que se manejan durante y en los años siguientes a la operación de la mina.

Los peligros asociados con los contaminantes también varían de manera importante. Por ejemplo, se sabe que algunos, muy vinculados con la minería, como el arsénico y el cianuro, tienen efectos tóxicos agudos y crónicos, mientras que el fósforo total, mineral abundante que está presente en los residuos de roca y relaves, es de gran preocupación por su potencial para alterar los ecosistemas acuáticos mediante la adición de nutrientes. En el apéndice 2 se resume la información en torno de los posibles efectos de los contaminantes con mayores registros provenientes de la minería.

Los siguientes apartados presentan un examen más minucioso de algunos de los aspectos de las actividades y los contaminantes relacionados con la minería que se han analizado a lo largo de este capítulo para evaluar si y de qué manera se reflejan en los datos registrados en los RETC de América del Norte. Se presentan algunos detalles adicionales sobre las prácticas de manejo de residuos mineros, los contaminantes que suelen asociarse con ciertas clases de minas y los problemas que pueden surgir cuando los contaminantes entran al medio ambiente. Esta información constituye una base para identificar de qué manera los requisitos de registro de los RETC nacionales podrían mejorarse para brindar un grado más elevado de detalle y por ende servir de punto de partida para comprender la naturaleza y los efectos potenciales de las emisiones y transferencias derivadas de la minería.

### 3.5.1 Eliminación o disposición en sitio de desechos mineros

El sector minero predomina en los totales por emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, de contaminantes industriales en América del Norte, en su mayor parte en forma de residuos de minerales que se hallan comúnmente en yacimientos o roca circundante. Estas sustancias se depositan en grandes cantidades como relaves, residuos de roca y minerales agotados luego de procesos de lixiviación en pila, resultado todos del proceso minero. La eficacia de las medidas de control de la contaminación de numerosas industrias puede medirse siguiendo el rastro de los contaminantes liberados, vía emisiones por chimenea o descargas en corrientes de agua, pero ello no se aplica a la industria minera ni a sus operaciones de eliminación o disposición en sitio. En una mina, la cantidad de un contaminante eliminado en sitio anualmente depende de las tendencias de la producción y las características del yacimiento de que se trate. El control de la contaminación se consigue mediante la contención y el mantenimiento de la materia residual, a fin de evitar la movilización de sustancias potencialmente perjudiciales a través del agua o el aire durante la explotación de la mina y tras su agotamiento. Los riesgos que representan para la salud humana y ambiental los desechos mineros almacenados dependen de numerosos factores específicos de la situación local y los contaminantes motivo de preocupación: por ejemplo, el potencial de generar escurrimiento ácido de los yacimientos mineros, los regímenes de clima y de agua, el terreno y la naturaleza y sensibilidad de los ecosistemas corriente abajo.

Hay una gran diferencia entre los riesgos que representan los relaves y los residuos de roca, y lo mismo ocurre con las medidas de mitigación y desmantelamiento de estas dos principales categorías de eliminación de residuos en sitio. Si bien en ambos casos pueden requerirse acciones para controlar las escurrimientos ácidos de los yacimientos u otros mecanismos de lixiviado, los residuos de roca por lo general consisten en materiales toscos apilados en el suelo, mientras que los relaves son partículas finamente molidas, que a veces también contienen sustancias químicas de proceso (como cianuro) y que por lo general se depositan en tanques o embalses de contención delimitados por presas o diques. La distinción entre relaves y otras formas de eliminación en sitio en los tres RETC proporcionaría información más valiosa para una evaluación del riesgo acumulado de los contaminantes en sitio. Los relaves se registran en categorías separadas en el NPRI y el TRI, pero con modalidades distintas en cada registro. En México, la eliminación o disposición de contaminantes de residuos de roca y relaves está normada por otras autoridades ambientales y no tiene que registrarse en el *RETC*.

Otra información de suma utilidad con respecto a la eliminación o disposición de desechos mineros se obtendría si los establecimientos declararan en forma consonante las concentraciones de contaminantes en los residuos de roca y relaves. Contar con información homologada contribuiría de manera importante a nuestra capacidad para evaluar el riesgo en los cuerpos de agua corriente abajo si el material residual entra o está en peligro de entrar al medio acuático debido a derrames u otras emisiones no previstas. El NPRI de Canadá requiere que se informe sobre las

concentraciones de contaminantes contenidos en los relaves y residuos de roca, y las instalaciones informan sobre la manera en que se cuantifican las concentraciones; sin embargo, esta información no se registra ni se asienta de manera uniforme en los tres RETC.

### 3.5.2 Contaminantes con mayores registros asociados con la minería, y variaciones anuales

Como se dijo en análisis previos de los contaminantes por clase de actividad minera, cierto tipo de emisiones y transferencias predominan en una o algunas instalaciones y es posible que varíen año con año debido a cambios en la producción y a eventos propios del ciclo de vida de las minas. En el caso de casi todos los contaminantes, existe un alto grado de variación entre registros de una planta a otra y de un año a otro en cada mina en particular. Por esta razón, la inclusión de los comentarios de la instalación en los formatos de registro de los RETC puede brindar un contexto importante a los datos que presentan los informes. Las instalaciones de Canadá y Estados Unidos pueden presentar comentarios en torno a cambios anuales significativos en sus datos, pero como hacerlo no es obligatorio, sólo una pequeña proporción de las instalaciones incluyeron dicha información para 2013.

Numerosas emisiones y transferencias de contaminantes están estrechamente correlacionadas con las características de la producción, tanto de cantidad de mineral explotado como de composición del yacimiento. Dado que se producen grandes cantidades de relaves y residuos de roca en la mayor parte de las minas durante el tiempo en que opera, pequeños cambios en la concentración de los metales año con año afectan de manera notable las cantidades absolutas que se registran anualmente en los RETC.

Ciertos sucesos en la vida de una mina pueden conducir a anomalías que no son representativas de un incidente de contaminación, sino un subproducto de la explotación o desmantelamiento de una instalación minera. Estos sucesos incluirían, por ejemplo, los preparativos para la apertura de una nueva zona de extracción a cielo abierto que exija excavaciones de roca estéril muy por encima de lo normal. El examen de las tendencias en años anteriores muestra niveles anormalmente altos de tres contaminantes en la categoría de emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, en 2013. Observar los datos de cada instalación en particular ayudaría a explicar esta tendencia aparente (véase el recuadro 16).

Los promedios de los contaminantes registrados de 2009 a 2013 se examinaron a fin de elaborar una lista de los registros de volúmenes más elevados asociados con el sector minero que excluye emisiones anómalas y no sobrevalora las emisiones y transferencias de una o un puñado de instalaciones.

Los 25 contaminantes con registros de volúmenes más elevados durante este lustro se presentan en el cuadro 21, junto con sus medias, una medida de variabilidad de las medias y el número de instalaciones que presentaron informes de estos contaminantes en 2013. Al analizar los datos de cada instalación cuando hay una elevada variabilidad de un año a otro (véase en el cuadro la columna “Notas”), se develan patrones mucho más significativos que las simples tendencias de las medias en el tiempo. Por ejemplo, los datos de un año pueden presentar emisiones anómalamente altas de una o unas cuantas instalaciones que se podrían explicar por un cambio en las prácticas de registro. Se incluyen en el cuadro sólo los cinco años más recientes, pues los cambios en los requisitos de registro fueron afectando cada vez más los datos antes de 2009.

Los contaminantes destacados en el cuadro se incluyen en el apéndice 2: “Principales contaminantes registrados por el sector minero de América del Norte (2009-2013): resumen de datos sobre emisiones y disposición en sitio, fuentes y efectos potenciales”. Los contaminantes excluidos (no destacados) fueron responsabilidad de menos de diez instalaciones y, por lo general, tuvieron una elevada variabilidad año con año, lo que indica que las emisiones y transferencias son específicas de procesos de beneficio en sólo un puñado de minas, y que se relacionan con sucesos extraordinarios de la mina o quizá se registraron de manera poco uniforme o errónea. El tallo, aunque cumple con estos criterios de exclusión, se incluye en el apéndice 2 como un contaminante con mayores registros porque es probable que esté subestimado en los datos RETC (ya que no se registra en Canadá ni en México). En general, la lista que se desprende del promedio de cinco años se corresponde bien con la lista de los contaminantes con registros de volúmenes más elevados de 2013.

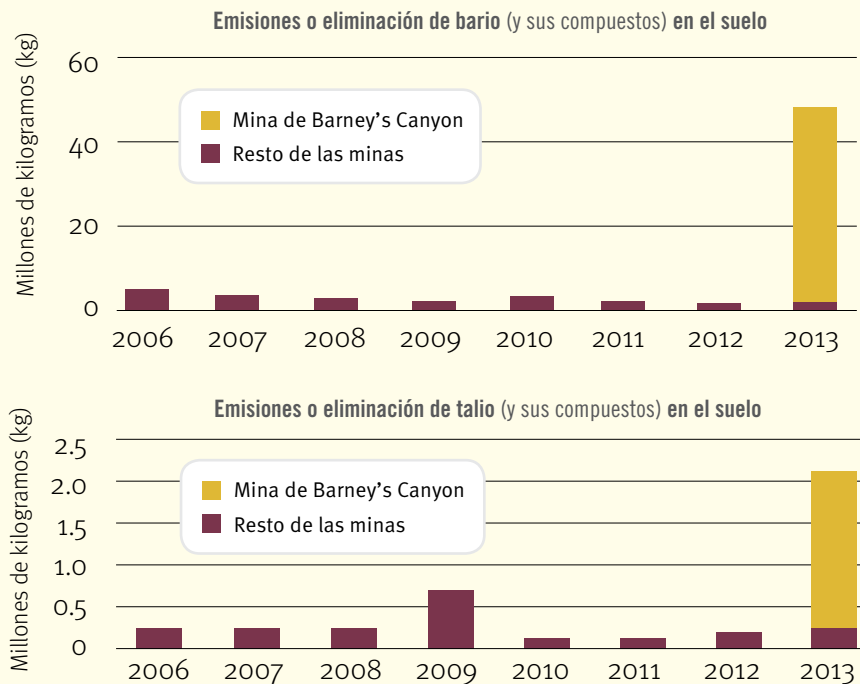
## Recuadro 16. ¿Por qué se informaron cantidades tan altas de bario y talio en 2013?

El examen de las tendencias de los contaminantes muestra que las emisiones al suelo de bario y talio (y sus compuestos) debido a la actividad minera fueron mucho más elevadas en 2013 que en años previos (véase la gráfica). Un estudio más minucioso muestra que la mina de oro de Kennecott Barney's Canyon Mining Co. de Rio Tinto America Inc., en Utah, fue responsable de 95% del bario y 88% del talio emitidos y transferidos por el sector minero en ese año. La explicación puede encontrarse en la sección de comentarios generales del formulario que la mina presentó al TRI:

“La mayor parte de las emisiones registradas en la sección 5.5.4 (‘Otras operaciones de eliminación por descarga en el suelo, en sitio’) corresponde a una emisión única derivada del cierre de una plataforma de lixiviación en pilas. Se trató de un suceso único no relacionado con el proceso de producción normal o de rutina...”

El cierre de una plataforma de lixiviación en pilas es equivalente a la eliminación de relaves; no obstante, el cierre de esta plataforma, que se había usado para procesar oro a lo largo de varios años, se registró como disposición en sitio en el curso de un solo año. Mientras el material se lixiviaba, se le consideraba como un mineral sujeto a proceso, y no como un desecho. Cuando la mina se cerró, el material se convirtió en desecho minero, lo que activó el requisito de registrar los contaminantes eliminados por toda la plataforma de lixiviación en pilas durante un año. Aparte del desmantelamiento de dicha plataforma, las mayores fuentes de bario registradas por establecimientos mineros correspondieron a minas de carbón, en tanto que las minas de oro y plata resultaron las principales fuentes de talio.

### Emisiones o eliminación en el suelo totales de bario y talio, mina de Barney's Canyon, en contraste con todas las demás minas estadounidenses (2006-2013)



Nota: En este periodo, el bario y el talio (y sus compuestos) estuvieron sujetos a registro sólo en el TRI.

Cuadro 21. Principales contaminantes asociados al sector minero, medias y variabilidad (2009-2013)

| Contaminante  | Media de las emisiones y transferencias anuales totales (kg) | Coefficiente de variación de la media <sup>1</sup> | Establecimientos que informaron en 2013 | Notas   |
|---|--|--|---|---|
| <b>25 contaminantes con los mayores registros según la media en 2009-2013</b> |  |  |   |   |
| Zinc*   | 333,958,255  | 8%   | 133                                     |   |
| Plomo*  | 286,453,597  | 25%  | 317                                     |   |
| Manganeso*  | 259,589,893  | 20%  | 130                                     |   |
| Cobre*  | 126,040,692  | 14%  | 153                                     |   |
| Arsénico*   | 108,210,844  | 41%  | 155                                     |   |
| Fósforo (total)   | 104,473,764  | 27%  | 33                                      | Sólo se registra en el NPRI   |
| Níquel*   | 43,481,106   | 17%  | 138                                     |   |
| Cromo*  | 21,048,818   | 20%  | 139                                     |   |
| Óxido de aluminio (formas fibrosas)   | 13,245,450   | 176%   | 1                                       | Sólo tres minas de níquel y cobre registraron, de manera irregular, grandes cantidades de 2009 a 2013.  |
| Vanadio*  | 12,070,351   | 37%  | 66                                      | La marcada variabilidad refleja niveles más altos en 2013, relacionados con una cantidad anormalmente alta declarada por una mina y con los registros de varias otras que antes no habían informado sobre emisiones de vanadio.   |
| Bario*  | 11,795,449   | 155%   | 19                                      | Se registra sólo en el TRI; un volumen anormalmente elevado declarado por una mina hizo montar al bario en la lista de 2013.  |
| Ácido nítrico y compuestos nitrados   | 5,766,289  | 7%   | 92                                      |   |
| Cobalto*  | 4,330,600  | 27%  | 67                                      |   |
| Aluminio (humo o polvo)   | 3,874,971  | 57%  | 4                                       | Seis minas de diferentes tipos declararon, de manera irregular, cantidades elevadas de 2009 a 2013.   |
| Antimonio*  | 3,602,351  | 37%  | 21                                      | La gran variabilidad refleja un total atípicamente elevado en 2010, año en que 70% de las emisiones de antimonio declaradas correspondieron a una sola mina de oro.   |
| Amoniaco  | 3,308,483  | 22%  | 83                                      |   |
| Mercurio*   | 2,334,709  | 8%   | 207                                     |   |
| Cianuro   | 1,544,136  | 47%  | 95                                      | La acusada variabilidad refleja cantidades mayores en 2013, en parte por una elevadísima transferencia fuera de sitio para disposición final ocurrida en una mina mexicana y una cuantiosa eliminación en sitio (en una sola ocasión) de una mina de oro canadiense.  |
| Selenio*  | 1,061,618  | 38%  | 83                                      | La variabilidad tal vez se deba a los umbrales de registro más bajos introducidos en el NPRI en 2011. Las cantidades registradas en 2013 fueron más altas, sobre todo a causa de emisiones o eliminación de selenio en el suelo por parte de un complejo minero y de fundición canadiense que antes de 2011 no presentaba informes. |

Cuadro 21. Principales contaminantes asociados al sector minero... (cont.)

| Contaminante  | Media de las emisiones y transferencias anuales totales (kg) | Coficiente de variación de la media <sup>1</sup> | Establecimientos que informaron en 2013 | Notas  |
|---|--|--|---|--|
| <b>25 contaminantes con los mayores registros según la media en 2009-2013</b> |  |  |   |  |
| Cadmio*   | 770,066  | 68%  | 123                                     | La elevada variabilidad tuvo que ver con una gran transferencia para reciclaje por parte de una mina de minerales metálicos básicos canadiense en 2010.                                    |
| Metanol   | 699,119  | 33%  | 13                                      | La variabilidad refleja tendencias crecientes en las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, de cinco instalaciones.  |
| Talio*  | 652,180  | 117%   | 6                                       | Cinco minas de oro y cobre registraron cantidades relativamente uniformes (2009-2013) y una cantidad anormalmente alta en 2013; durante este periodo, el talio se registró sólo en el TRI. |
| Ácido sulfúrico   | 589,813  | 15%  | 31                                      |  |
| Cloro   | 586,326  | 115%   | 7                                       | Seis minas de varias clases registraron cantidades relativamente uniformes entre 2009 y 2013.  |
| Ácido clorhídrico   | 523,599  | 26%  | 21                                      |  |
| <b>Contaminantes adicionales entre los 25 con mayores registros en 2013</b>   |  |  |   |  |
| Trióxido de molibdeno   | 100,602  | 185%   | 2                                       | Una gran cantidad registrada correspondió a una sola mina productora de molibdeno; esta mina no había declarado anteriormente emisión alguna de trióxido de molibdeno.                     |
| Plata*  | 202,768  | 31%  | 22                                      |  |

1. El coeficiente de variación es una medida de variabilidad de las medias anuales (y no de las instalaciones, variabilidad que resulta mucho mayor). Cuanto más alto el número, mayor la variación.

Notas: Los contaminantes destacados (en verde más oscuro) se incluyen en el apéndice 2: "Principales contaminantes registrados por el sector minero de América del Norte (2009-2013): resumen de datos sobre emisiones y disposición en sitio, fuentes y efectos potenciales".

"\*" significa "y sus compuestos".

Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

Si se desea entender la contaminación que se vincula con la minería de América del Norte, es importante tener en cuenta ciertos tipos de contaminantes que no están sujetos a registro en ninguno de los tres RETC y que, por tanto, no figuran en el informe *En balance* ni en el cuadro anterior. Entre ellos figuran los siguientes:

**Gases de efecto invernadero (GEI).** Como en el caso de otras industrias, las emisiones de GEI son de importancia creciente en las estrategias encaminadas a mitigar la escala y los efectos del cambio climático. Como se menciona en el capítulo 1 (recuadro 1), las emisiones de GEI de cada instalación se registran en los distintos países mediante diversos mecanismos, pero se incluyen sólo en el RETC de México.

**Contaminantes atmosféricos de criterio (CAC).** Como se dijo en el apartado sobre la minería de carbón mineral, los CAC pueden liberarse en cantidades considerablemente más grandes que otros contaminantes registrados en los RETC. Las instalaciones informan anualmente al NPRI sobre emisiones de CAC desde 2002, pero se registran cada vez con menos frecuencia y en inventarios independientes en Estados Unidos y México (CCA, 2014; ECCC, 2017). El amoníaco es la excepción, pues se incluye en los RETC de Canadá y Estados Unidos, pero no en el RETC mexicano. Según se mencionó en el capítulo 1, más establecimientos de cada uno de los subsectores informan al NPRI, pero como sólo informan sobre emisiones de CAC, no se incluyen éstas en la cuantificación por planta del presente informe (véase el capítulo 1, recuadro 1).

Los **radionúclidos** no están sujetos a registro en los RETC de América del Norte. En 2013 se realizaron actividades de minería de uranio exclusivamente en Canadá y su manejo recae en la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (*Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC*) (véase el capítulo 2, apartado 2.3.1).

### 3.5.3 Derrames en las instalaciones mineras

Los derrames y fugas en las minas van desde derrames relativamente menores, como los derivados del mal funcionamiento de vehículos o equipo, hasta incidentes de gran relevancia, como los generados por fracturas en presas de relaves (véase el capítulo 2, apartado 2.5.2). Las medidas de prevención de derrames y las acciones correctivas corren a cargo de las autoridades responsables de los tres países, así como de las instalaciones mineras mismas. De igual importancia es asegurar el registro de los contaminantes liberados durante el accidente y brindar información oportuna al público inmediatamente después de un derrame serio.

El NPRI de Canadá es el único sistema de RETC que distingue con claridad entre derrames y otras emisiones. Este sistema de registro tiene categorías separadas para el registro de derrames y fugas al aire, el agua y el suelo. En el TRI, las emisiones al aire resultantes de accidentes o casos de mal funcionamiento se informan en una categoría con otras fuentes no puntuales de emisiones atmosféricas. Los derrames y fugas al agua se incluyen junto con cualquier otro tipo de descarga en el agua, y las emisiones al suelo se registran en la categoría “Otras disposiciones”. Tiene también el TRI una sección que agrega estas cantidades derramadas, junto con otras emisiones de carácter único y no relacionadas con producción. En el RETC de México los contaminantes derramados, cuando se registran, se incluyen junto a otras emisiones en las categorías de emisiones al aire, agua y suelo. Como *En balance* combina datos de los tres RETC, sólo es posible usar las categorías más amplias. Por ello, los derrames al aire y el agua se combinan con todas las demás emisiones en las correspondientes categorías (emisiones al aire y el agua), en tanto que los derrames y fugas en el suelo se incluyen junto con todas las demás clases de emisiones o eliminación en el suelo, en sitio (capítulo 2, cuadro 13).

Los datos del NPRI se examinaron con más detalle, ya que el programa distingue entre derrames y otros tipos de emisiones. Los datos para 2013, 2014 y 2015 (ECCC, 2016b, 2016a y 2016c) indican que las minas canadienses no informaron sobre fugas y registraron pocos (aunque significativos) derrames. En los tres años sólo se registraron derrames menores relacionados con emisiones atmosféricas por parte de dos minas (ambas en 2013). Dos derrames al agua se registraron en 2013, ambos relacionados con fallas en las presas: un derrame serio de la mina de carbón de Obed (apartado 3.4.1) y un derrame menor de amoníaco y metales al agua responsabilidad de una mina de oro en Quebec (Casa Berardi, de la Hecla Mining Company). Este último fue causado por una falla del dique interno de los relaves que se tradujo en emisiones de material a otro depósito en la zona de contención, pero también emitió a un cuerpo de agua alrededor de 55,000 m<sup>3</sup> de fluido y 2,000 m<sup>3</sup> de sólidos (Caldwell, 2014). La mina de Obed registró contaminantes derramados al suelo y al agua. En 2014, el único derrame registrado fue el gran derrame de la mina Mount Polley, que se informó como derrame al agua. En 2015, un derrame al suelo, principalmente de arsénico, se contuvo en el mismo sitio (Teck Highland Valley Copper, en Columbia Británica).

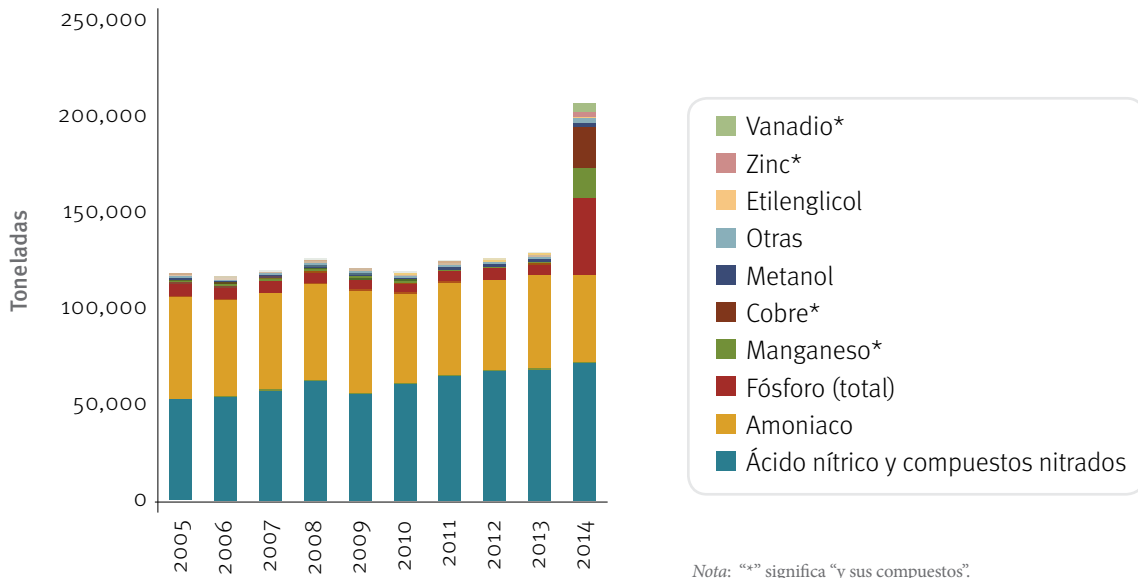
La información sobre derrames importantes recientes en instalaciones en operación o abandonadas de los tres países, recabada con base en datos disponibles en los RETC y otras fuentes, se resume en el cuadro 22.

Cuadro 22. Principales derrames en minas activas o abandonadas de América del Norte en relación con los registros RETC, 2013-2015

| Derrame   | Contexto RETC   | Alcance y repercusiones   |
|---|---|---|
| <p><b>Planta procesadora “El Herrero” de la mina de oro Bacis de Grupo Minero, S.A. de C.V.</b> (Durango, México)<br/>Enero de 2013, por falla en una presa de relaves</p>                        | <p>No se informó al <i>RETC</i>. La instalación se limitó a presentar el informe sobre una transferencia fuera de sitio de plomo para reciclaje en 2013.</p>  | <p>Emisión de 300,000 m<sup>3</sup> de material que afectó corriente abajo los ríos Los Remedios y San Lorenzo hasta un embalse empleado para almacenar agua potable para ganado e irrigación. Un estudio llevado a cabo cinco meses después del derrame reveló niveles altos de sedimento de arsénico, zinc, plomo, cadmio y mercurio (Páez Osuna <i>et al.</i>, 2015; Profepa, 2016).</p>   |
| <p><b>Mina de carbón de Obed, de Coal Valley Resources</b> (Alberta, Canadá)<br/>Octubre de 2013, causado por una fractura en el muro de un estanque de sedimentación</p>                         | <p>Registrado mediante el NPRI. El informe inicial fue incorrecto; se presentaron revisiones en 2015 y 2016. Los 92,594 kg de contaminantes emitidos registrados consistieron en 39% de las emisiones al agua de la minería de carbón mineral en 2013.</p>  | <p>Emisión de 670,000 m<sup>3</sup> de lechada con amoníaco, fósforo (total) y metales. El material emitido, junto con la erosión, produjo una columna de sedimento fino que se extendió a 1,100 km corriente abajo hasta la desembocadura del río Athabasca (Cooke <i>et al.</i>, 2016).</p>   |
| <p><b>Mina de cobre y oro Mount Polley, de Imperial Metals</b> (Columbia Británica, Canadá)<br/>Agosto de 2014, causado por una falla en la presa de relaves</p>                                  | <p>Informado mediante el NPRI. El derrame dio cuenta de 95% de todas las emisiones de la minería en Canadá en 2014.</p>   | <p>Emisión de 17 millones de m<sup>3</sup> de agua y 8 millones de m<sup>3</sup> de relaves y materiales de construcción al lago Polley, el arroyo de Hazeltine y el lago Quesnel (Gobierno de Columbia Británica, 2016). El flujo de escombros escurrió por el arroyo y depositó relaves y sedimentos en las llanuras inundables y en los lagos. Los efectos incluyen daño físico a los cuerpos de agua, lago, zonas ribereñas y terrestres, destrucción de las comunidades bióticas de dichas áreas, y disposición de metales en los sedimentos. El material derramado no es generador de ácido y tiene bajo potencial de lixiviación (Golder Associates, 2016; SRK Consulting, 2015), pero puede entrañar riesgos permanentes (Petticrew <i>et al.</i>, 2015).</p> |
| <p><b>Mina Buenavista del Cobre, de Grupo México</b> (Sonora, México)<br/>Agosto de 2014, causado por el rompimiento de una tubería de un estanque de relaves ácidos de cobre (Briseño, 2017)</p> | <p>No registrable en el <i>RETC</i>.</p>  | <p>Derrame de 40,000 m<sup>3</sup> de solución de carga metálica de acidez muy elevada en el arroyo de Las Tinajas que corre rumbo al río Bacanuchi y después al río Sonora. Los efectos iniciales del derrame se extendieron 90 km corriente abajo y despertaron preocupación sobre los efectos en la vida acuática, el agua potable y la economía de siete comunidades (Gobierno de México, 2014; Díaz Caravantes <i>et al.</i>, 2016; Jamasmie, 2014; Gutiérrez Ruiz y Martín Romero, 2015).</p>   |
| <p>Incidente en la <b>Mina Gold King</b> (Colorado, Estados Unidos)<br/>Agosto de 2015</p>  | <p>No registrable en el TRI, ya que el derrame correspondió a una mina largo tiempo abandonada (estuvo activa hasta 1923). El derrame ocurrió en una zona sujeta a contaminación por escorrentía ácida de yacimientos mineros de minas abandonadas (y, por tanto, no refleja las prácticas mineras modernas).</p> | <p>Durante un intento de la EPA por arreglar una fuga permanente, las excavaciones resultaron en un derrame de 11,400 m<sup>3</sup> de agua ácida cargada de metales y rica en sedimentos de hierro que erosionó la roca residual y el suelo generadores de ácido, y que desembocó en los ríos de las Ánimas y San Juan hasta llegar al lago Powell, en Utah. Los metales que entraron al río con volúmenes más elevados fueron hierro y aluminio, en gran medida derramados por los residuos de roca y el lecho del arroyo (Gobla <i>et al.</i>, 2015; EPA, 2017).</p>   |



Gráfica 43. Impactos del derrame minero de Mount Polley (2014) en las emisiones totales al agua registradas en Canadá, 2005-2014



Nota: "\*" significa "y sus compuestos".  
Fuente: Adaptado de Environment Canada (EC, 2015a).

El objetivo de un RETC es dar a conocer al público información sobre las emisiones y transferencias de contaminantes y seguir el rastro de las fuentes, emisiones y transferencias para contribuir a prevenir y reducir la contaminación (CCA, 2014). La imposibilidad de distinguir, en los programas TRI y RETC, los derrames de otras clases de emisiones es un factor limitante que es necesario tener en cuenta. En la industria minera, los derrames son sucesos relativamente raros aunque potencialmente serios que pueden dar pie a la emisión rápida de contaminantes en cantidades que superan por mucho las emisiones anuales normales de una mina. Constituyen un elemento importante a tomar en cuenta al formular políticas y programas encaminados a evaluar y abordar la contaminación de las actividades mineras.

La mayoría de los derrames mineros de consideración se liberan al agua. La masa de contaminantes se mueve con rapidez y puede afectar a su paso, corriente abajo, ecosistemas acuáticos y comunidades. Función importante de un RETC es dar acceso a información, inmediatamente después del derrame, sobre las sustancias potencialmente tóxicas que estaban en el sitio y que es probable que se hayan derramado. El NPRI se empleó con este propósito en el periodo que siguió al derrame de Mount Polley. Los comunicados de la compañía minera (Imperial Metals) se centraron en las sustancias disueltas en el estanque de relaves, no en los contaminantes de los sólidos derramados. El registro NPRI de 2013 sobre disposición de contaminantes en los relaves se usó ampliamente como fuente de información para el público en torno a lo que se había derramado (Mining Watch Canada, 2014; CBC News, 2014; Paperny, 2014), lo cual resultó adecuado, como lo demostró el monitoreo realizado posteriormente corriente abajo. El informe de la mina al NPRI de 2014 sobre el derrame estuvo cercano a los informes sobre disposición de relaves de años previos (2009-2013), es decir, las cantidades de contaminantes registrados como liberados al agua cuando la presa se dañó fueron equivalentes a las cantidades dispuestas de relaves en el curso de unos tres años (ECCC, 2016d).

### 3.6. Conclusión

Este examen a fondo de los datos sobre emisiones y transferencias registradas en 2013 por la industria minera de América del Norte revela diferencias importantes en cuanto a cantidades, contaminantes y clases de emisiones y transferencias registradas por instalación. Si bien es cierto que los registros incompletos y el incumplimiento son factores que afectan de manera importante los datos del sector minero, este análisis ha demostrado que las diferencias entre los requisitos de registro de los RETC nacionales, incluidas las que aparecen en las definiciones de categorías de emisiones y transferencias, también desempeñan un papel relevante.

Estos análisis revelan la naturaleza de algunas diferencias entre los programas RETC que son de particular importancia en el marco del sector minero, el cual genera grandes cantidades de desechos con contaminantes que, dependiendo de cómo se manejen, pueden o no presentar riesgos para la salud humana o el medio ambiente. El efecto más acusado de dicha falta de uniformidad en los requisitos de registro, destacado en el presente informe, es que las cantidades de contaminantes registradas por las minas en México son significativamente menores que las de Estados Unidos y Canadá. Ello obedece en buena medida a dos características del RETC: la inexistencia de una categoría para registrar la eliminación o disposición en sitio y la exclusión, de la lista de sustancias sujetas a registro, de contaminantes clave típicamente asociados con las actividades mineras.<sup>41</sup>

Otro aspecto que queda claro al examinar con mayor detenimiento los datos (por clases de minería e instalaciones mineras específicas) es que las emisiones y transferencias registradas conforme a los códigos SCIAN incluyen también operaciones de fundición u otras actividades de refinación de minerales cubiertas por otros códigos SCIAN. Esta es una herramienta de los sistemas de RETC que permite o exige a las instalaciones informar sobre emisiones y transferencias de diversas actividades industriales en un solo código de industria principal. Esta manera de combinar registros de emisiones y transferencias provenientes de diversas fuentes del ámbito minero introduce problemas en el análisis de datos y entraña el peligro de llevar a conclusiones erróneas.

El cuadro 23 resume algunos aspectos importantes de las emisiones y transferencias del sector minero y hasta qué grado quedan englobados dentro de los programas RETC de América del Norte. Constituye una base para identificar las posibilidades de optimizar los sistemas nacionales a fin de reflejar mejor las actividades de tal sector. Por ejemplo, la disposición de contaminantes en sitio, sobre todo como relaves y residuos de roca, dio cuenta de la mayor parte del total de emisiones y transferencias de contaminantes registrado por la minería. Esta categoría proporcionaría mejor información sobre patrones de emisión de contaminantes y riesgos si los datos correspondientes a los relaves y residuos de roca se registraran con mayor uniformidad y en categorías separadas.

Los minerales registrados como residuos de roca y relaves se encuentran de manera natural en los yacimientos y se contienen y manejan en sitio. Desde el punto de vista de la contaminación, lo importante no son las cantidades almacenadas en sitio, sino el riesgo de que esos metales u otros minerales erosionen, lixivien, se derramen o se dispersen a otros medios del entorno circundante. Sin embargo, los derrames no se registran de manera uniforme entre los RETC nacionales y, por tanto, no es posible distinguirlos de otras emisiones contenidas en la base de datos integrada de los RETC de América del Norte de *En balance en línea*. Como los derrames son relativamente raros, pero fuente de contaminantes en potencia muy seria, es preciso tenerlos en cuenta al realizar cualquier evaluación de la contaminación y los riesgos de la minería.

En algunas clases de minería, los contaminantes atmosféricos derivados de la quema de combustible fósil y de actividades que producen polvo (contaminantes atmosféricos de criterio) constituyen un aspecto muy significativo del problema de las emisiones y transferencias de contaminantes de esa industria. Estos contaminantes, así como las emisiones de gases de efecto invernadero, se monitorean y registran de manera distinta en los tres países, por lo que se excluyen del informe *En balance*. Si bien puede ser impráctico combinarlos en un sistema de registro, deben tomarse en cuenta en cualquier estudio a fondo de las emisiones atmosféricas de la minería.

41. Como se mencionó tanto en este capítulo como en el capítulo 2, a partir del año de registro 2014, la lista de contaminantes del RETC se amplió de 104 a 200 sustancias, pero no se añadieron contaminantes que la actividad minera suele emitir o transferir (Semarnat, 2014).

Cuadro 23. Cobertura del sector minero en los RETC de América del Norte

| Elemento de los registros RETC      | Información recopilada  | Información parcialmente recopilada (parcial, poco clara o con falta de uniformidad entre los tres RETC)  | Información no recopilada (o con muy poca uniformidad entre los tres RETC)   |
|-------------------------------------|---|---|--|
| Descargas en el agua                | Descargas al final del proceso en aguas superficiales                                   | Escorrentías de agua de lluvia  | Casi toda la contaminación de aguas superficiales derivada de fuentes no puntuales; contaminantes liberados en aguas subterráneas                        |
| Emisiones al aire                   | Emisiones por chimenea  | Emisiones atmosféricas fugitivas, contaminantes en el polvo   | Clases importantes de emisiones (gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos de criterio)   |
| Emisiones o eliminación en el suelo |   | Eliminación o disposición en sitio de relaves y residuos de roca  | Contaminantes de relaves y residuos de roca movilizados con posterioridad  |
| Derrames                            |   | Derrames y fugas, incluidas las derivadas de fallas en las presas de relaves  |  |
| Clase de contaminantes              | Contaminantes de alta toxicidad conocida y que representan riesgos para la salud humana | Contaminantes con efectos ambientales agudos o subletales de largo plazo, y contaminantes liberados y depositados en grandes cantidades por el sector minero (sobre todo metales) | Gases de efecto invernadero, contaminantes atmosféricos de criterio (incluidas partículas de materia fina), radionúclidos, sólidos suspendidos (en agua) |
| Ciclo de vida de la mina            | Fase de operación   | Fase de desmantelamiento  | Fases de exploración, explotación y posteriores al cierre  |
| Mediciones de riesgos y efectos     |   | Información sobre riesgos tóxicos (sistema de clasificación de ciertos contaminantes atmosféricos y descargas en el agua)   | Mediciones integrales de los efectos en la salud humana y ambiental  |

Este análisis revela que en las cantidades totales de emisiones y transferencias de contaminantes suele predominar uno o un puñado de instalaciones, por lo que el examen de los totales, promedios y cambios puede conducir a conclusiones erróneas. Se puede aprender mucho más del análisis de datos sobre contaminantes específicos, clases de minería, regiones e instalaciones. Asimismo, otras fuentes importantes de contaminantes deben tomarse en consideración cuando se analiza la contaminación asociada con la minería desde una perspectiva más amplia. Estas fuentes incluyen emisiones accidentales y no puntuales, como el polvo proveniente de la extracción de minerales, las emisiones vehiculares y las escorrentías de agua de lluvia que erosionan o filtran contaminantes de actividades mineras y de los residuos almacenados en sitio.

Las reflexiones sobre las prácticas de manejo de residuos de la industria minera y los problemas potenciales que pueden surgir cuando contaminantes asociados con estos procesos entran al medio ambiente constituyen información de utilidad para enriquecer los programas RETC de América del Norte y dar cuenta más clara de las actividades de este sector tan importante. Los datos resultantes —más completos, precisos y comparables— pueden, a su vez, nutrir las políticas e iniciativas de reducción de contaminantes en toda la región.

## Referencias

- Aneja, V. P., A. Isherwood y P. Morgan (2012), "Characterization of particulate matter (PM 10) related to surface coal mining operations in Appalachia", *Atmospheric Environment*, Elsevier, Amsterdam, núm. 54, pp. 496-501.
- Briseño, O. (2017), comunicación personal, marzo de 2017, Grupo México.
- Caldwell, J. A. (2014), *Tailings facility failures in 2013/2014*, Infomine.com, Vancouver; disponible en: <[www.infomine.com/library/publications/docs/Caldwell2014c.pdf](http://www.infomine.com/library/publications/docs/Caldwell2014c.pdf)>.
- Canadian Mining Journal (2013), "Carol Lake", *Canadian Mining Journal*, en: <[www.canadianminingjournal.com/features/carol-lake/](http://www.canadianminingjournal.com/features/carol-lake/)>.
- CNSC (2015), "Uranium mines and mill waste"; Canadian Nuclear Safety Commission [Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear], en: <<http://nuclearsafety.gc.ca/eng/waste/uranium-mines-and-millwaste/index.cfm>> (consulta realizada el 27 de octubre de 2016).
- CBC News (2014), Mount Polley mine tailings spill: Imperial Metals could face \$1M fine, 6 de agosto de 2014, en: <[www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/mount-polley-mine-tailings-spill-imperial-metals-could-face-1m-fine-1.2728832](http://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/mount-polley-mine-tailings-spill-imperial-metals-could-face-1m-fine-1.2728832)> (consulta realizada el 27 de febrero de 2017).
- CCA (2014), *En balance, emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte, vol. 14: Análisis de los cambios observados en los RETC de América del Norte, 2005-2010, con atención especial en las emisiones al aire y el agua provenientes del sector de fabricación de celulosa, papel y cartón*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Quebec.
- Clow, G. G., B. Salmon, M. Lavigne, B. Mcdonough, P. Pelletier y D. Vallières (2011), *Technical report on expansion options at the Niobec Mine, Quebec, Canada*, Roscoe Postle Associates Inc., para Iam Gold Corporation.
- Cooke, C. A., C. Schwindt, M. Davies, W. F. Donahue y E. Azim (2016), "Initial environmental impacts of the Obed Mountain coal mine process water spill into the Athabasca River (Alberta, Canada)", *Science of the Total Environment*, núm. 557-558, pp. 502-509.
- Díaz Caravantes, R. E., H. Duarte Tagles y F. M. Durazo Gálvez (2016), "Amenazas para la salud en el río Sonora: análisis exploratorio de la calidad del agua reportada en la base de datos oficial de México", *Rev Univ Ind Santander Salud*, vol. 48, núm. 1, pp. 91-96.
- Eagles-Smith, C. A., J. G. Wiener, C. Eckley, J. J. Willacker, D. C. Evers, M. Marvin-DiPasquale, D. Obrist *et al.* (2016), "Mercury in western North America: An overview of environmental contamination, fluxes, bioaccumulation, and risk to fish and wildlife", *Science of the Total Environment*, núm. 568 (enero), pp. 1213-1226.
- EC (2015a), *Overview of reviewed facility-reported data, National Pollutant Release Inventory (NPRI), 2014*, Environment Canada [ministerio de Medio Ambiente de Canadá]; disponible en: <[www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=386BAB5A-1&printfullpage=true](http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=386BAB5A-1&printfullpage=true)>.
- EC (2015b), *Summary review of performance of metal mines subject to the metal Mining Effluent Regulations in 2013*, Environment Canada [ministerio de Medio Ambiente de Canadá]; disponible en: <[http://ec.gc.ca/pollution/AD0FC9DC-6254-4CFA-9C13-E14F2ECFC5F5/15-011\\_Metal\\_Mining\\_ANG\\_R3.pdf](http://ec.gc.ca/pollution/AD0FC9DC-6254-4CFA-9C13-E14F2ECFC5F5/15-011_Metal_Mining_ANG_R3.pdf)>.
- ECCC (2016a), *National Pollutant Release Inventory (NPRI) - 2013 Pollutant release and transfer data reported by facilities, single year tabular format*, Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], actualizado el 29 de septiembre de 2016.
- ECCC (2016b), *National Pollutant Release Inventory (NPRI) - 2014 Pollutant release and transfer data reported by facilities, single year tabular format*, actualizado el 29 de septiembre de 2016, archivo en excel para 2014 (2014-INRP-NPRI.xlsx), datos al 8 de septiembre de 2015, Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá].
- ECCC (2016c), *National Pollutant Release Inventory (NPRI) - 2015 Pollutant release and transfer data reported by facilities, single year tabular format*, Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], actualizado el 29 de septiembre de 2016.

- ECCC (2016d), “National Pollutant Release Inventory (NPRI) - bulk data, NPRI-Substance-Comments-Normalized-Since1993”, archivo Excel, Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], en: <<http://donnees.ec.gc.ca/data/substances/plansreports/national-pollutant-release-inventory-npri-pollutant-release-and-transfer-data-reported-by-facilities/national-pollutant-release-inventory-npri-bulk-data/?lang=en>> (consulta realizada el 8 de septiembre de 2016).
- ECCC (2016e), “Performance agreement concerning air pollutants from the iron ore pellet sector”, Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], en: <[www.ec.gc.ca/epe-epa/default.asp?lang=En&n=4ED7CF11-1Z](http://www.ec.gc.ca/epe-epa/default.asp?lang=En&n=4ED7CF11-1Z)> (consulta realizada el 8 de septiembre de 2016).
- ECCC (2017), “Criteria air contaminants and related pollutants”, Environment and Climate Change Canada [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], en: <[www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=7C43740B-1](http://www.ec.gc.ca/air/default.asp?lang=En&n=7C43740B-1)> (consulta realizada el 2 de marzo de 2017).
- EPA (2011), *Final rule to reduce mercury emissions from gold mine ore processing and production sources (fact sheet)*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], Office of Air Quality Planning and Standards; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/2016-01/documents/gold\\_mines\\_fs\\_121610.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2016-01/documents/gold_mines_fs_121610.pdf)>.
- EPA (2015a), “2013 TRI National Analysis: Metal mining - Waste management by metal mines”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/2013-tri-national-analysis-metal-mining-waste-management-metal](http://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/2013-tri-national-analysis-metal-mining-waste-management-metal)> (consulta realizada el 2 de octubre de 2016).
- EPA (2015b), *Factors to consider when using TRI data*, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/201506/documents/factors\\_to\\_consider\\_6.15.15\\_final.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/201506/documents/factors_to_consider_6.15.15_final.pdf)>.
- EPA (2016), “Toxics Release Inventory (TRI) Program: Is my facility’s six-digit NAICS Code a TRI-covered industry?”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/my-facilitys-six-digit-naics-code-tri-covered-industry](http://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/my-facilitys-six-digit-naics-code-tri-covered-industry)> (consulta realizada el 18 de febrero de 2017).
- EPA (2017), *Analysis of the transport and fate of metals released from the Gold King Mine in the Animas and San Juan Rivers*, Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?dirEntryId=325950](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=325950)>.
- Esteller, M. V., E. Domínguez Mariani, S. E. Garrido y M. Avilés (2015), “Groundwater pollution by arsenic and other toxic elements in an abandoned silver mine, Mexico”, *Environmental Earth Sciences*, vol. 74, núm. 4, pp. 2893-2906.
- Gobierno de Columbia Británica (2016), “Mount Polley Mine tailing dam breach”, en: <[www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/spills-environmental-emergencies/spill-incidents/past-spill-incidents/mt-polley](http://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/air-land-water/spills-environmental-emergencies/spill-incidents/past-spill-incidents/mt-polley)>.
- Gobierno de México (2014), *Derrame de sulfato de cobre en el río Bancanuchi (afluente del río Sonora)*; disponible en: <[www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6251/1/presentacion\\_conferencia\\_derramesemarnat\\_profepa\\_260814.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6251/1/presentacion_conferencia_derramesemarnat_profepa_260814.pdf)>.
- Gobla, M., C. Gemperline y L. Stone (2015), *Technical evaluation of the Gold King Mine Incident*, US Department of the Interior, Bureau of Reclamation; disponible en: <[www.usbr.gov/docs/goldkingminereport.pdf](http://www.usbr.gov/docs/goldkingminereport.pdf)>.
- Golder Associates (2016), *Mount Polley mine tailings storage facility, perimeter embankment breach, informe actualizado: Post-event environmental impact assessment report*, presentado a la Mount Polley Mining Corporation.
- Gutiérrez Ruiz, M. E., y F. Martín Romero (2015), “Valoración del daño ambiental en la cuenca del río Sonora, asociado al derrame del 6 de agosto de 2014 de Buena Vista del Cobre”, en *Memorias Trabajos Técnicos, XXXI Convención Internacional de Minería, Acapulco, Guerrero, México, 7 de octubre de 2015*, editadas por Rogelio Monreal Saavedra, Leobardo Valenzuela García y Francisco Cendejas Cruz, Acapulco, pp. 604-616.
- Hanchar, J. C. y A. D. Kerr (2012), *Mineral commodities of Newfoundland and Labrador: Iron ore*, Geological Survey Mineral Commodities Series Number 7, Newfoundland Labrador Natural Resources, St John’s.

- Hauer, R. y E. K. Sexton (2013), *Transboundary Flathead River: Water quality and aquatic life use: informe final*: preparado para Glacier National Park por Flathead Lake Biological Station, Universidad de Montana, Polson.
- Hendry, M. J., A. Biswas, J. Essilfie-Dughan, N. Chen, S. J. Day y S. L. Barbour (2015), “Reservoirs of selenium in coal waste rock: Elk Valley, British Columbia, Canada”, *Environmental Science & Technology*, vol. 49, núm. 13, pp. 8228-8236.
- Jamasmie, C. (2014), “Mexico copper mine spill pollutes water supplies 40 km from US border”, en: <<http://mining.com>> (consulta realizada el 1 de diciembre de 2016).
- Jamieson, H. E. (2014), “The legacy of arsenic contamination from mining and processing refractory gold ore at Giant Mine, Yellowknife, Northwest Territories, Canada”, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, vol. 79, núm. 1, pp. 533-551.
- Jaramillo, P. y N. Z. Muller (2016), “Air pollution emissions and damages from energy production in the US: 2002-2011”, *Energy Policy*, Elsevier, Ámsterdam, vol. 90, núm. x, pp. 202-211.
- Kuchapski, K. A. y J. B. Rasmussen (2015), “Surface coal mining influences on macroinvertebrate assemblages in streams of the Canadian Rocky Mountains”, *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 34, núm. 9, pp. 2138-2148.
- Mining Watch Canada (2014), “Catastrophic tailings spill at Mount Polley Mine, News item”, 8 de agosto de 2014, en: <<http://miningwatch.ca/blog/2014/8/8/catastrophic-tailings-spill-mount-polley-mine>> (consulta realizada el 27 de febrero de 2017).
- Northwest Arctic Borough (2009), “Title 9 master plan permit no: 107-03-10”, preparado para Teck Alaska, Inc.
- Páez Osuna, F., H. Bojórquez Leyva, M. Bergés Tiznado, O. A. Rubio Hernández, J. F. Fierro Sañudo, J. Ramírez Rochín y J. A. León Cañedo (2015), “Heavy metals in waters and suspended sediments affected by a mine tailing spill in the upper San Lorenzo River, northwestern Mexico”, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 94, núm. 5, pp. 583-588.
- Paperny, A. M. (2014), “Mount Polley breach: What Thursday’s tailings test won’t tell you”, *Global News*, 7 de agosto de 2014, en: <<http://globalnews.ca/news/1496479/mount-polley-breach-what-thursdays-tailings-test-wont-tell-you/>> (consulta realizada el 27 de febrero de 2017).
- Petticrew, E. L., S. J. Albers, S. A. Baldwin, E. C. Carmack, S. J. Déry, N. Gantner, K. E. Graves *et al.* (2015), “The impact of a catastrophic mine tailings impoundment spill into one of North America’s largest fjord lakes: Quesnel Lake, British Columbia, Canada”, *Geophysical Research Letters*, pp. 3347-3356.
- Profepa (2016.), “Ratifica Profepa que no hay contaminación en río Los Remedios, en Sinaloa”, Gobierno de México, Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, México, en: <[www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/6340/1/mx.wap/ratifica\\_profepa\\_que\\_no\\_hay\\_contaminacion\\_en\\_rio\\_%25E2%2580%259Clos\\_remedios%25E2%2580%259D\\_en\\_sinaloa.html](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/6340/1/mx.wap/ratifica_profepa_que_no_hay_contaminacion_en_rio_%25E2%2580%259Clos_remedios%25E2%2580%259D_en_sinaloa.html)> (consulta realizada el 8 de septiembre de 2016).
- Razo, I., L. Carrizales, J. Castro, F. Díaz Barriga y M. Monroy (2004), “Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico”, *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 152, núm. 1-4, pp. 129-152.
- Semarnat (2014), *Norma Oficial Mexicana NOM-165-SEMARNAT-2013, Que establece la lista de sustancias sujetas a reporte para el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*, *Diario Oficial*, viernes 24 de enero de 2014, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; disponible en: <[www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6640/1/nom-165-semarnat-2013.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6640/1/nom-165-semarnat-2013.pdf)>.
- SRK Consulting (2015), *Mount Polley Mine tailings dam failure: Update on geochemical characterization of spilled tailings*, preparado para Mount Polley Mining Corp.
- Straskraba, V. y R. E. Moran (1990), “Environmental occurrence and impacts of arsenic at gold mining sites in the western United States”, *International Journal of Mine Water*, Springer-Verlag, vol. 9, núm. 1-4, pp. 181-191.
- Wilson, A., D. Fox, G. Poole y R. Bujoldy (2011), “Linking incineration to dioxins and furans in lakebed sediments (or, the case of the missing water license condition)”, *Integrated Environmental Assessment and Management*, vol. 7, núm. 2, pp. 302-304.

## Uso y comprensión de los datos de *En balance*

Dirigido a quienes consultan por primera vez los registros de emisiones y transferencias de contaminantes o el informe *En balance*, este apartado describe las características de los tres RETC nacionales, incluidos aspectos propios del sistema de cada país al año de registro correspondiente a 2013. También se describen la terminología y la metodología utilizadas en la elaboración del informe, así como el alcance de éste.

### Características de los tres sistemas de RETC de América del Norte

*En balance* se elabora con base en la información proporcionada por los tres programas de registro de emisiones y transferencias de contaminantes nacionales (RETC) de América del Norte:

- **NPRI de Canadá** (<[www.ec.gc.ca/pdb/npri/npri\\_online\\_data\\_e.cfm](http://www.ec.gc.ca/pdb/npri/npri_online_data_e.cfm)>);
- **TRI de Estados Unidos** (<[www.epa.gov/triexplorer](http://www.epa.gov/triexplorer)>), y
- **RETC de México** (<<http://app1.semarnat.gob.mx/retc/index.php>>)

El RETC de cada uno de los tres países ha formulado su propia lista de contaminantes, sectores industriales y requisitos de registro. En el cuadro A-1 se comparan las características de los tres sistemas de RETC.

Cuadro A-1. Características de los tres RETC de América del Norte

| Característica*  | Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes de Canadá ( <i>Canadian National Pollutant Release Inventory, NPRI</i> )  | Inventario de Emisiones Tóxicas de Estados Unidos ( <i>US Toxics Release Inventory, TRI</i> )   | Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes de México ( <i>RETC</i> )  |
|--|---|---|---|
| Primer año de registro obligatorio   | 1993  | 1987  | 2004  |
| Actividades industriales o sectores cubiertos  | Todo establecimiento que produzca o utilice una sustancia enlistada, excepto para actividades como investigación, reparación, venta al menudeo, agricultura y silvicultura. Toda instalación que emita al aire contaminantes atmosféricos de criterio (CAC) en cantidades especificadas.                            | Plantas manufactureras, instalaciones federales, centrales eléctricas (a base de petróleo o carbón), minerías de carbón y metales, plantas de manejo de desechos peligrosos y recuperación de solventes, mayoristas de sustancias químicas y terminales de petróleo a granel. | Plantas industriales de 11 sectores bajo jurisdicción federal: petróleo, industria química, pinturas y tintas, metales primarios y fabricados, fabricación de automóviles, celulosa y papel, cemento y cal, asbesto, vidrio, centrales eléctricas y manejo de desechos peligrosos. Otras plantas con actividades específicas sujetas a jurisdicción federal, como las transferencias de desechos peligrosos o descargas de contaminantes en cuerpos de agua nacionales. |
| Número de contaminantes sujetos a registro   | 346 contaminantes o grupos de contaminantes.  | 675 contaminantes individuales y 30 grupos de contaminantes.  | 104 contaminantes.  |
| Umbral de empleo   | Por lo general, diez empleados de tiempo completo o más. Para ciertas actividades, como incineración de desechos y tratamiento de aguas residuales, el umbral de diez empleados no se aplica.   | Diez o más empleados de tiempo completo (o equivalente en horas).   | Sin umbral de empleo.   |
| Umbral de actividad (manufactura, procesamiento u otros usos) y de "emisiones" de la sustancia | Umbral de "actividad" de 10,000 kg para la mayoría de las sustancias químicas. Umbral más bajo para algunos contaminantes como sustancias tóxicas persistentes y bioacumulables (STPB), hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas y furanos y contaminantes atmosféricos de criterio.                         | Umbral de "actividad" de 25,000 libras u 11,340 kg (con umbral de "otros usos" de alrededor de 4,356 kg); umbral más bajo para algunas sustancias, como las tóxicas, persistentes y bioacumulables (STPB) y dioxinas y furanos.   | Umbral de "emisión" y "actividad" para cada contaminante (los establecimientos deben informar si alcanzan o exceden los umbrales). Salvo por los gases de efecto invernadero, los umbrales de "emisión" oscilan entre 1 kg y 1,000 kg, y los de "actividad", entre 5 kg y 5,000 kg. Todas las emisiones de bifenilos policlorados (BPC) y hexafluoruro de azufre, así como toda emisión o actividad de dioxinas y furanos, deben registrarse.                           |
| Tipos de emisiones y transferencias cubiertas  | Emisiones al aire, el agua y el suelo, en sitio; eliminación o disposición en sitio, incluida la inyección subterránea; transferencias fuera de sitio para eliminación o disposición final, tratamiento previo a la disposición final (incluidas descargas al alcantarillado), reciclaje y recuperación de energía. | Emisiones al aire, el agua y el suelo, en sitio, y por inyección subterránea; emisiones fuera de sitio para eliminación o disposición final; transferencias fuera de sitio para reciclaje, recuperación de energía, tratamiento y descargas al alcantarillado.                | Emisiones al aire, el agua y el suelo en sitio, así como transferencias fuera de sitio para eliminación o disposición final, reciclaje, reutilización, recuperación de energía, tratamiento, coprocesado (insumo en otro proceso de producción) y descargas al alcantarillado.  |

\* Al año de registro 2013.



## Requisitos generales de registro de los RETC

### ¿Qué contaminantes han de incluirse en los registros?

Los contaminantes sujetos a registro en cada sistema de RETC nacional lo están porque cumplen ciertos criterios en lo que se refiere a su toxicidad química y porque representan riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Cada sistema de RETC cubre una lista de sustancias específicas: el NPRI abarca casi 350 contaminantes, el TRI se ocupa de alrededor de 600 contaminantes y el *RETC* incluye 104.<sup>42</sup>

En abril de 2006, el Chemical Abstracts Service (CAS) —servicio de información sobre productos químicos— catalogó más de 27 millones de sustancias químicas e identificó más de 239,000 como reglamentadas o incluidas en inventarios de todo el mundo.

Las plantas industriales registran las cantidades de cada contaminante que emiten al medio ambiente o de que disponen en su propio predio (en sitio). Informan también sobre las cantidades de sustancias enviadas fuera de sitio para disposición o transferidas para reciclaje u otro tipo de manejo de desechos.

Los sistemas de RETC cuentan con umbrales de registro por contaminante. En el caso de ciertos contaminantes, los umbrales son más bajos debido a su mayor potencial de riesgo para la salud humana y el medio ambiente. En términos generales, los umbrales establecidos actualmente para los tres RETC son los siguientes:

- En el NPRI de Canadá y el TRI estadounidense, un establecimiento debe presentar registros si fabrica, procesa o de alguna otra manera utiliza (por ejemplo, para la limpieza de equipo industrial) 10,000 kg (NPRI) u 11,340 kg (TRI) de un contaminante enlistado. El TRI de Estados Unidos tiene un umbral máximo de 4,356 kg (con excepción de las STPB).
- En el *RETC* de México hay un umbral de “actividad” y otro de “emisiones”. Una instalación debe presentar registros si alcanza o excede cualquiera de los umbrales. El umbral de “actividad” es por lo general de 2,500 o 5,000 kg, según la sustancia, en tanto que el umbral típico de “emisiones” es de 1,000 kilogramos.

Para obtener más información, consúltese la lista de contaminantes registrados en los RETC de América del Norte, en: <Los RETC y sus requisitos generales de registro>.

Evaluar el riesgo para la salud humana o el medio ambiente derivado de cierto tipo de emisiones de un contaminante resulta una tarea difícil, debido a que el potencial de daño de una sustancia depende de varios factores, incluidos su toxicidad inherente y el tipo de exposición a la sustancia. Por ejemplo, el riesgo que presenta el asbesto que se deposita en un relleno sanitario se considera mucho menor que el que se libera a la atmósfera. Con todo, los datos y la información registrados sobre las propiedades químicas y toxicidad de un contaminante pueden servir como punto de partida para aprender más acerca de sus posibles efectos. Al respecto, véase el recuadro “Factores a considerar al utilizar datos RETC en la evaluación de riesgos”, en la introducción del presente informe. Otras fuentes de información incluyen:

- *ToxFAQs*, US Agency for Toxic Substances and Disease Registry [“Preguntas frecuentes sobre sustancias peligrosas”, de la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades]: <[www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/index.asp](http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/index.asp)>;
- *Right-to-Know Hazardous Substance Fact Sheets*, State of New Jersey, Department of Health [“Hojas informativas sobre sustancias peligrosas, por el derecho a la información”, del Departamento de Salud del estado de Nueva Jersey; información disponible también en español]: <<http://web.doh.state.nj.us/rtkhsfs/indexFs.aspx>>.

42. A partir del año de registro de 2014, el *RETC* de México aumentó a 200 las sustancias incluidas en su lista de contaminantes sujetos a registro.

## ¿Qué industrias presentan registros?

Cada uno de los países obliga a que presenten registros las instalaciones de sectores industriales específicos o que desempeñen determinadas actividades industriales.

- En Canadá, las instalaciones industriales que alcanzan los umbrales y los requisitos respectivos deben presentar registros al NPRI, salvo algunos sectores de aprovechamiento de recursos naturales y los que se dedican a cierto tipo de actividades, como los laboratorios de investigación.
- En Estados Unidos, el TRI exige que presenten registros las instalaciones federales, la mayor parte de las plantas manufactureras y los establecimientos que les prestan servicios (por ejemplo, centrales eléctricas y plantas de manejo de desechos peligrosos). Algunos sectores de recursos primarios, como los de la extracción de gas y petróleo, están exentos de presentar informes.
- En México, todos los sectores industriales bajo jurisdicción federal están obligados a presentar registros al *RETC*, al igual que las plantas de otros sectores que realizan actividades sujetas a reglamentación federal. Entre dichas instalaciones figuran las que transfieren desechos peligrosos o realizan descargas en cuerpos de agua nacionales.

## Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte

Canadá, Estados Unidos y México adoptaron el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN), en cuyos códigos se basan las categorías de las actividades industriales de una instalación. Los códigos SCIAN se establecieron en 1997 y a partir de 2006 se incorporaron a los registros *RETC* en sustitución de los códigos de clasificación

### Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte

| Código SCIAN | Sector industrial  |
|--------------|--|
| 11           | Agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza                     |
| 21           | Minería y extracción de petróleo y gas   |
| 22           | Electricidad, agua y suministro de gas al consumidor final                         |
| 23           | Construcción   |
| 31/32/33     | Industrias manufactureras  |
| 41/42/43     | Comercio al por mayor  |
| 44/45/46     | Comercio al por menor  |
| 48/49        | Transporte, correos y almacenamiento   |
| 51           | Servicios de información y difusión cultural                                       |
| 52           | Servicios financieros y de seguros   |
| 53           | Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles              |
| 54           | Servicios profesionales, científicos y técnicos                                    |
| 55           | Dirección de corporativos y empresas   |
| 56           | Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación  |
| 61           | Servicios educativos   |
| 62           | Servicios de salud y de asistencia social  |
| 71           | Servicios de esparcimiento, culturales y deportivos, y otros servicios recreativos |
| 72           | Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas          |
| 81           | Otros servicios excepto actividades del gobierno                                   |
| 91/92/93     | Actividades del gobierno   |

industrial estándar empleados por cada país. Pese a algunas diferencias entre los tres países en cuanto a los códigos y las categorizaciones de los subsectores, el desagregado de los sectores industriales en categorías generales es el mismo en toda la región (véase el recuadro).

Para obtener más información sobre el uso del código SCIAN en cada país en particular, consúltese:

- Canadá: <[www.statcan.gc.ca/subjects-sujets/standardnorme/naics-scian/2007/list-liste-eng.htm](http://www.statcan.gc.ca/subjects-sujets/standardnorme/naics-scian/2007/list-liste-eng.htm)>.
- Estados Unidos: <[www.census.gov/cgi-bin/sssd/naics/naicsrch?chart=2007](http://www.census.gov/cgi-bin/sssd/naics/naicsrch?chart=2007)>.
- México: <[www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/censos/scian2007\\_1.pdf](http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/metodologias/censos/scian2007_1.pdf)>

Los requisitos de registro de los RETC se basan en parte en la actividad industrial que se realiza en una instalación y no únicamente en el código industrial asignado a ésta. Por tal razón, no todas las instalaciones de un sector determinado están necesariamente obligadas a presentar registros. Por ejemplo, en el sector económico que comprende el lavado en seco deben presentar informes únicamente las instalaciones que efectúan el proceso mismo de lavado y no los puntos de recepción y entrega de la ropa. Otro ejemplo es el de una planta de procesamiento de alimentos, que deberá presentar registros si posee su propia planta de generación eléctrica.

### Umbrales de empleo

Tanto el NPRI como el TRI disponen de un umbral de empleo que, en general, corresponde al equivalente de diez empleados de tiempo completo (con excepciones para algunos contaminantes o cierto tipo de instalación). El RETC de México no cuenta con umbral de registro por número de trabajadores. En los sitios web de los tres RETC nacionales se dispone de información adicional con indicaciones sobre la presentación de registros (véanse las referencias citadas anteriormente).

### Terminología de *En balance*

*En balance* emplea las categorías siguientes para presentar información sobre los contaminantes emitidos y transferidos (véase el cuadro A-1).

Las *emisiones y disposición en sitio* ocurren en los propios establecimientos industriales, e incluyen:

- Emisiones al aire
- Descargas en un cuerpo de agua superficial
- Emisiones por inyección subterránea
- Emisiones o eliminación en el suelo

La *eliminación o disposición final fuera de sitio* corresponde al envío de contaminantes a instalaciones fuera de sitio para su disposición final.

Las *transferencias para reciclaje* corresponden a las sustancias que se envían fuera de sitio para su reciclaje.

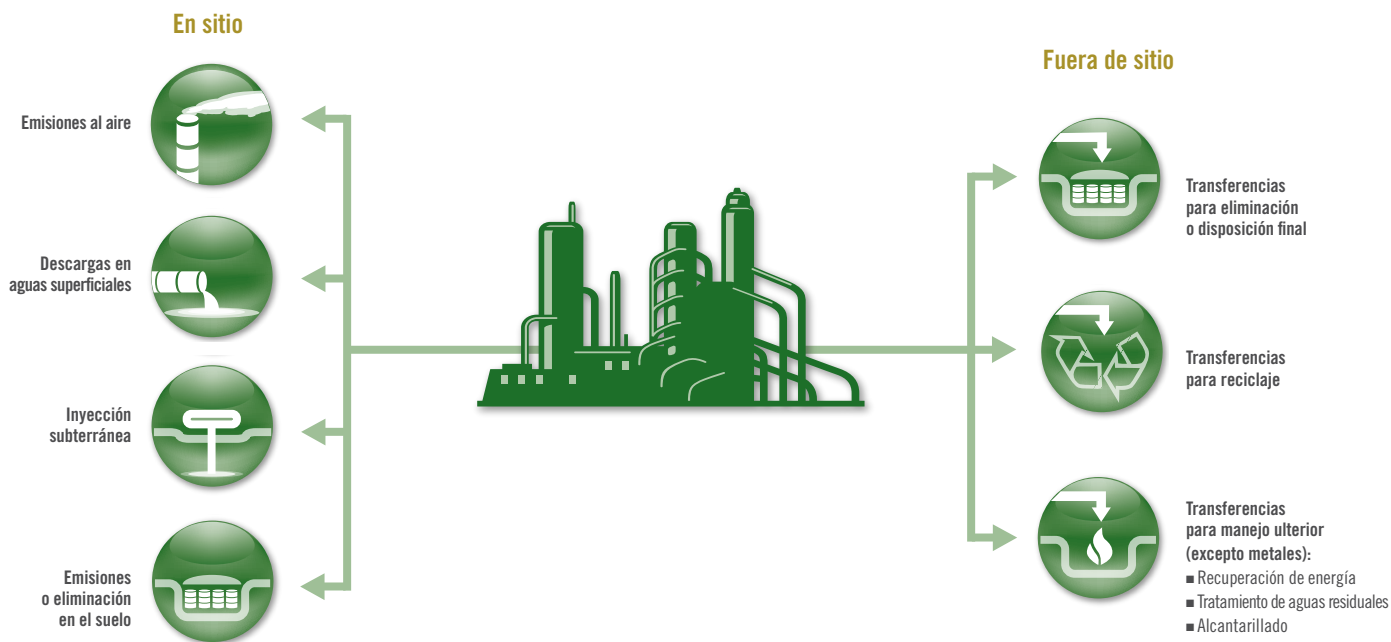
Las *transferencias para manejo ulterior* incluyen los contaminantes (excepto metales)\* enviados a instalaciones fuera de sitio para tratamiento o recuperación de energía, o bien descargados al alcantarillado.

\* *Nota sobre los metales:* Las cantidades reportadas de metales que se transfieren fuera de sitio para tratamiento o recuperación de energía, o que se descargan al alcantarillado, se incluyen en la categoría *eliminación o disposición final fuera de sitio*, ya que estos metales pueden captarse y separarse del resto de los residuos para su disposición en rellenos sanitarios u otros métodos de disposición final. Este enfoque reconoce la naturaleza física de los metales y el hecho de que éstos no se destruyen al ser sometidos a procesos de tratamiento.

*Nota:* Puesto que esta terminología es específica de *En balance*, los términos "emisiones" y "transferencias", según se definen aquí, pueden diferir del uso o sentido que adoptan en los informes NPRI, TRI y RETC.

Gráfica A-1. **Emisiones y transferencias de contaminantes en América del Norte**

Las plantas industriales registran cada año las cantidades de sustancias químicas enlistadas que emiten o eliminan en sitio, así como sus transferencias fuera de sitio



### Limitaciones de los datos RETC

Debido a los requisitos de registro de los RETC nacionales, que incluyen umbrales de registro tanto para los contaminantes como para las instalaciones, *En balance* captura sólo una fracción de toda la contaminación industrial de América del Norte, además de que las plantas industriales no son las únicas fuentes de contaminación en la región.

Los datos de los RETC de América del Norte no proporcionan información sobre:

- *Todas las sustancias potencialmente dañinas.* Los datos proporcionan información únicamente sobre aquellos contaminantes que se registran en cada uno de los RETC.
- *Todas las fuentes de contaminantes.* El informe incluye sólo las plantas de los sectores industriales nacionales o de actividades industriales particulares sujetas al requisito de registro en cada programa nacional. Los RETC de América del Norte no incluyen las emisiones de automóviles u otras fuentes móviles, ni tampoco de fuentes naturales —como incendios forestales— o de fuentes agrícolas, que pueden contribuir en una proporción elevada a las cantidades totales de ciertos contaminantes.
- *Emisiones y transferencias de todos los contaminantes de una planta industrial.* Sólo se incluyen los contaminantes que cumplen los umbrales de registro.

- *Todas las plantas de los sectores industriales sujetos a registro.* En Canadá y Estados Unidos únicamente las instalaciones con el equivalente de diez o más empleados de tiempo completo deben presentar registros (salvo algunas excepciones). En México no existe el umbral de empleo.
- *Los destinos ambientales o los riesgos* de los contaminantes emitidos o transferidos.
- *Los niveles de exposición* a los contaminantes a que están sujetas las poblaciones humanas o los ecosistemas.
- *Los límites legales* establecidos para los contaminantes que las plantas industriales emiten o transfieren. Los datos no indican si una instalación cumple con las licencias y otros reglamentos pertinentes.

### Registro de contaminantes atmosféricos de criterio y gases de efecto invernadero

- Los datos sobre los contaminantes atmosféricos de criterio (CAC) y los gases de efecto invernadero (GEI) no están incluidos en el informe *En balance* debido a las diferencias en los requisitos de registro nacionales correspondientes a tales contaminantes. Los CAC —incluido el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas, óxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles— son un grupo de sustancias químicas asociadas con efectos ambientales como el smog, la lluvia ácida y la neblina regional, además de efectos en la salud tales como cierto tipo de enfermedades respiratorias. Las fuentes más importantes de CAC son la quema de combustible fósil, la extracción de recursos naturales y diversas actividades manufactureras. Los GEI —objeto del Protocolo de Kioto, en vigor desde 2005— contribuyen al cambio climático al capturar el calor al interior de la atmósfera terrestre. Entre los GEI con volúmenes más elevados se incluyen el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso y tres grupos de gases fluorinados. Algunas de las principales fuentes antropogénicas de GEI son la quema de combustibles fósiles, la deforestación y las actividades agrícolas.

Los CAC se registran en el NPRI de Canadá y los GEI se informan en el *RETC* de México, pero ninguno de esos dos grupos de contaminantes se incluye en los registros del TRI. Sin embargo, hay otras fuentes de información sobre las emisiones de estos contaminantes en los tres países.

### Contaminantes atmosféricos de criterio

- Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes de Canadá (*National Pollutant Release Inventory*): <[www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory.html](http://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/national-pollutant-release-inventory.html)>.
- Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos de Canadá: <[www.ec.gc.ca/pollution/default.asp?lang=En&n=E96450C4-1](http://www.ec.gc.ca/pollution/default.asp?lang=En&n=E96450C4-1)>.
- Inventario Nacional de Emisiones de Estados Unidos (*US National Emissions Inventory*): <[www.epa.gov/air-emissions-inventories/national-emissions-inventory-nei](http://www.epa.gov/air-emissions-inventories/national-emissions-inventory-nei)>.
- Inventario Nacional de Emisiones de México: <[www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/emisiones-80133](http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/emisiones-80133)>.

### Gases de efecto invernadero

- Programas canadienses de inventario y registro de GEI (*Greenhouse Gas Reporting Program* y *National Inventory Report*): <<http://ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=en&n=04>>.
- Programa estadounidense de registro de GEI (*US Greenhouse Gas Reporting Program*): <[www.epa.gov/ghgreporting/](http://www.epa.gov/ghgreporting/)>.
- Datos específicos de las emisiones de GEI registradas por cada establecimiento en el *RETC* mexicano: <<http://apps1.semarnat.gob.mx/retc/index.html>>.



## **Principales contaminantes registrados por el sector minero de América del Norte (2009-2013): resumen de datos sobre emisiones y disposición en sitio, fuentes y efectos potenciales**

Los contaminantes con mayores registros incluidos en los cuadros A-2 y A-3 que se presentan a continuación se seleccionaron y clasificaron con base en información sobre emisiones y transferencias disponible en la base de datos RETC de América del Norte, de la CCA, para los años 2009 a 2013, periodo en que hubo algunos cambios en los requisitos de registro que afectaron las emisiones y transferencias del sector de la minería. En ese lustro, el sector minero informó sobre un total de 93 contaminantes emitidos o transferidos. Las emisiones y transferencias anuales promedio sumaron menos de diez kilogramos de 14 de estas sustancias.

El cálculo de la clasificación y la selección de los principales contaminantes con base en los promedios de cinco años, en lugar de sólo un año, tiene la ventaja de minimizar algunas de las fluctuaciones registradas año con año causadas por el cierre o puesta en marcha de grandes instalaciones o por descargas anómalas en el agua provenientes de derrames u otros eventos poco frecuentes en un año de vida de una mina. Unas cuantas sustancias específicas de una o un número reducido de plantas se excluyeron en esos cinco años de la lista de los contaminantes con registros más elevados (véanse las notas).

Los lineamientos para el agua potable y la protección de la vida acuática de agua dulce en Canadá y Estados Unidos se resumen en el cuadro A-2. Si bien los datos RETC no brindan información sobre los niveles de contaminantes en las aguas corriente abajo de las instalaciones mineras, estos lineamientos constituyen un indicio de los riesgos que representan para el suministro de agua, la salud pública y los ecosistemas acuáticos cuando el contaminante se libera al agua potable. Las directrices sobre ésta son la concentración máxima aceptable con base en consideraciones de salud, a menos que se indique lo contrario. Los lineamientos para la protección de la vida acuática son uno o dos: 1) la concentración máxima por exposición crónica o de largo plazo, y 2) la concentración máxima por exposición aguda o de corto plazo. Cabe destacar que los lineamientos se expresan en microgramos por litro ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ), equivalentes a partes por miles de millones, en tanto que las normas para el agua potable se refieren a unidades 1,000 veces más grandes ( $\text{mg}/\text{l}$ , equivalente a partes por millón).

Cuadro A-2. **Contaminantes con registros más elevados en los RETC (2009-2013) por parte del sector minero: resumen de los datos, las fuentes y los posibles efectos de las emisiones y transferencias**

| Contaminante y clasificación<br>(por promedio de emisiones y transferencias totales en 2009-2013)                       | Emisiones o eliminación en sitio del sector minero (clasificación por promedio en 2009-2013) |      |       | Fuentes relacionadas con la minería   | Efectos potenciales   | Lineamientos sobre calidad del agua  |
|---|--|------|-------|---|---|--|
|   | Aire   | Agua | Suelo |   |   |  |
| <b>Ácido clorhídrico</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 16</b><br><b>Minería: 22</b>  | 3  | –    | 41    | El ácido clorhídrico fue emitido por minas de varias categorías a través de procesos de beneficio. La mayor parte (84%) de las emisiones atmosféricas provinieron de las minas de mineral de oro (que en Estados Unidos no están obligadas a presentar informes). El emitido al aire suele neutralizarse con rapidez cuando entra en contacto con el suelo, aunque puede contaminar las aguas subterráneas. | Concentraciones elevadas de ácido clorhídrico en el aire son tóxicas para los humanos cuando se inhalan. Es muy tóxico para todas las formas de vida y contribuye a la producción de esmog.   | No se aplica (no se le libera en el agua, por lo que se carece de lineamientos al respecto). |
| <b>Ácido fluorhídrico</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 25</b><br><b>Minería: 24</b> | 5  | –    | 30    | Varias fábricas de cerámica en Estados Unidos y dos canadienses de mineral de hierro emitieron ácido fluorhídrico. Los compuestos de flúor se encuentran de manera natural en la naturaleza en niveles bajos.   | El ácido fluorhídrico (hidrógeno combinado con flúor) es un gas que se disuelve en el agua para formar un ácido. Inhalado en niveles altos puede dañar el corazón y los pulmones, e incluso provocar la muerte. En concentraciones o niveles bajos, sus efectos se asocian con irritación de ojos, y la exposición crónica causa daños en los huesos. | No se aplica (no se le libera en el agua, por lo que se carece de lineamientos al respecto). |

| Contaminante y clasificación<br>(por promedio de emisiones y transferencias totales en 2009-2013)                                       | Emisiones o eliminación en sitio del sector minero (clasificación por promedio en 2009-2013) |      |       | Fuentes relacionadas con la minería  | Efectos potenciales   | Lineamientos sobre calidad del agua  |
|---|--|------|-------|--|---|--|
|   | Aire   | Agua | Suelo |  |   |  |
| <b>Ácido nítrico y compuestos nitrados</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 6</b><br><b>Minería: 11</b> | 26   | 1    | 14    | <p>Los explosivos son una fuente de nitratos en las descargas en el agua de las minas. El ácido nítrico y el nitrato fueron descargados en el agua por numerosas instalaciones, principalmente por minas de minerales metálicos y de hierro. La categoría "oro y plata" dio cuenta de 46% de las descargas en el agua. Los compuestos nitrados son comunes en el medio ambiente.</p>   | <p>El ácido nítrico y los compuestos nitrados liberados en el agua se disocian en iones de nitrato. Este último en el agua potable es particularmente tóxico para los niños. El nitrato puede tener una toxicidad directa en la vida acuática (aunque mucho menos que el amoníaco). El nitrato es un nutriente y su enriquecimiento antropogénico en aguas superficiales puede conducir a eutrofización (Health Canada, 2013; CCME, 2012). El ácido nítrico es un riesgo para la salud cuando se emite al aire. Es corrosivo y en concentraciones altas en formas líquidas causa quemaduras.</p>  | <p>La norma para el agua potable: 10 mg/l (como nitrógeno) en Estados Unidos, y 45 mg/l en Canadá cuando se mide como nitrato.</p> <p>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: en Estados Unidos no hay directrices; en Canadá, para el nitrato, 550,000 µg/l en el corto plazo y 13,000 µg/l en el largo plazo.</p> |
| <b>Ácido sulfúrico</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 8</b><br><b>Minería: 21</b>                     | 2  | —    | 61    | <p>El ácido sulfúrico se emitió sólo al aire (no al agua ni al suelo). Las fuentes fueron minas de diversas categorías, pero 60% correspondió a las de minerales de metálica básica en 2013. El ácido sulfúrico es una sustancia química común a varias industrias.</p>  | <p>La inhalación de ácido sulfúrico afecta los dientes y los ojos e irrita el tracto respiratorio. Las emisiones de ácido sulfúrico son una preocupación ambiental porque contribuyen a la acidificación de lagos y arroyos mediante la lluvia ácida.</p>   | <p>No se aplica (no se emite al agua), aunque el agua resulta afectada por la lluvia ácida.</p>  |
| <b>Amoníaco</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 9</b><br><b>Minería: 14</b>                            | 1  | 2    | 17    | <p>El procesamiento mineral de numerosas clases de minería produjo emisiones de amoníaco. En 2013, las emisiones atmosféricas más elevadas de amoníaco provinieron de una mina de vanadio y varias fábricas de cerámica. Las descargas en el agua más abundantes fueron responsabilidad de minerías de minerales metálicos. El amoníaco también se encuentra de manera natural como producto de desecho del metabolismo animal y microbiano.</p> | <p>Las descargas de amoníaco en el agua pueden ser de aguda toxicidad para la vida acuática y tener efectos adversos de largo plazo. Sin embargo, las preocupaciones sobre los efectos en el agua potable se centran más en consideraciones estéticas (sabor y olor) que en cuestiones de salud. La inhalación de humo de amoníaco corrosivo puede causar irritación y quemaduras. El amoníaco puede combinarse con sulfatos y compuestos nitrados para formar partículas de materia fina en la atmósfera (y en este sentido se le considera contaminante atmosférico de criterio). Las emisiones y las descargas de amoníaco en el agua pueden también ser fuente de nutrientes para plantas y bacterias, lo que ocasiona eutrofización.</p> | <p>No hay lineamientos para el agua potable. Las directrices de toxicidad para la vida acuática varían en función del pH y la temperatura (EPA, 2013).</p>   |
| <b>Antimonio*</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 45</b><br><b>Minería: 13</b>                         | 38   | 18   | 13    | <p>El antimonio se registró sobre todo como disposición en relaves y residuos de roca y como descargas en el agua de minas de minerales metálicos, en particular las de oro. El antimonio suele estar presente en el mineral de este último elemento. Es un metaloide que exhibe propiedades similares a las del arsénico y a menudo se presenta junto con éste.</p>   | <p>La exposición al antimonio causa cambios microscópicos en los órganos y tejidos humanos. Hay pruebas de que esta sustancia se bioacumula en organismos acuáticos pero que no se amplifica en las cadenas alimentarias (Dovick <i>et al.</i>, 2016). Hay poca información disponible sobre su toxicidad.</p>  | <p>La norma para el agua potable: 0.006 mg/l en Canadá y Estados Unidos.</p> <p>No se han fijado lineamientos para la protección de la vida acuática debido a falta de información suficiente.</p>   |



| Contaminante y clasificación<br>(por promedio de emisiones y transferencias totales en 2009-2013)                 | Emisiones o eliminación en sitio del sector minero (clasificación por promedio en 2009-2013) |      |       | Fuentes relacionadas con la minería   | Efectos potenciales  | Lineamientos sobre calidad del agua   |
|---|--|------|-------|---|--|---|
|   | Aire   | Agua | Suelo |   |  |   |
| <b>Arsénico*</b><br>CA, EU, MX<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 15</b><br><b>Minería: 5</b> | 17   | 13   | 5     | Una fuente principal se presenta en la disposición en relaves y residuos de roca, sobre todo de las minas de oro. El arsénico aparece de manera natural en roca y suelo y en ocasiones se eleva en el agua en niveles que exceden las normas del agua potable. El arsénico se puede disolver de la roca en condiciones de pH neutral, lo que significa que el arsénico dispuesto en el suelo puede posteriormente entrar al agua independientemente del drenaje ácido de roca.  | El arsénico es un carcinógeno. La exposición de largo plazo entraña riesgos adicionales para la salud (como daños en la piel y males en el sistema circulatorio) y para la reproducción o el desarrollo fetal e infantil. Suele presentarse en compuestos inorgánicos u orgánicos, algunos de los cuales son bioacumulables. El arsénico es de elevada toxicidad para la vida acuática.                                      | <p>La norma para el agua potable: 0.010 mg/l en Canadá y Estados Unidos.</p> <p>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: 340 µg/l toxicidad aguda y 150 µg/l crónica en Estados Unidos; 5 µg/l de largo plazo en Canadá.</p>                      |
| <b>Bario*</b><br>EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 14</b><br><b>Minería: 10</b>           | 32   | 19   | 10    | La disposición de bario en sitio correspondió básicamente a minas de carbón mineral y a algunas metálicas. En 2013, casi todas las emisiones o eliminación de bario en el suelo (95%) obedecieron al desmantelamiento de una plataforma de lixiviación en pilas de una mina de oro en Utah. Las cantidades totales de bario están subestimadas, ya que tal elemento sólo se registra en Estados Unidos.   | El bario en el agua potable puede elevar la presión sanguínea. Las preocupaciones para la salud humana derivadas de las emisiones atmosféricas de dicho elemento se presentan cuando se usan compuestos de bario en sectores como el manufacturero. Dichos compuestos tienen diversos grados de solubilidad en el agua; los compuestos naturales de bario en los yacimientos no son tan solubles como los industriales.      | <p>La norma para el agua potable: 2 mg/l en Estados Unidos; en Canadá no se han establecido lineamientos.</p> <p>No hay normas establecidas para la protección de la vida acuática.</p>   |
| <b>Cadmio*</b><br>CA, EU, MX<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 52</b><br><b>Minería: 18</b>  | 27   | 17   | 23    | El cadmio se liberó al aire sobre todo por las operaciones de extracción de minerales de metales básicos (85% de las emisiones de 2009 a 2013). Las minas de oro y plata también contribuyeron a las emisiones al aire de este contaminante. Si bien un amplio abanico de clases de minería registró descargas en el agua y emisiones o eliminación en el suelo, para ambas categorías el lugar predominante correspondió a extracción de minerales metálicos. El cadmio eliminado en el suelo puede más tarde liberarse al agua, ya que suele ser componente de la escorrentía ácida de los yacimientos mineros. El cadmio se encuentra de manera natural en rocas y suelos. | El cadmio en el agua potable puede dañar los riñones y los huesos de los seres humanos. A diferencia de muchos otros metales, el cadmio no es parte esencial de la dieta de los organismos de agua dulce; además, bloquea la absorción del calcio en los organismos acuáticos, lo que genera deficiencia de este elemento. La toxicidad se ve afectada por la dureza del agua: el cadmio es más tóxico en el agua más suave. | <p>La norma para el agua potable: 0.005 mg/l en Estados Unidos y en Canadá.</p> <p>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: Estados Unidos: 1.8 µg/l toxicidad aguda y 0.72 µg/l crónica; Canadá: 1 µg/l corto plazo y 0.09 µg/l largo plazo.</p> |
| <b>Cianuros</b><br>CA, EU, MX<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 57</b><br><b>Minería: 16</b> | 8  | 14   | 18    | Todas las emisiones de cianuro (y la mayor parte de los registros de éste) provinieron de minas de oro y se relacionan con actividades de beneficio. El cianuro (CN <sup>-</sup> ) se encuentra en compuestos con otras sustancias químicas, como hidrógeno (con el que forma un gas) y el sodio o el potasio (con los que forma sales solubles en agua). El cianuro de hidrógeno emitido al aire es muy estable; le lleva años descomponerse. Los cianuros pueden presentarse también de manera natural.   | Aunque muy pequeñas cantidades de cianuro forman parte de la dieta humana (vitamina B12), el cianuro es un veneno de acción rápida para los humanos si se inhala o ingiere. La exposición a largo plazo en niveles bajos causa problemas de salud: daño a la tiroides y cerebral. El cianuro tiene una elevada toxicidad aguda y crónica para la vida acuática.  | <p>La norma para el agua potable: 0.2 mg/l en Estados Unidos y Canadá.</p> <p>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: 22 µg/l toxicidad aguda y 5.2 µg/l crónica en Estados Unidos; 5 µg/l de largo plazo en Canadá.</p>                         |

| Contaminante y clasificación<br>(por promedio de emisiones y transferencias totales en 2009-2013)               | Emisiones o eliminación en sitio del sector minero (clasificación por promedio en 2009-2013) |      |       | Fuentes relacionadas con la minería   | Efectos potenciales   | Lineamientos sobre calidad del agua  |
|---|--|------|-------|---|---|--|
|   | Aire   | Agua | Suelo |   |   |  |
| <b>Cobalto*</b><br>CA, US<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 33</b><br><b>Minería: 12</b>   | 29   | 15   | 11    | Varias clases de minas informaron sobre emisiones de cobalto a todos los medios, con 84% de las emisiones al aire (2009-2013) de minas de minerales de metales básicos y 69% de las descargas en el agua de minas de oro y plata. Sobre emisiones o eliminación de este elemento en el suelo informó una amplia gama de minas metálicas y no metálicas. El cobalto se encuentra de manera natural en rocas y suelos.  | El cobalto es beneficioso para la salud al ser elemento constitutivo de la vitamina B12, pero la exposición a niveles altos puede afectar los pulmones y el corazón y causar problemas en la piel de los seres humanos. El cobalto tiene toxicidad aguda y crónica en la vida acuática, pero hay indicios de que no se bioacumula de manera importante en los tejidos de los peces (Gobierno de Australia, 2014; EC, 2013a). La toxicidad varía en función de la dureza del agua (Pourkhabbaz <i>et al.</i> , 2011).  | No hay lineamientos respecto del cobalto en la calidad del agua en Canadá y Estados Unidos debido a la falta de datos suficientes.   |
| <b>Cobre*</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 5</b><br><b>Minería: 4</b>       | 7  | 10   | 4     | El cobre es un elemento constitutivo común en las emisiones al aire y al suelo (en relaves y residuos de roca) de las minas de minerales metálicos, sobre todo la metálica básica. El cobre se presenta de manera natural en las rocas, el suelo y el agua. A menudo es parte integral del drenaje ácido de roca y, cuando se le elimina en el suelo, puede luego incorporarse al agua.   | El cobre es un nutriente necesario en bajos niveles, pero en grados altos puede ser nocivo para la salud humana: dañar el hígado y los riñones. El cobre en el agua potable afecta el sabor de ésta y mancha la ropa. También es esencial para las plantas y los animales, pero en ciertas formas químicas es sumamente tóxico para la vida acuática. Las características de la calidad del agua, como su pH, dureza y cantidad disuelta en materia orgánica, afectan de manera considerable su toxicidad.  | La norma para el agua potable se basa en criterios estéticos: 1.3 mg/l en Estados Unidos y 1.0 en Canadá.<br><br>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: los de Estados Unidos se calculan con base en qué tan disponible estaría el cobre para la vida acuática; en Canadá, las normas varían según la dureza del agua. Si se desconoce la dureza, la norma de largo plazo es de 2 µg/l. |
| <b>Cromo*</b><br>CA, EU, MX<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 13</b><br><b>Minería: 8</b>  | 23   | 16   | 8     | Si bien las cantidades varían mucho año con año, el cromo fue un elemento común que las minas de minerales metálicos registraron en las emisiones o eliminación mediante relaves y roca residual. El cromo se presenta de manera natural en rocas y suelo.  | En niveles altos, todas las formas químicas del cromo pueden ser tóxicas para los humanos. Los niveles bajos pueden causar reacciones alérgicas, como asma e irritaciones en la piel. El cromo es tóxico para la vida acuática, aunque la toxicidad varía considerablemente según su forma química. Gran parte del cromo que se incorpora al agua permanece enlazado con partículas de sedimento. Los compuestos de cromo hexavalente (Cr6+), que no suelen estar asociados a la minería, tienen la toxicidad más elevada y se bioacumulan en el tejido de los peces. | La norma para el agua potable: 0.1 mg/l en Estados Unidos y 0.05 en Canadá.<br><br>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: 570 µg/l toxicidad aguda y 74 µg/l crónica en Estados Unidos; en Canadá los lineamientos son específicos para la forma química del cromo.  |
| <b>Fósforo (total)</b><br>CA<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 11</b><br><b>Minería: 6</b> | 16   | 8    | 6     | Minas de diversas categorías registraron emisiones al agua y emisiones y eliminación en el suelo de fósforo. Las minas de carbón mineral dieron cuenta de 93% de las descargas al agua en 2013. La única mina de roca fosfatada que declaró ese año fue responsable de 82% de las emisiones de fósforo al aire. Los niveles de emisiones y transferencias de fósforo estarán subestimados, ya que este elemento sólo se registra en Canadá. El fósforo se presenta de manera natural en rocas y suelos. | El fósforo es un nutriente y puede conducir a eutrofización, condición que modifica los ecosistemas acuáticos de tal modo que resultan afectados el uso del agua, la calidad del agua potable y la vida acuática. El fósforo tiene toxicidad directa sólo en niveles muy elevados. Todas las formas de fósforo se deben registrar en Canadá porque ese elemento puede entrar al agua luego de ser emitido al aire o por lixiviación en los yacimientos, y transformarse en formas químicas que propician el crecimiento biológico (EC, 2013b).                        | No hay lineamientos específicos para el agua potable.<br><br>Tanto en Canadá como en Estados Unidos hay marcos de referencia para la adición de nutrientes (incluido el fósforo) a los cuerpos de agua dulce (CCME, 2004; EPA, 2016b).   |

| Contaminante y clasificación (por promedio de emisiones y transferencias totales en 2009-2013)                     | Emisiones o eliminación en sitio del sector minero (clasificación por promedio en 2009-2013) |      |       | Fuentes relacionadas con la minería  | Efectos potenciales   | Lineamientos sobre calidad del agua   |
|--|--|------|-------|--|---|---|
|  | Aire   | Agua | Suelo |  |   |   |
| <b>Manganeso*</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 4</b><br><b>Minería: 3</b>      | 9  | 3    | 3     | Las mayores cantidades de manganeso emitidas a todos los medios provinieron de la extracción de mineral de hierro, que dio cuenta de 58, 50 y 57 por ciento, de las emisiones al aire, el agua y el suelo, respectivamente, en 2013. Como en Estados Unidos el sector de la minería de hierro está exento de presentar registros, las emisiones y transferencias de manganeso aparecerán subestimadas.   | El manganeso es un elemento esencial en la dieta humana. La exposición ocupacional al polvo y al humo entraña graves riesgos de salud, como irritación de los pulmones y efectos en la reproducción. El manganeso es también elemento esencial para plantas, animales y bacterias, pero algunos de sus compuestos pueden tener toxicidad moderadamente aguda y moderadamente crónica para la vida acuática.   | La norma para el agua potable: 5 mg/l en Estados Unidos y Canadá con base en el sabor y el manchado durante el lavado.<br><br>No hay lineamientos para la protección de la vida acuática.   |
| <b>Mercurio*</b><br>CA, EU, MX<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 69</b><br><b>Minería: 15</b> | 28   | 25   | 15    | El mercurio se presenta de manera natural en rocas y suelos, pero cantidades significativas también entran a los ecosistemas mediante fuentes antropogénicas. Las emisiones de mercurio al aire provinieron de las operaciones de minería de oro, plata, metálica básica y hierro, pero sistemáticamente cerca de 80% correspondió a las operaciones de extracción de mineral de oro. Varias clases de minería registraron descargas en el agua y emisiones o eliminación en el suelo, con marcadas variaciones de un año a otro. El mercurio inorgánico puede transformarse en metilmercurio mediante procesos químicos y biológicos. El metilmercurio, variante sumamente tóxica, se acumula en la biota acuática. | La exposición a todas las formas de mercurio causa daño cerebral y otras clases de males en el sistema nervioso y los riñones. Los niños pequeños y los fetos en desarrollo son más sensibles que los adultos. Tanto las formas inorgánicas como el metilmercurio son tóxicas para las plantas y animales acuáticos, con una gama de efectos que incluyen males reproductivos y bajo crecimiento. El metilmercurio se concentra a través de la cadena alimentaria, por lo que incluso cuando se encuentra en bajas cantidades en el agua, puede tornarse elevado en los peces y exceder los niveles para el consumo de pescado. | La norma para el agua potable: 0.002 mg/l en Estados Unidos y 0.001 en Canadá.<br><br>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: 1.4 µg/l toxicidad aguda y 0.77 µg/l crónica para el metilmercurio en Estados Unidos; 0.026 µg/l en el largo plazo para el mercurio inorgánico y 0.004 µg/l en el largo plazo para el metilmercurio en Canadá. |
| <b>Metanol</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 7</b><br><b>Minería: 19</b>        | 6  | 23   | 22    | Las emisiones correspondieron a unas cuantas clases de instalaciones, incluidas fábricas de potasa y de cerámica. Una mina de plomo-zinc de Alaska dio cuenta de 86% de las emisiones de metanol en 2013. Se trató de emisiones fugitivas de operaciones de cantera que reflejan el uso del metanol en el invierno como anticongelante en el agua para el control del polvo (Northwest Arctic Borough, 2009).  | El metanol en el aire irrita los ojos, la nariz y la garganta. La exposición por cualquier ruta puede provocar una multitud de males, incluidos daños en los pulmones, ceguera y muerte. El metanol emitido al aire recorre grandes distancias y finalmente se descompone o entra en el agua. La exposición de largo plazo puede afectar la fertilidad de la biota acuática. El metanol no se acumula en los peces.   | No hay lineamientos de calidad del agua en Estados Unidos o Canadá.   |
| <b>Níquel*</b><br>CA, EU, MX<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 12</b><br><b>Minería: 7</b>    | 13   | 7    | 7     | Se descargó en el agua y se dispuso en relaves y residuos de roca en numerosas instalaciones mineras, sobre todo de minerales de metales básicos, carbón y hierro. En 2013, cinco minas canadienses dieron cuenta de 62% de las descargas de níquel en el agua y 64% de las emisiones o eliminación en el suelo. El níquel eliminado en el suelo puede más tarde entrar al agua como un compuesto de la escorrentía ácida de los yacimientos mineros. El níquel se presenta de manera natural en rocas y suelo.  | El níquel puede causar reacciones alérgicas en los seres humanos mediante el contacto con la piel, inhalación o ingestión. Los riesgos ocupacionales de una elevada exposición incluyen cáncer. La toxicidad del níquel para los organismos acuáticos varía según la dureza del agua; es más tóxico en el agua suave o blanda.  | No hay lineamientos para el agua potable.<br><br>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: 470 µg/l toxicidad aguda y 52 µg/l crónica en Estados Unidos; en Canadá los lineamientos varían según la dureza del agua. Si ésta se desconoce, el lineamiento de largo plazo es de 25 µg/l.  |

| Contaminante y clasificación<br>(por promedio de emisiones y transferencias totales en 2009-2013)             | Emisiones o eliminación en sitio del sector minero (clasificación por promedio en 2009-2013) |      |       | Fuentes relacionadas con la minería  | Efectos potenciales  | Lineamientos sobre calidad del agua   |
|---|--|------|-------|--|--|---|
|   | Aire   | Agua | Suelo |  |  |   |
| <b>Plata*</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 80</b><br><b>Minería: 23</b>   | 41   | 20   | 25    | Las minas de minerales de oro, plata y metales básicos emitieron y dispusieron plata. La plata se presenta de manera natural en roca, pero no es abundante y ello se refleja en las relativamente pocas instalaciones que registraron emisiones y transferencias de ella.  | La exposición crónica a niveles altos de plata produce decoloración de la piel en los seres humanos. La plata no es un nutriente esencial. Se acumula en las algas, animales filtradores y algunos peces. Se puede acumular en niveles altos en la biota, pero según la forma puede no tener efectos adversos. Puede ser muy tóxica cuando se ingiere por branquias.                                   | No hay lineamiento para el agua potable (pues ésta contribuye con sólo una pequeña cantidad de la ingesta diaria de plata).<br><br>Lineamientos para la protección de la vida acuática: 3.2 µg/l toxicidad aguda, Estados Unidos; 0.25 µg/l en el largo plazo en Canadá.  |
| <b>Plomo*</b><br>CA, EU, MX<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 2</b><br><b>Minería: 2</b> | 10   | 11   | 2     | Se dispone en relaves y roca residual y se emite al aire y el agua por casi todas las clases de minas, pero sobre todo las de metales básicos. El plomo dispuesto en el suelo puede más tarde liberarse al agua, ya que es un componente frecuente del drenaje ácido de roca. El plomo se presenta de manera natural en rocas y suelo.   | La exposición al plomo provoca daños en el desarrollo físico, mental y de la conducta en bebés y niños. La exposición puede perjudicar los riñones y elevar la presión sanguínea de los adultos. Es de alta toxicidad para peces e invertebrados acuáticos, y en niveles bajos afecta la capacidad de supervivencia y la reproducción.   | La norma para el agua potable: 0.015 mg/l en Estados Unidos (nivel de intervención para las técnicas de tratamiento), y 0.010 en Canadá.<br><br>Lineamientos para la protección de la vida acuática: en Estados Unidos, 65 µg/l toxicidad aguda y 2.5 crónica. En Canadá los lineamientos varían según la dureza del agua: si ésta se desconoce el lineamiento de largo plazo es de 1 µg/l. |
| <b>Selenio*</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 70</b><br><b>Minería: 17</b> | 31   | 9    | 19    | Las emisiones de selenio al agua en 2013 fueron responsabilidad sobre todo (85%) de minas de carbón mineral. Las minas dentro de las categorías de minerales metálicos también descargaron selenio al agua y dieron cuenta de la mayor parte (95%) de la disposición en sitio de la minería. El selenio se presenta de manera natural y a menudo está asociado con yacimientos de minerales sulfurados o sulfosales. | La exposición al selenio puede conducir a la pérdida de pelo y uñas y problemas circulatorios en los seres humanos. El selenio es un nutriente esencial de los animales en niveles bajos, pero es de una toxicidad muy alta para la vida acuática y causa males reproductivos. Al ser bioacumulativo en la cadena alimentaria, el selenio constituye un riesgo sobre todo para los peces depredadores. | La norma para el agua potable: 0.05 mg/l en Estados Unidos y Canadá.<br><br>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: en Estados Unidos, 1.5 µg/l en arroyos por exposición crónica más lineamientos para el selenio en los tejidos animales (EPA, 2016a); en Canadá, 1 µg/l en el largo plazo.  |
| <b>Talio* †</b><br>EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 86</b><br><b>Minería: 20</b>     | 46   | 24   | 20    | El talio es raro pero extendido y puede estar presente en minerales metálicos sulfurados y el carbón. Se registró sobre todo por una mina de cobre y varias de oro. Las emisiones y transferencias de talio pueden estar subestimadas, ya que ese elemento se registra sólo en Estados Unidos.   | La exposición al talio puede causar daños en el hígado, alteraciones en la sangre, los riñones y los intestinos y pérdida de pelo en los humanos. El talio se bioacumula en organismos acuáticos y puede ser tóxico para los peces, invertebrados y plantas acuáticas.   | La norma para el agua potable: 0.002 mg/l en Estados Unidos; en Canadá no existen lineamientos.<br><br>Los lineamientos para la protección de la vida acuática: en Estados Unidos no hay; en Canadá la toxicidad es 0.8 µg/l en el largo plazo.   |

| Contaminante y clasificación<br>(por promedio de emisiones y transferencias totales en 2009-2013)            | Emisiones o eliminación en sitio del sector minero (clasificación por promedio en 2009-2013) |      |       | Fuentes relacionadas con la minería  | Efectos potenciales   | Lineamientos sobre calidad del agua  |
|--|--|------|-------|--|---|--|
|  | Aire   | Agua | Suelo |  |   |  |
| <b>Vanadio*</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 20</b><br><b>Minería: 9</b> | 24   | 4    | 9     | La mayor parte de las emisiones de vanadio al aire y el agua en el periodo 2009-2013 correspondieron a una mina estadounidense de ese mineral, en tanto que numerosas minas metálicas, no metálicas y de carbón registraron la eliminación o disposición del elemento en sitio. Aunque no es abundante, el vanadio se presenta de manera natural en las rocas y el suelo.  | La exposición a niveles altos de ciertas formas de vanadio en el aire puede resultar en daños pulmonares en los seres humanos. Los efectos conocidos del vanadio en los medios acuáticos incluyen fotosíntesis disminuida de algas y reducción del crecimiento y respuesta alimentaria en los peces (Costigan <i>et al.</i> , 2001).  | No hay normas para el vanadio en relación con la calidad del agua  |
| <b>Zinc*</b><br>CA, EU<br><br><b>Clasificación:</b><br><b>Todos los sectores: 1</b><br><b>Minería: 1</b>     | 4  | 5    | 1     | El lugar destacado del zinc en todas las categorías de emisiones y transferencias refleja su abundancia natural en el medio ambiente. En 2013, 99% de las emisiones atmosféricas, 59% de las descargas en el agua y 98% de las emisiones o eliminación en el suelo de zinc provinieron de minas de oro, plata y metálica básica. Las minas de mineral de hierro y las de carbón también contribuyeron con descargas de zinc en el agua. El zinc eliminado en el suelo puede posteriormente liberarse en el agua, ya que a menudo este elemento forma parte integral de las escorrentías ácidas de los yacimientos mineros. | El zinc es esencial en la dieta humana, pero como la fuente principal son los alimentos, no el agua potable, el zinc elevado en el agua no se considera una preocupación de salud. La inhalación de cierta cantidad de compuestos de zinc puede ser dañina para la salud humana porque afecta los pulmones. El zinc en el agua en altas concentraciones es de aguda letalidad en los peces porque les daña irreversiblemente las branquias. En concentraciones bajas, el zinc bloquea la absorción de calcio, lo que conduce a deficiencias en peces e invertebrados. El zinc tiene también efectos tóxicos en las algas. | La norma para el agua potable: 5 mg/l en Estados Unidos y Canadá con base en el sabor y otras consideraciones estéticas.<br><br>Los lineamientos para la vida acuática: 120 µg/l toxicidad aguda y crónica en Estados Unidos; 30 µg/l en el largo plazo en Canadá. |

Notas: Al hacer interpretaciones de datos RETC de América del Norte es preciso tomar en cuenta las diferencias entre los requisitos de registro nacionales.

“CA” (Canadá, NPRI), “EU” (Estados Unidos, TRI) y “MX” (México, RETC) designan los países en que el contaminante está sujeto a registro.

“\*” significa “y sus compuestos”.

† Se agregó a la lista de sustancias del NPRI en 2014.

Fuentes: Varias series nacionales de información sobre contaminantes (Gobierno de Australia, 2014; SEPA, s.f.; ECCC, 2016; ATSDR, 2016; CCME, 2014a), enriquecidas, como se dijo, con otras referencias. Los lineamientos de la calidad del agua provienen de CCME, 2014b; Health Canada, 2017, y EPA, 2016c y 2017.

Cuadro A-3. Principales contaminantes declarados por el sector minero (en función de sus emisiones o eliminación anuales promedio, 2009-2013)

| Emisiones atmosféricas |             | Descargas en el agua     |             | Emisiones o eliminación en el suelo |             |
|------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|
| Contaminante           | % del total | Contaminante             | % del total | Contaminante                        | % del total |
| Amoniaco               | 34%         | Ácido nítrico y nitratos | 66%         | Zinc*                               | 24%         |
| Ácido sulfúrico        | 17%         | Amoniaco                 | 22%         | Plomo*                              | 22%         |
| Ácido clorhídrico      | 15%         | Manganeso*               | 4%          | Manganeso*                          | 20%         |
| Zinc*                  | 8%          | Vanadio*                 | 2%          | Cobre*                              | 9%          |
| Ácido fluorhídrico     | 5%          | Zinc*                    | 1%          | Arsénico*                           | 8%          |
| Metanol                | 4%          | Níquel*                  | 1%          | Fósforo (total)                     | 8%          |
| Cobre*                 | 2%          | Fósforo (total)          | 1%          | Níquel*                             | 3%          |
| Cianuros               | 2%          | Selenio*                 | 0.3%        | Cromo*                              | 2%          |
| Manganeso*             | 2%          | Cobre*                   | 0.3%        | Vanadio*                            | 1%          |
| Plomo*                 | 1%          | Plomo*                   | 0.3%        | Bario*                              | 1%          |

\*" significa "y sus compuestos".

Contaminantes adicionales que se deben tener en cuenta (emitidos o eliminados en volúmenes significativos, pero que no están incluidos en los cuadros A-2 y A-3 porque son específicos de una o un número reducido de instalaciones):

#### Aire:

- El **aluminio (humo o polvo)** constituyó 2% de las emisiones atmosféricas totales (2009-2013), pero todas las emisiones de este elemento provinieron tan sólo de dos instalaciones canadienses: una mina de mineral de hierro y otra de oro. El elevado promedio anual es atribuible a una emisión al aire anómalamente alta de la mina de oro en 2010.
- El **disulfuro de carbono** representó 3% de las emisiones atmosféricas totales (2009-2013), proveniente de sólo tres instalaciones mineras y de procesamiento de metales de Canadá. Es probable que las emisiones de esta sustancia tengan que ver con fundidoras localizadas en las minas (véase la nota relativa al azufre reducido total en el apartado 3.1, sobre metodología).
- El **cloro** conformó 0.6% de las emisiones atmosféricas totales, proveniente sobre todo de una instalación minera y de fundición de níquel canadiense.

#### Agua:

- El **flúor** representó 1% de las emisiones al agua totales (2009-2013), pero en 2013 se le asoció con sólo una instalación: una mina de niobio, en donde el flúor es un elemento constitutivo del yacimiento mineral (Clow *et al.*, 2011).

#### Suelo:

- El **óxido de aluminio (formas fibrosas)** se depositó en grandes cantidades en sitio, por una mina de níquel de Canadá en 2009 y 2010; consecuentemente, esta sustancia representó 1% de las emisiones o eliminación en el suelo, en sitio, para el periodo (2009-2013).

## Referencias

- ATSDR (2016), “Toxic substances portal: Toxicological profiles and ToxFAQs”, Agency for Toxic Substances and Disease Registry [Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades de Estados Unidos], en: <[www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp)> (consulta realizada el 15 de octubre de 2016).
- CCME (2004), “Phosphorus: Canadian Guidance Framework for the Management of Freshwater Systems”, *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, Canadian Council of Ministers of the Environment [Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente], ISBN: 1-896997-34-1; disponible en: <<http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/205>>.
- CCME (2012), “Nitrate ion: Canadian guidance framework for the management of freshwater systems”, *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life*, Canadian Council of Ministers of the Environment [Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente], ISBN: 1-896997-34-1; disponible en: <<http://ceqg-rcqe.ccme.ca/download/en/197>>.
- CCME (2014a), “Canadian environmental quality guidelines (factsheets)” [Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente], en: <[www.ccme.ca/en/resources/canadian\\_environmental\\_quality\\_guidelines/](http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/)> (consulta realizada el 1 de febrero de 2017).
- CCME (2014b), “Water quality guidelines for the protection of aquatic life”, cuadro de resumen, Canadian Council of Ministers of the Environment [Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente]; archivo pdf disponible en: <<http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>>.
- Clow, G. G., B. Salmon, M. Lavigne, B. Mcdonough, P. Pelletier y D. Vallières (2011), *Technical report on expansion options at the Niobec Mine, Quebec, Canada*, Roscoe Postle Associates Inc., para Iam Gold Corporation.
- Costigan, M., R. Cary y S. Dobson (2001), *Vanadium pentoxide and other inorganic vanadium compounds*, *World Health Organization, Concise International Chemical Assessment Document 29*, United Nations Environment Programme [Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente], International Labour Organization [Organización Internacional del Trabajo] y World Health Organization [Organización Mundial de la Salud]; disponible en: <<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42365/1/9241530294.pdf>>.
- Dovick, M. A., T. R. Kulp, R. S. Arkle y D. S. Pilliod (2016), Bioaccumulation trends of arsenic and antimony in a freshwater ecosystem affected by mine drainage, *Environmental Chemistry*, vol. 13, núm. 1, pp. 149-159.
- EC (2013a), *Canadian Environmental Protection Act, 1999-Federal Environmental Quality Guidelines- Cobalt*, Environment Canada [ministerio de Medio Ambiente de Canadá]; disponible en: <[www.ec.gc.ca/ese-ees/92F47C5D-24F5-4601-AEC0-390514B3ED75/FEQG\\_Cobalt\\_EN.pdf](http://www.ec.gc.ca/ese-ees/92F47C5D-24F5-4601-AEC0-390514B3ED75/FEQG_Cobalt_EN.pdf)>.
- EC (2013b), “Phosphorus guide to reporting”, Environment Canada [ministerio de Medio Ambiente de Canadá], en: <[www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=46C694F1-1](http://www.ec.gc.ca/inrp-npri/default.asp?lang=En&n=46C694F1-1)> (consulta realizada el 17 de agosto de 2016).
- ECCC (2016), “Substances (managed under CEPA 1999 Schedule 1)”, Environment and Climate Change Canada, ECCC [ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá], en: <[www.ec.gc.ca/toxiques-toxics/default.asp?lang=En&n=6B9B6B28-1](http://www.ec.gc.ca/toxiques-toxics/default.asp?lang=En&n=6B9B6B28-1)> (consulta realizada el 7 de octubre de 2016).
- EPA (2013), *Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia—freshwater*, EPA-822-R-13-001, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/aquatic-life-ambient-water-quality-criteria-for-ammonia-freshwater-2013.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/aquatic-life-ambient-water-quality-criteria-for-ammonia-freshwater-2013.pdf)>, ISBN: EPA-822-R-13-001.
- EPA (2016a), *Aquatic life ambient water quality criterion for selenium in freshwater 2016—fact sheet*. US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/se\\_2016\\_fact\\_sheet\\_final.pdf](http://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/se_2016_fact_sheet_final.pdf)>.
- EPA (2016b), “Ecoregional criteria”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], en: <[www.epa.gov/nutrient-policy-data/ecoregional-criteria](http://www.epa.gov/nutrient-policy-data/ecoregional-criteria)>.

- EPA (2016c), “National primary drinking water regulations and national secondary drinking water regulation”, US Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <[www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulation-table](http://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulation-table)>.
- EPA (2017), “National recommended water quality criteria - aquatic life criteria table”, en: <[www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table#table](http://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table#table)>.
- Gobierno de Australia (2014), “Substance fact sheets”, *Australian National Pollutant Inventory*, en: <[www.npi.gov.au/substances/fact-sheets](http://www.npi.gov.au/substances/fact-sheets)> (consulta realizada el 15 de octubre de 2016).
- Health Canada (2013), “Guidelines for Canadian drinking water quality: Guideline technical document - nitrate and nitrite”; disponible en: <[www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-nitrate-nitrite-eau/alt/water-nitrate-nitrite-eau-eng.pdf](http://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy-canadians/publications/healthy-living-vie-saine/water-nitrate-nitrite-eau/alt/water-nitrate-nitrite-eau-eng.pdf)> (consulta realizada el 20 de octubre de 2016).
- Health Canada (2017), *Guidelines for Canadian drinking water quality - summary table*, Ottawa: Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada [ministerio de Salud de Canadá]; disponible en: <[https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt\\_formats/pdf/pubs/water-eau/sum\\_guide-res\\_recom/sum\\_guide-res\\_recom-eng.pdf](https://www.canada.ca/content/dam/hc-sc/migration/hc-sc/ewh-semt/alt_formats/pdf/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/sum_guide-res_recom-eng.pdf)>.
- Northwest Arctic Borough (2009), Title 9 master plan permit no: 107-03-10 (permiso emitido a favor de Teck Alaska, Inc.).
- Pourkhabbaz, A., T. Khazaei, S. Behraves, M. Ebrahimpour y H. Pourkhabbaz (2011), “Effect of water hardness on the toxicity of cobalt and nickel to a freshwater fish”, *Capoeta fusca, Biomedical and Environmental Sciences*, vol. 24, núm. 6, pp. 656-660.
- SEPA (s.f.), “Pollutant fact sheets”, *Scottish Pollutant Release Inventory*, Scottish Environment Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Escocia], en: <<http://apps.sepa.org.uk/spripa/Pages/SubstanceSearch.aspx>>.







**Comisión para la Cooperación Ambiental**

393, rue St-Jacques Ouest, bureau 200

Montreal (Quebec)

H2Y 1N9 Canadá

t 514.350.4300 f 514.350.4314

info@cec.org / www.cec.org