

# Futuro de la minería zacatecana y los retos en **capital humano**





**Futuro** de la  
**minería zacatecana**  
y los **retos** en **capital humano**

---

Título: *Futuro de la minería zacatecana y los retos en capital humano*

Coordinadores: José Luis Solleiro Rebolledo y Brenda Figueroa Ramírez.

Autores: Rosario Castañón Ibarra, David Guillén Valencia, Sandra Hernández Chávez, Olivia Mejía Chávez, Sara Ortiz Cantú, Karla Rodríguez Mata y Lesly Solís Mendoza.

Este documento es resultado del proyecto del Fondo Mixto Conacyt-Gobierno de Zacatecas “Estudio Integral de Requerimientos de Capital Humano del Sector Minero” con la clave ZAC-2016-02-273267 ejecutado por Cambiotec, A.C., Oficina de Transferencia de Conocimiento Certificada.

Cuidado de la edición: Norma Solís Mérida

Apoyo en el cuidado de la edición: Eréndira Velázquez Campoverde

Diseño editorial y portada: Angélica Montoya Esquivel

Apoyo en diseño editorial: Donaji Flores Caamaño

CamBioTec A.C.

ISBN: 978-607-96284-7-5

Año de publicación: 2017

Primera Edición

Todos los derechos reservados.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra -incluido el diseño de interiores y portada- sea cual fuera el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento de los autores.

Impreso y hecho en México

## Prólogo

La minería es la principal actividad económica del estado de Zacatecas, pues contribuye con casi un tercio de su producto interno bruto. Por ello, este sector fue calificado como prioritario en la agenda estatal de innovación, a partir del reconocimiento de que la tasa de cambio tecnológico está modificando radicalmente el funcionamiento de esta industria. Efectivamente, la rápida introducción de equipo automatizado, sistemas de monitoreo basados en sensores, protocolos complejos de comunicación e inteligencia artificial y nuevas técnicas para gestión ambiental y seguridad operacional, impone la necesidad de transformar a esta industria.

Uno de los principales desafíos que plantea esta transformación es la formación y capacitación de los recursos humanos de empresas mineras y sus proveedores, pues las competencias requeridas para dominar las nuevas tecnologías son diferentes.

Ante esto, de acuerdo con las áreas de oportunidad identificadas en la agenda estatal, el Gobierno del Estado de Zacatecas, a través del Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación (Cozcyt), lanzó la convocatoria para realizar, en el marco del Fondo Mixto Conacyt-Estado de Zacatecas, el **“Estudio integral de requerimientos de capital humano del sector minero”** cuyo objeto es identificar las necesidades de formación, en función de las tendencias tecnológicas que impactarán los procesos de esta industria a lo largo de su cadena de valor, con una visión prospectiva al 2025.

El estudio es congruente con el Plan Estatal de Desarrollo y con la misión del Cozcyt de Impulsar el desarrollo científico y tecnológico de Zacatecas mediante el estímulo a la investigación y a la creación de redes de vinculación productiva, así como a la difusión y la divulgación de la ciencia y sus aplicaciones, para elevar la cultura científica de la sociedad y favorecer su mejoramiento integral, pues es el resultado de un esfuerzo cooperativo con la industria, representada por el Clúster Minero de Zacatecas (Clusmin) y la academia.

El estudio genera una visión útil para tomar decisiones, pues plantea un escenario futuro basado en la revisión de la literatura científica y tecnológica más reciente. Mediante la definición del perfil actual del personal de las empresas y el diagnóstico de los programas de formación a cargo de las instituciones educativas, se reconocieron los conocimientos que deben ser incorporados y reforzados para que los profesionales y técnicos de la industria lleguen a dominar las nuevas tecnologías que se usarán en 2025. Con base en esto, se elaboraron mapas de ruta y recomendaciones a las instituciones de educación superior y media superior, a la propia industria y al gobierno, para definir estrategias para mejorar los programas y métodos a fin de lograr que la formación de recursos humanos sea pertinente para encarar los desafíos, con una base científica y tecnológica más robusta, y un sentido más práctico.

También han surgido recomendaciones para reforzar las capacidades de investigación a través de la incorporación de especialistas en temas relevantes para el dominio de las nuevas tecnologías, así como de la creación de infraestructura moderna de laboratorios y plantas experimentales.

El Gobierno del Estado de Zacatecas ya ha avanzado en esta dirección. Evidencia de esto es su apoyo a la instalación de centros de investigación para la minería en el parque científico y tecnológico Quantum Ciudad del Conocimiento, el cual abre un espacio para la colaboración público-privada y la vinculación de la industria minera con el sector académico a fin de generar innovaciones que consoliden la competitividad y sustentabilidad de sus actividades.

**Dr. Agustín Enciso Muñoz**  
Director General del Cozcyt



## Contenido

<b>Introducción</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 1. La industria minera actual y los factores impulsores de su evolución</b>	<b>19</b>
Introducción	19
1.1. Producción minera	21
1.1.1. Producción minera en Zacatecas	22
1.2. Producción de minerales metálicos en Zacatecas, México y el mundo	26
1.2.1. Producción de plata	26
1.2.2. Producción de zinc	28
1.2.3. Producción de plomo	30
1.2.4. Producción de cobre	32
1.2.5. Producción de oro	35
1.3. Minerales no metálicos	37
1.4. Empleo en minería en Zacatecas	39
1.5. Inversión en minería en Zacatecas	42
1.6. Exportaciones minero-metalúrgicas de Zacatecas	46
1.7. Importaciones minero-metalúrgicas de México	48
1.8. Balanza comercial minero-metalúrgica	49
1.9. La seguridad en la industria minera	50
1.10. Participación de los proveedores en la industria minera	51
1.11. Régimen fiscal del sector minero	53
1.12. Proyecciones de los principales indicadores mineros en México	55
Conclusiones	59
Referencias	60
<b>Capítulo 2. Principales retos en la cadena de valor</b>	<b>63</b>
Introducción	63
2.1. Capital humano en la cadena de valor	65
2.2. Los retos del sector minero	67
2.3. Escenario futuro de la minería	69
2.3.1. Rentabilidad y productividad	70
2.3.2. Desempeño ambiental para una industria minera sustentable	70
2.3.3. Seguridad	71
2.3.4. Impacto social y responsabilidad empresarial	72
2.3.5. Certidumbre en las políticas públicas	73
Conclusiones	75
Referencias	76
<b>Capítulo 3. Tendencias tecnológicas a lo largo de la cadena de valor</b>	<b>77</b>
Introducción	77
3.1. Prospección/ exploración	80
3.1.1. Nuevas tecnologías aplicadas prospección y exploración	82
3.2. Tecnologías futuras	84
3.2.1. Geología	84
3.2.2. Geofísica	86
3.2.3. Geoquímica	88
3.2.4. Sondeo	89
3.2.5. Teledetección de alta precisión	90

3.3. Explotación	92
3.3.1. Descripción de los subprocesos y tecnologías actuales	92
3.3.2. Tecnologías futuras	99
3.4. Obtención de minerales metálicos	103
3.4.1. Tecnologías utilizadas actualmente	105
3.4.2. Tecnologías futuras	108
3.5. Extracción	114
3.5.1. Descripción de los subprocesos	115
3.5.2. Tecnologías actualmente en uso	117
3.5.3. Tecnologías futuras	119
3.6 Cierre de minas	126
3.6.1. Tecnologías actuales	155
3.6.2. Tecnologías futuras	129
Conclusiones	132
Referencias	134
<b>Capítulo 4. El futuro de las áreas tecnológicas transversales</b>	<b>139</b>
Introducción	139
4.1. El futuro de las áreas tecnológicas transversales	141
4.1.1. Tecnologías de la información y comunicación	141
4.1.2. Gestión ambiental	143
4.1.3. Equipo y maquinaria minera	145
4.2. Requerimientos en los recursos humanos para adoptar las futuras tecnologías transversales	146
4.2.1. Tecnologías de la información y comunicación	147
4.2.2. Gestión ambiental	153
4.3. Equipo y maquinaria minera	158
4.3.1. Formación en RH en equipo y maquinaria a nivel internacional	158
4.3.2. Formación de RH en equipo y maquinaria a nivel nacional	162
4.3.3. Requerimientos de RH para atender las tendencias tecnologías en el área de equipo y maquinaria	168
Conclusiones	170
Anexo 4.1. Tendencias tecnológicas en las TIC identificadas en el estado del arte	171
Anexo 4.2. Tendencias tecnológicas en gestión ambiental identificadas en el estado del arte	174
Anexo 4.3. Tendencias tecnológicas en equipo y maquinaria identificadas en el estado del arte	175
Referencias	179
<b>Capítulo 5. Necesidades de capital humano</b>	<b>181</b>
Introducción	181
5.1. Perfiles educativos requeridos por el sector minero (demanda de capital humano)	180
5.1.1. Prospección/Exploración: prospectiva de los perfiles profesionales	182
5.1.2. Exploración: prospectiva de perfiles profesionales	183
5.1.3. Obtención de minerales: prospectiva de perfiles profesionales	185
5.1.4. Extracción: prospectiva de perfiles profesionales	186
5.1.5. Cierre y rehabilitación: prospectiva de perfiles profesionales	187
5.1.6. Perfiles profesionales requeridos para atender aspectos sociales y de políticas públicas	187
5.2. Prospectiva de los perfiles prioritarios	188
5.3. Diagnóstico de la oferta educativa en el estado de Zacatecas y su zona de influencia	190



5.3.1. Carreras profesionales y técnico superior universitario	190
5.3.2. Carreras técnicas (bachillerato tecnológico)	193
5.4. Síntesis de brechas entre la oferta y demanda de capital humano	195
5.5. Conocimientos técnicos y estrategias al 2025	197
Conclusiones y recomendaciones	198
Anexo 5.1. Instituciones de Educación Superior con programas afines al sector minero en el estado de Zacatecas	202
Anexo 5.2. Matriculados y egresados de carreras profesionales afines al sector minero impartidas en IES del estado de Zacatecas en el ciclo escolar 2015-2016	203
Anexo 5.3. Características de la oferta educativa actual de los perfiles profesionales prioritarios impartidos en Zacatecas y la zona de influencia	205
Anexo 5.4. Oferta educativa de los Sistemas CETis, Conalep y CBTis	208
Anexo 5.5. Carreras técnicas afines al sector minero impartidas en el estado de Zacatecas	209
Anexo 5.6. Características de la oferta educativa actual de los perfiles técnicos prioritarios impartidos en Zacatecas y la zona de influencia	210
Anexo 5.7. Conocimiento técnico y estrategias al 2025	211
Anexo 5.8. Áreas y estrategias de mejora para cada uno de los perfiles profesionales y técnicos	217
Referencias	222
<b>Capítulo 6. Recomendaciones y conclusiones</b>	<b>223</b>
<b>Otras fuentes de información</b>	<b>231</b>



## Acrónimos y abreviaturas

<b>ACM</b>	Association for Computing Machinery
<b>Anuies</b>	Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior
<b>Camimex</b>	Cámara Minera de México
<b>Cicitem</b>	Centro de Investigación Científico Tecnológico de la Minería
<b>Cidec</b>	Centro de Investigación y Documentación sobre problemas de la Economía, el Empleo y las Cualificaciones Profesionales
<b>Cicese</b>	Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada
<b>CBTis</b>	Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios
<b>CETis</b>	Centro de Estudios Tecnológicos Industriales y de Servicios
<b>CMYDC</b>	Consejo Nacional de Innovación y Competitividad
<b>Cochilco</b>	Comisión Chilena del Cobre
<b>Codelco</b>	Corporación Nacional del Cobre, Chile
<b>Conacyt</b>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
<b>Clusmin</b>	Clúster Minero de Zacatecas
<b>Conalep</b>	Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica
<b>Conocer</b>	Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales
<b>Cozyt</b>	Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación
<b>CMIC</b>	Consejo de Innovación Minera de Canadá
<b>Fomix</b>	Fondo Mixto
<b>IED</b>	Inversión extranjera directa
<b>IES</b>	Instituciones de educación superior
<b>IEEE</b>	Institute of Electric and Electronics Engineers
<b>Inadem</b>	Instituto Nacional del Emprendedor
<b>Inegi</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>IPN</b>	Instituto Politécnico Nacional
<b>ITZ</b>	Instituto Tecnológico de Zacatecas
<b>I+D</b>	Investigación y Desarrollo
<b>Norcat</b>	Northern Centre for Advanced Technology
<b>Outotec</b>	Sustainable use of earth's natural resources
<b>PDM</b>	Plan de Desarrollo Municipal
<b>PIB</b>	Producto interno bruto
<b>Recland</b>	Programa Europeo de Maestría en Cambio Climático y Restauración de Áreas Degradadas
<b>SE</b>	Secretaría de Economía
<b>Sezac</b>	Secretaría de Economía de Zacatecas
<b>SGM</b>	Servicio Geológico Mexicano
<b>SIG</b>	Sistemas de información geográfica
<b>STPS</b>	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
<b>TIC</b>	Tecnologías de la información y comunicación
<b>Segob</b>	Secretaría de Gobernación

<b>Semarnat</b>	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>SHCP</b>	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
<b>TMCA</b>	Tasa media de crecimiento anual
<b>TSU</b>	Técnico superior universitario
<b>UAG</b>	Universidad Autónoma de Guadalajara
<b>UAM</b>	Universidad Autónoma Metropolitana
<b>UAZ</b>	Universidad Autónoma de Zacatecas
<b>UCB</b>	Universidad de California en Berkeley
<b>UCLM</b>	Universidad de Castilla-La Mancha
<b>UNAM</b>	Universidad Nacional Autónoma de México
<b>UNSJ</b>	Universidad Nacional de San Juan
<b>UPM</b>	Universidad Politécnica de Madrid
<b>UPZ</b>	Universidad Politécnica de Zacatecas
<b>USACH</b>	Universidad de Santiago de Chile
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>UTEZ</b>	Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas

## Introducción

Esta obra es resultado del proyecto de investigación **“Estudio integral de requerimientos de capital humano del sector minero”**, el cual fue identificado como prioritario en la Agenda Estatal de Innovación de Zacatecas, en virtud de la importancia económica que tiene la minería en el estado y las implicaciones actuales de la intensidad del cambio técnico sobre la formación de personal calificado.

El objetivo del proyecto fue *Identificar los requerimientos de capital humano del sector minero, y programa de formación, con proyección al 2025, en la zona de influencia del clúster minero de Zacatecas con la finalidad de generar políticas públicas y estrategias empresariales orientadas a reforzar la formación de capital humano de tal manera que la industria minera zacatecana asegure su competitividad en el mediano y largo plazo.* A continuación, se explica su justificación, de acuerdo con lo que se estableció en la Agenda de Innovación de Zacatecas.

Los principales países mineros consideran a la minería como un motor para el desarrollo económico, por lo que resulta fundamental contar con políticas públicas específicas que incentiven su crecimiento y desarrollo.

El continente asiático es el principal productor de minerales, con el 58% de la producción mundial. A éste le sigue América del Norte, en donde destaca la participación de México.

Mundialmente, América Latina es el principal destino de las inversiones relacionadas con la exploración minera, con una participación del 25%. México se ubica en primer lugar a nivel subcontinente y cuarto a nivel mundial.

La minería, una actividad económica primaria de gran tradición en México, incluye operaciones de prospección, exploración, extracción, fundición, recuperación y aprovechamiento de minerales. Prácticamente todo el país cuenta con yacimientos mineros. De acuerdo con ProMéxico (2013), México se encuentra dentro de los diez primeros lugares en la producción de diversos minerales, dentro de los que se encuentran: plata, fluorita, bismuto, celestita, wollastonita, sulfato de sodio, plomo, cadmio, molibdeno, diatomita, zinc, yeso, barita, grafito, sal y cobre.

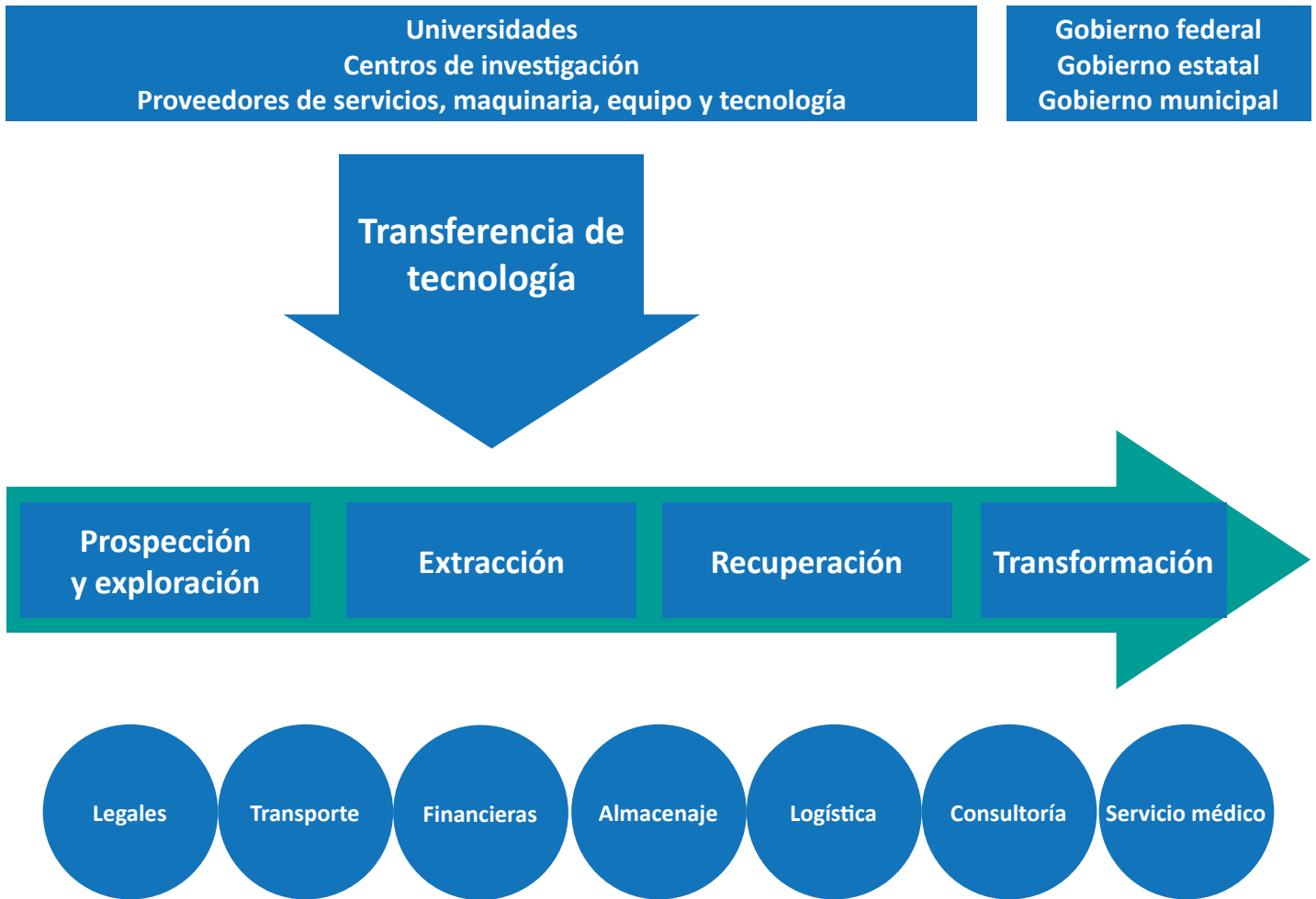
El estado de Zacatecas ha explotado importantes yacimientos minerales desde la época colonial. La minería es la actividad que tiene mayor contribución al PIB estatal. De acuerdo con el Sistema de Administración Minera, Zacatecas ha ocupado el 2º lugar en el valor de la producción minera nacional desde el 2006, sólo superado por Sonora.

En términos tecnológicos, la cadena de valor del sector minero presenta gran complejidad. Ésta involucra, además del tejido productivo, a todos aquellos actores del ecosistema de innovación, los cuales hacen posible el abastecimiento de insumos, equipos, maquinaria, y servicios de logística, de determinación de impacto y recuperación ambiental, médicos y de alimentación, entre otros (véase figura 1). Resulta claro, entonces, que la productividad de cualquier empresa minera depende, en buena medida, de la eficiencia, flexibilidad y capacidades de sus proveedores.

Parte fundamental de la valía de los minerales se asocia a su maleabilidad para convertirlos en productos de mayor valor agregado. En este sentido, la transformación de los minerales suele seguir una secuencia que inicia con las fases de prospección y exploración, a las cuales le siguen la extracción, transformación y comercialización.

Es importante destacar que el tipo de mineral y sus aplicaciones constituyen factores determinantes en las peculiaridades que adopta cada fase de la cadena. Además, en virtud de la preocupación por la sustentabilidad ambiental, hoy día ha cobrado gran importancia una actividad final relacionada con el cierre de la mina, tras terminar su vida útil, y la rehabilitación del ecosistema en donde ha operado.

Figura 1. Cadena de valor de la industria minera



Fuente: elaboración propia.

La etapa de prospección consiste en la identificación de las zonas que podrían presentar un yacimiento mineral económicamente extraíble, en tanto que la exploración consiste en la caracterización del depósito mineral.

En las actividades de prospección y exploración se hace uso de mapas, fotografías aéreas, imágenes de satélite y radar, entre otros elementos. La información generada es analizada y una vez que se establecen las posibilidades de la existencia de un depósito mineral extraíble, se da inicio a las actividades de explotación y extracción; éstas consisten en las obras y los trabajos destinados a la preparación y desarrollo del área que contiene el depósito mineral, así como los encaminados a la obtención de los materiales de una mina.

Durante la etapa de exploración en campo, los geólogos analizan muestras de roca, realizan mediciones y elaboran mapas de distribución del tipo de roca, con el propósito de definir y detallar el tamaño y forma del yacimiento. Una vez que la empresa ha identi-

ficado el yacimiento mineral económicamente viable, ésta protege el área a través del correspondiente “denuncio minero” ante las autoridades competentes y da inicio a la exploración del subsuelo.

La exploración del subsuelo se lleva a cabo mediante la perforación de pozos o barrenos y se realizan sondeos y mediciones geológicas para conocer la extensión y profundidad del yacimiento, identificando las áreas con mayor ley y volumen de mineral. Durante el proceso de exploración resulta indispensable utilizar herramientas y métodos económicos que permitan, rápidamente, analizar grandes zonas y descartar las áreas no favorables; asimismo, identificar sitios concretos favorables que serán estudiados minuciosamente con métodos más costosos y precisos.

Entre los estudios realizados, previamente a la explotación de una mina, se encuentran los siguientes: geotécnicos de mecánica de rocas y suelos; geológicos; para localizar las fallas y los tipos de rocas; hidrológicos, para evaluar los riesgos de inundación; la interpretación de imágenes satelitales o aéreas; la detección y medición de radiaciones y el estudio de la química del suelo y agua.

El método de extracción depende del producto. Entre los métodos de extracción se encuentran los métodos piro-metalúrgicos, hidrometalúrgicos y electrometalúrgicos. A la etapa de extracción le sigue la fase de refinación, la cual tiene como objetivo eliminar las impurezas del material haciendo uso de calor, compuestos químicos o electricidad.

Las principales actividades de innovación y desarrollo tecnológico, a lo largo de la cadena de valor de la industria minera, se orientan a la atención de temas relacionados con la eficiencia energética, el manejo de fluidos, la automatización, las tecnologías de la información para la gestión de metadatos, la seguridad del personal, la gestión del agua y la disminución del impacto ambiental, entre otras.

La rapidez con que se han incorporado, mundialmente, las innovaciones al sector minero ha puesto de manifiesto los retos que debe enfrentar la minería zacatecana. Un ejemplo de esta situación es que ha crecido la necesidad de automatizar procesos; sin embargo, la industria tiene una demanda insatisfecha de operadores especializados capaces de manejar equipo, robots y sistemas complejos.

De manera específica, de acuerdo con la Agenda Estatal de Innovación, las empresas mineras zacatecanas enfrentan los siguientes retos tecnológicos (Conacyt, 2015):

### 1. Eficiencia operacional

- ▶ Incluir sistemas de monitoreo de actividades, espacios, puntos de seguridad y personal en mina.
- ▶ Operar óptimamente equipo automatizado.
- ▶ Explotar productos con valor económico que son desechados por la falta de medios rentables para su recuperación.

### 2. Recursos energéticos

- ▶ Disminuir el desperdicio de calor en procesos.
- ▶ Mejorar la eficiencia energética en equipo de alto consumo.
- ▶ Generación y usar energía renovable.

### 3. Alto consumo de agua en zonas caracterizadas por estrés hídrico

- ▶ Introducir tecnologías para evitar fugas y otras pérdidas.
- ▶ Mejorar la eficiencia en sistemas de manejo de agua, incluyendo métodos de reciclamiento y reuso.
- ▶ Monitorear y mitigar la corrosión interna de tuberías.

### 4. Proveedores y cadena de suministro

- ▶ Mejorar los sistemas de evaluación de proveedores.
- ▶ Fomentar la innovación en empresas proveedoras de equipo y servicios.
- ▶ Reducir la dependencia tecnológica.
- ▶ Elevar la disponibilidad de personal calificado.
- ▶ Contar con investigación relevante para los intereses de las empresas.

### 5. La innovación

- ▶ Fortalecer los institutos locales a través de mecanismos de colaboración.
- ▶ Fundar centros de investigación aplicada.
- ▶ Realizar investigación relevante enfocada a ofrecer soluciones al sector.

### 6. Recursos humanos

- ▶ Elevar el nivel de competencias de personal profesional y técnico.
- ▶ Mejorar los procesos de reclutamiento, capacitación y retención de personal calificado.
- ▶ Superar la carencia de profesionales en algunas áreas en particular.
- ▶ Reducir riesgos laborales.

### 7. Sustentabilidad ambiental

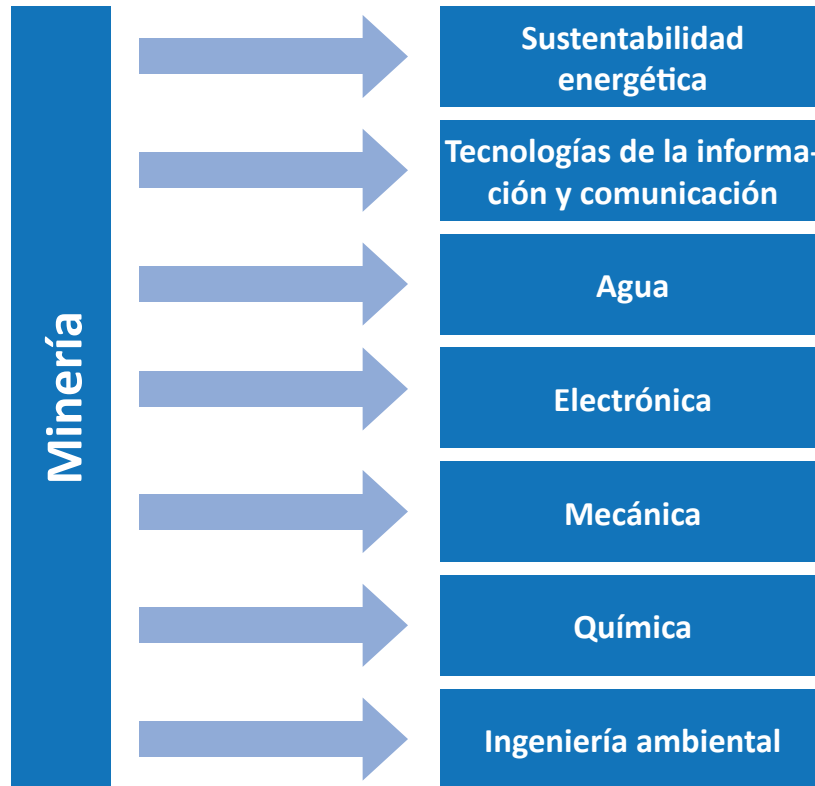
- ▶ Mejorar la gestión de riesgos.
- ▶ Mejorar procesos para reducir contaminantes.
- ▶ Mejorar los procesos de comunicación con las comunidades próximas a unidades mineras para sensibilizarlas sobre los mecanismos de manejo de riesgos.
- ▶ Mejorar los mecanismos de cierre y remediación, anticipando los procesos desde el diseño de las minas.

Para la industria minera, el capital humano es una prioridad. Contar con trabajadores capaces y comprometidos es indispensable. Sin embargo, el déficit de profesionistas sigue siendo preocupante; la demanda de profesionales relacionados con la minería no se circunscribe solamente a las ciencias de la tierra, también se requieren ingenieros mecánicos, electricistas, químicos, metalurgistas y de sistemas; así como físicos y químicos especialistas en ciencia de los materiales. Adicionalmente, se necesitan técnicos capacitados para el manejo de las diversas operaciones y el mantenimiento de equipo cada vez más sofisticado.

A partir del desarrollo de la Agenda Estatal de Innovación, se identificaron siete áreas de especialización estratégica (véase figura 2) que determinaron la demanda inicial de personal calificado.



Figura 2. Áreas de especialización estratégicas para el sector minero en el estado de Zacatecas



Fuente: elaboración propia.

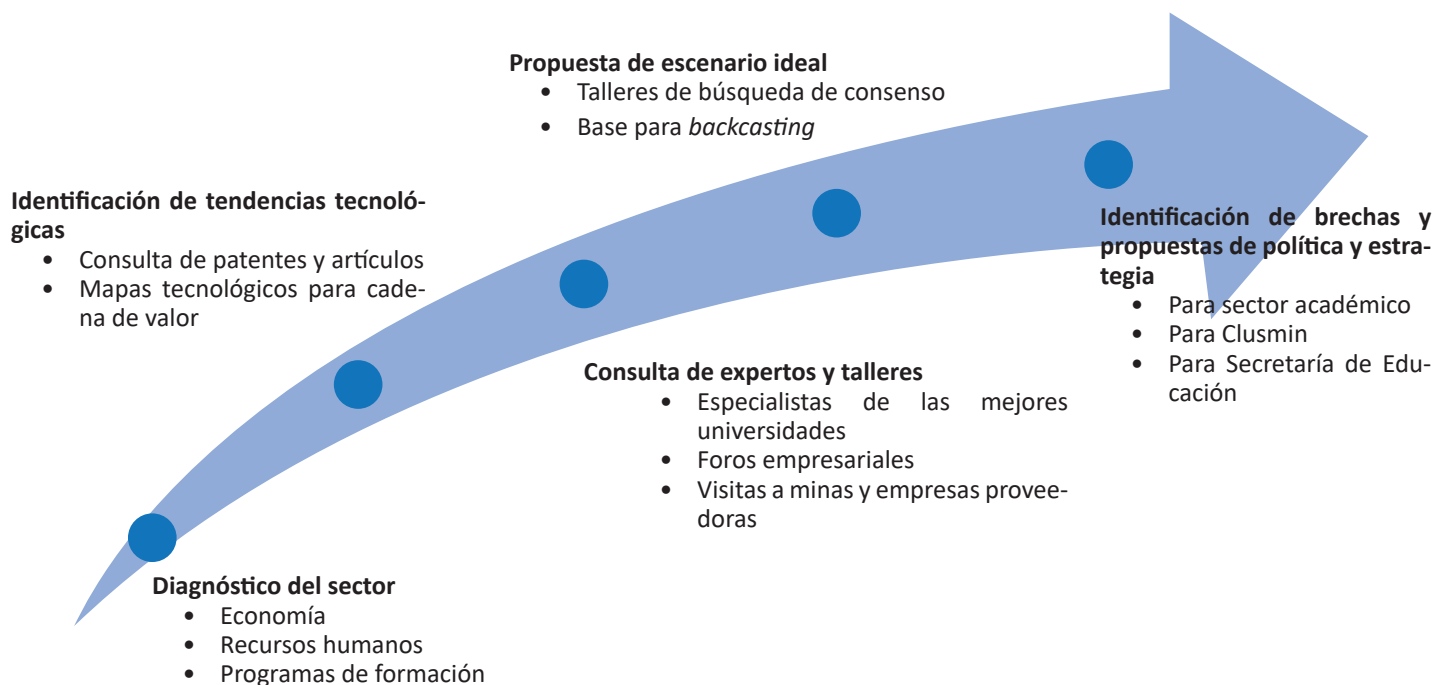
Estas siete áreas responden a los diversos retos y problemas que enfrenta el sector en la entidad, a las necesidades tecnológicas insatisfechas y al aumento de la competitividad a nivel global.

Para identificar claramente las estrategias de formación y capacitación del personal requerido por esta industria, se realizó el estudio que sustenta este documento. La metodología seguida (véase figura 3) se basa en la herramienta de prospectiva llamada *backcasting*; ésta consiste en definir el escenario futuro deseado y tomarlo como punto de partida para establecer la ruta y acciones necesarias para hacerlo viable.

El diagnóstico del sector se basó en la revisión exhaustiva de estadísticas sobre el desempeño de la minería; programas académicos de formación de recursos humanos; y, las actividades específicas de la industria de la región de influencia del Clúster Minero de Zacatecas (Clusmin). También se realizó un intenso trabajo de campo el cual incluyó: i) una encuesta a empresas mineras y proveedoras para conocer el perfil de su plantilla laboral; ii) entrevistas a directivos de las empresas del Clusmin y proveedoras de éstas; iii) visitas a unidades mineras, instalaciones de proveedores; iv) participación a exposiciones especializadas en la industria minera. Además, se aplicó una encuesta a las instituciones académicas para conocer detalladamente su oferta de programas de formación, tanto de nivel profesional como técnico.

La definición del escenario se realizó en el marco de dos talleres de búsqueda de consenso en los que participaron representantes de unidades mineras, empresas proveedoras e instituciones académicas. Una vez identificado ese escenario, también se buscó el consenso de los representantes de la industria sobre las propuestas de política y estrategia que son el resultado final de este estudio.

Figura 3. Metodología del estudio



Fuente: elaboración propia.

# Capítulo 1

## La industria minera actual y los factores impulsores de su evolución

### Introducción

La minería es la actividad industrial de mayor tradición ejercida en México. Las reservas de sus yacimientos minerales han trazado de forma importante la trayectoria económica del país. La industria minero-metalúrgica tiene mayor peso económico cuando se le relaciona con sectores como los de manufactura, construcción, agrícola, comercial, química, telecomunicaciones, electrónica, eléctrica, aeroespacial, aeronáutica, automotriz, farmacéutica, entre otros.

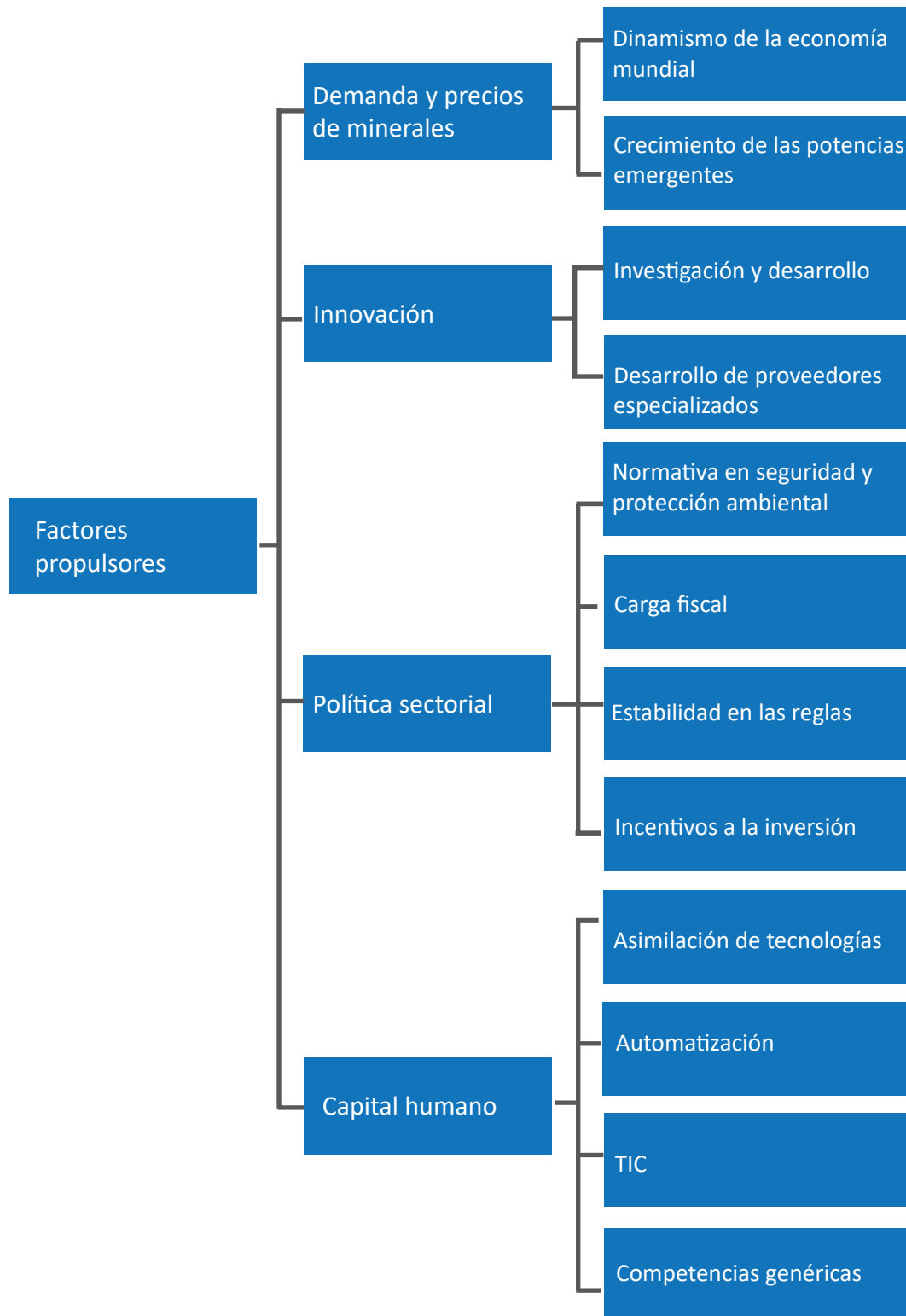
La minería es considerada un sector transversal porque provee a todos los sectores de la economía, dado que los minerales son materia prima de muchos productos de uso cotidiano, tal es el caso de máquinas, celulares, computadoras, joyería, electrodomésticos, aparatos electrónicos y automóviles, por mencionar algunos. Asimismo, es una industria tractora de inversiones, genera fuentes de empleo y divisas, contribuye al desarrollo de infraestructura en las zonas de producción y áreas de influencia, y también proporciona remuneraciones por arriba del promedio nacional.

Pese a estas características, el sector minero resulta ser controversial debido a diferentes factores, entre los cuales figuran la seguridad de los trabajadores, la contaminación al medio ambiente, los costos de producción, el número de concesiones a empresas de capital extranjero, la falta de recursos humanos calificados, la escasa articulación entre universidades e industria y el pago de impuestos, entre otros.

Diversos estudios han expuesto que la tendencia a nivel mundial en la industria minera es el desarrollo de innovaciones en tres pilares: la seguridad de personal y del ambiente, y la reducción de los costos de producción. Al respecto, el papel que desempeñan las empresas proveedoras es fundamental, ya que son las que proveen, a las compañías mineras, los servicios y productos que demanda la industria.

En este capítulo se revisan los factores impulsores de la evolución de la industria minera, particularmente la de la región de influencia del Clusmin, con base en el análisis sobre los determinantes de la competitividad de esta industria y el trabajo de campo realizados en el marco del **“Estudio integral de requerimientos de capital humano del sector minero”**. Se analiza la relevancia económica de los minerales metálicos de mayor importancia para Zacatecas (plata, cobre, zinc, plomo y oro), refiriendo también los ámbitos nacional e internacional. Posteriormente se presenta el tema de la seguridad en la minería como un impulsor central de las innovaciones tecnológicas en la industria. Después se trata la importancia de los proveedores en este sector. Enseguida se aborda el tema del régimen fiscal en el sector minero, el cual ha repercutido en la salida de capitales y en la reducción de inversiones. A continuación se muestran las proyecciones, al año 2025, de algunas variables de la minería en México y Zacatecas para conocer su prospectiva económica y, finalmente, se señalan algunas conclusiones. La figura 1.1 ilustra los principales factores que serán explicados en este apartado.

Figura 1.1. Factores propulsores



Fuente: elaboración propia.

## 1.1. Producción minera

En México la minería representa uno de los sectores de mayor relevancia en la economía nacional. Esta actividad se realiza en 24 de los 32 estados del país; en nueve entidades de ellos aporta entre el 1% y el 21% del producto interno bruto (PIB) estatal (Bancomext, 2015).

México es uno de los 12 principales productores mineros en el mundo, destaca en 17 minerales y es líder mundial en la producción de plata (SGM, 2016). En 2016, la industria minera mexicana se posicionó en el lugar séptimo en el *ranking* mundial en inversión en exploración minera. Asimismo, se ubicó en los primeros lugares en la explotación de los siguientes productos mineros: fluorita (2º), bismuto (3º), celestita (3º), sulfato de sodio (3º), wollastonita (4º), plomo (5º), molibdeno (5º), zinc (5º), cadmio (6º), grafito (6º), sulfato de magnesio (6º), barita (7º), diatomita (7º), sal (7º) y oro (8º), entre otros (USGS, 2017).

La región norte del país se ha caracterizado por su alta participación en el valor de la producción minera. En los últimos años han destacado cinco estados como los principales productores mineros: Sonora (27.9%), Zacatecas (23%), Durango (10.1%), Chihuahua (8.7%) y Coahuila (8.4%), que en conjunto contribuyeron con el 78% del valor total de la producción minera (véase cuadro 1.1) (SGM, 2016).

Cuadro 1.1. Participación de los estados en el valor de la producción minera nacional, 2011-2015  
(Miles de pesos)

	2011		2012		2013		2014		2015	
<b>Total</b>	234,141,101	100 %	258,627,469	100 %	253,935,544	100 %	249,325,625	100 %	264,300,735	100 %
<b>Sonora</b>	64,494,535	27.6	70,906,986	27.4	66,554,249	26.2	65,789,857	26.4	73,795,218	27.9
<b>Zacatecas</b>	58,208,034	24.9	62,962,079	24.3	48,344,402	19.0	49,986,143	20.0	60,733,701	23.0
<b>Durango</b>	14,301,528	6.1	1,660,511	0.6	20,606,593	8.1	20,605,047	8.3	26,792,898	10.1
<b>Chi-huahu</b>	27,180,654	11.6	34,143,323	13.2	29,413,187	11.6	27,374,567	11.0	23,110,038	8.7
<b>Coahuila</b>	21,064,608	9.0	20,449,050	7.9	23,908,709	9.4	25,700,884	10.3	22,292,965	8.4
<b>Otros</b>	48,891,742	20.88	68,505,520	26.5	65,108,404	25.6	59,869,123	24.0	57,575,912	21.8

Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2016).

Cabe señalar que San Luis Potosí figuraba en la quinta posición en años anteriores a 2011, mientras que Durango se ubicaba en el sexto lugar.

Entre los principales minerales producidos en México, destacan la plata, cobre, plomo, zinc y oro, como se puede apreciar en el cuadro 1.2.

De acuerdo con el cuadro 1.2, Zacatecas se posiciona entre el primero y segundo lugar en la producción de estos minerales, de ahí la importancia del presente estudio.

Cuadro 1.2. Principales minerales y estados productores en México, 2015

Producción de oro	Producción de plata	Producción de cobre	Producción de plomo	Producción de zinc
<b>Volumen de producción</b>				
123,364 kg	4,959 ton	485,528 ton	212,964 ton	454,626 ton
<b>Valor de producción</b>				
72.8 mmdp	39.5 mmdp	42.1 mmdp	6.0 mmdp	13.8 mmdp
<b>Estados productores</b>				
Sonora (31.61%)	Zacatecas (41.89%)	Sonora (81.34%)	Zacatecas (62.69%)	Zacatecas (43.05%)
Zacatecas (27.58%)	Durango (16.63%)	Zacatecas (7.13%)	Chihuahua (14.22%)	Durango (25.88%)
Chihuahua (11.34%)	Chihuahua (13.08%)	San Luis Potosí (5.05%)	Durango (11.83%)	Chihuahua (13.33%)
Durango (9.47%)	Sonora (6.11%)	Chihuahua (3.12%)	Estado de México (3.51%)	Estado de México (5.9%)
Guerrero (6.65%)	Otros (22.29%)	Otros (3.4%)	Otros (8.0%)	San Luis Potosí (3.65%)
Otros (13.4%)				Otros (8.2%)

Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2016).

### 1.1.1. Producción minera en Zacatecas

Zacatecas se localiza en la región centro-norte de la República Mexicana, cuenta con una superficie territorial de 75,539 km<sup>2</sup>, una división política de 58 municipios y una población de 1,579,209 personas (51.2% son mujeres y 48.8% son hombres), ocupando el lugar 25 a nivel nacional por su número de habitantes. El 59% de la población es urbana y el 41% rural (Inegi, 2016). Colinda al norte con Coahuila, al este con San Luis Potosí, al suroeste con Aguascalientes, al sur con Jalisco, al oeste con Durango y al suroeste con Nayarit (SE-SGM, 2016).

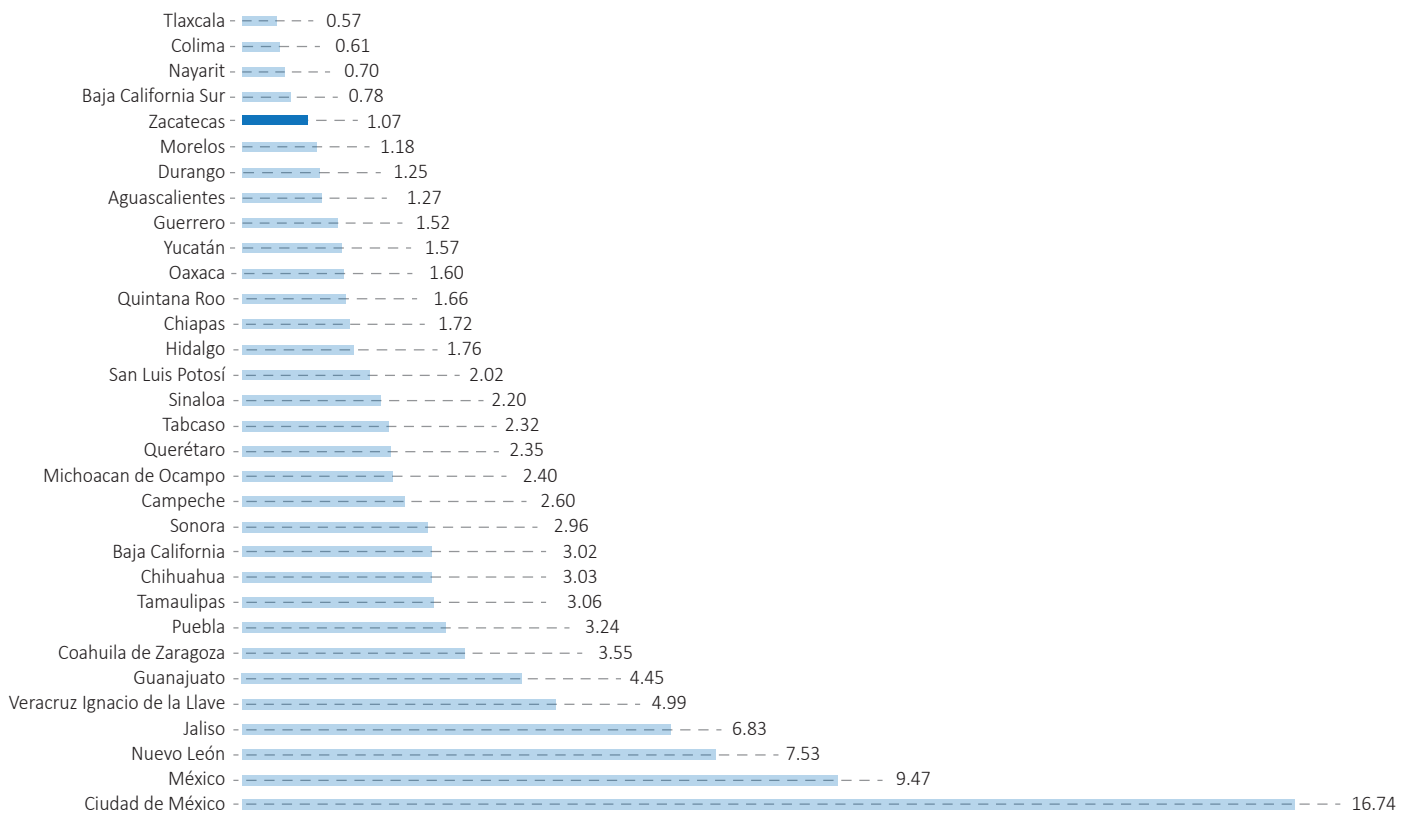
El grado promedio de escolaridad de la población mayor de 15 años es de 8.6 en la entidad, lo que equivale a poco más del segundo año de secundaria. En contraste, esta población a nivel nacional tiene 9.2 grados de escolaridad promedio, es decir, poco más de la secundaria concluida. En Zacatecas, 4.9% de las personas mayores de 15 años adolece de algún grado de escolaridad, 63.5% tiene la educación básica terminada, 16.4% concluyeron la educación media superior, 15% finalizaron la educación superior y 0.2% no está especificado (Inegi, 2016).

Zacatecas es un estado minero por tradición desde la época colonial. Los minerales extraídos de sus yacimientos son principalmente plata, plomo, zinc, cobre, oro, hierro, estaño, mercurio, manganeso, antimonio, flúor, ónix, mármol, bismuto, cromo, fluorita, wollastonita y ópalo. Las regiones mineras que destacan en la entidad son San Julián, Concepción del Oro, Miguel Auza Juan Aldama, Nuevo Mercurio – Camino Rojo, Francisco R. Murguía (Nieves), Sombrerete–, Chalchihuites, Saín Alto, Villa de Cos, Jiménez del Téul, Fresnillo, Valparaíso, Zacatecas, Villa Nueva –Jalpa, Pánfilo Natera–, Ojo Caliente, Pinos y Mezquital del Oro (SGM, 2016).

La minería es la actividad que mayor contribuye al PIB estatal, con cerca del 30% (Sezac, 2016). De acuerdo con el Sistema de Administración Minera, desde 2006, Zacatecas ocupa el segundo lugar en valor de la producción a nivel nacional, sólo es superado por Sonora. En 2015 el valor de la producción minera del estado alcanzó los 60.7 miles de millones de pesos (mmdp), lo que representó el 23% del valor nacional (SGM, 2016).

En 2015 el PIB de Zacatecas sumó 184,058 millones de pesos (mdp) y el estado se posicionó en el lugar 28 de 32 entidades por el tamaño de su economía a nivel nacional con 1.07%. Los estados que mayor aportación hicieron al PIB nacional fueron Ciudad de México (16.74%), Estado de México (9.47%) y Nuevo León (7.53%) (véase gráfica 1.1).

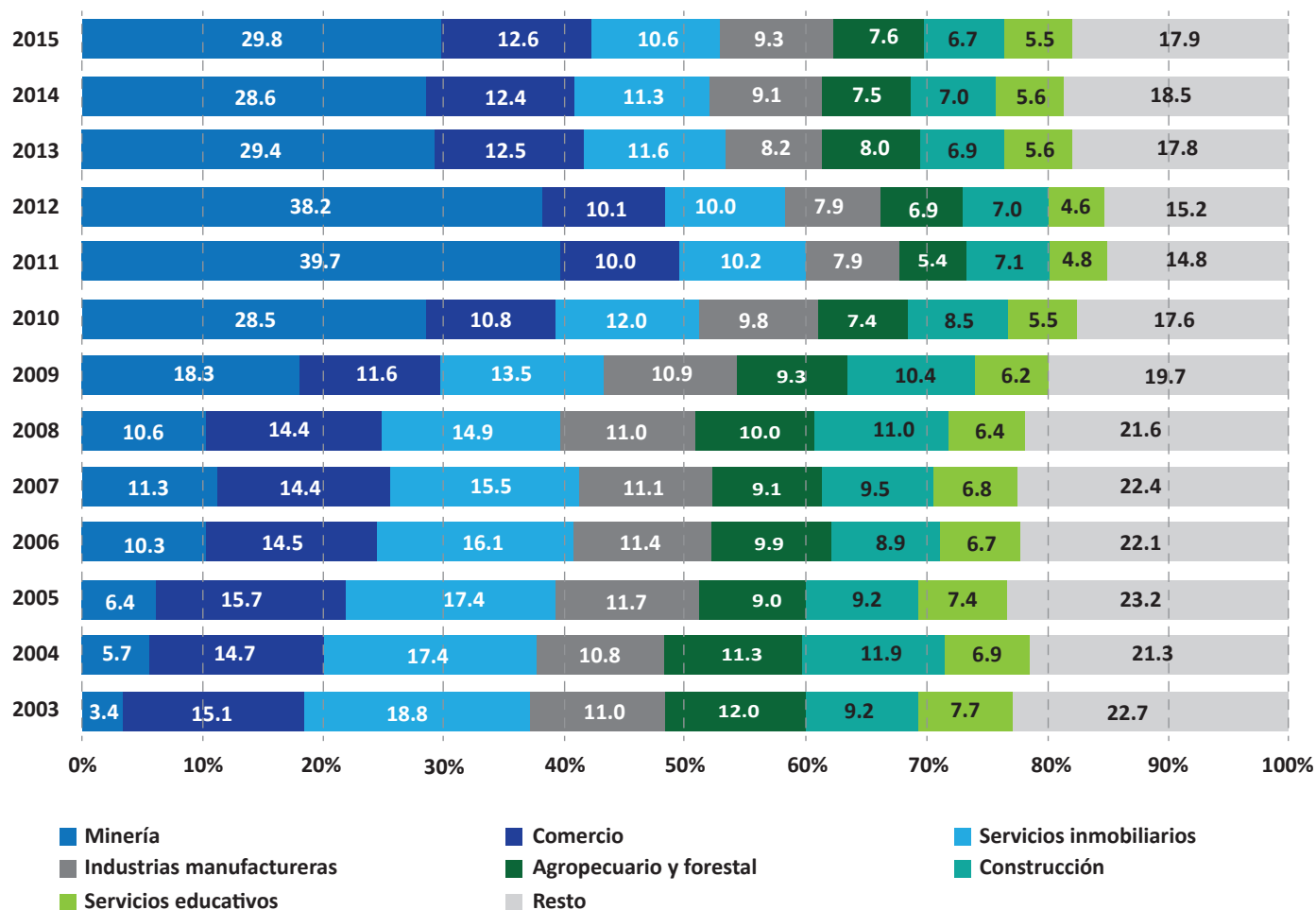
Gráfica 1.1. Participación del PIB estatal en el PIB nacional, 2015 (Porcentajes)



Fuente: elaboración propia con datos de Inegi-SCNM (2016).

En la estructura económica de Zacatecas destaca la contribución del sector secundario al PIB estatal con el 46.7%, cifra por arriba del promedio nacional (32.8%); la aportación de 7.6% del sector primario también es alta si se compara con el promedio total (3.3%), en contraste, el sector terciario con el 45.7% resulta menor a la media nacional (63.9%) (Inegi, 2016). En los últimos años, la actividad económica de mayor dinamismo en la entidad ha estado encabezada por la minería (29.8%), le siguen el comercio (12.6%), los servicios inmobiliarios (10.6%), las industrias manufactureras (9.3%) y el agropecuario y forestal (7.6%), que en conjunto sumaron el 70% de la producción estatal (véase gráfica 1.2).

Gráfica 1.2. Participación de las principales actividades económicas en Zacatecas, 2003-2015 (Porcentajes)



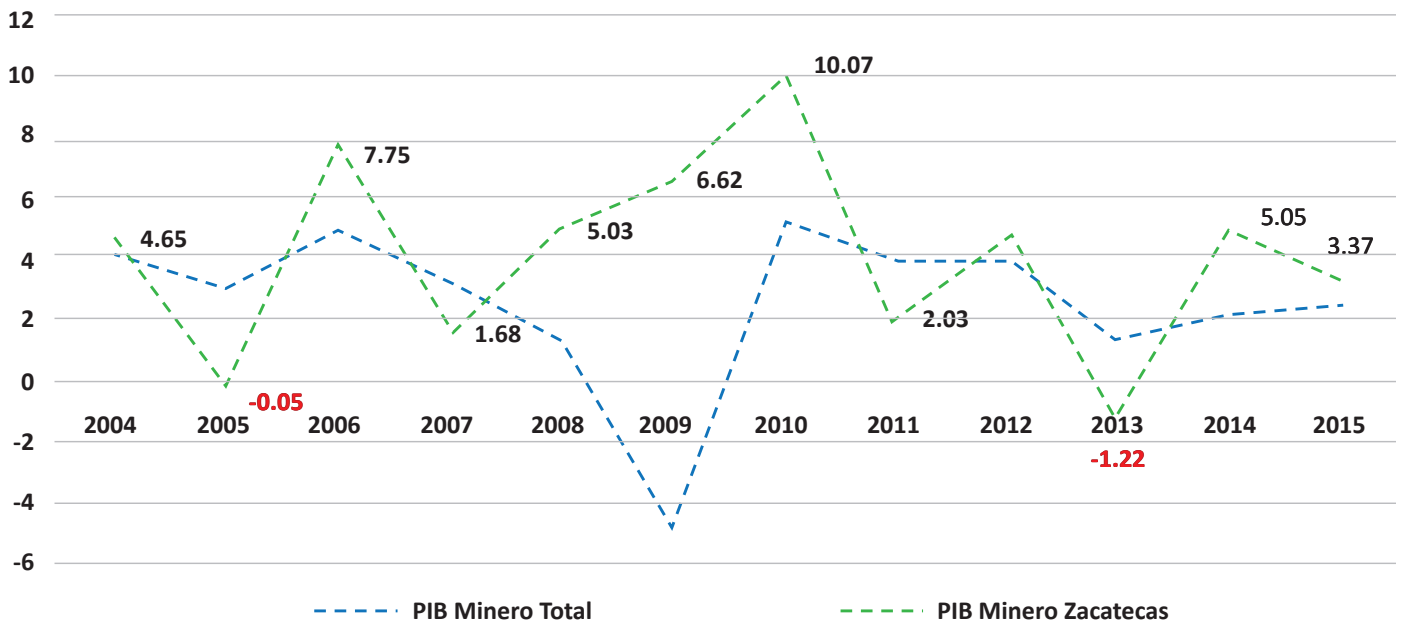
Fuente: elaboración propia con datos de Inegi-SCNM (2016).

En el periodo 2003-2015, la minería registró una tendencia creciente, salvo en 2013. En 2015 creció 14.1% en relación con el año previo al sumar 54.9 mmdp y contribuir con el 29.8% en la producción de la entidad. Asimismo, presentó una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 31.9%, cifra muy superior a la registrada por las actividades de comercio y servicios inmobiliarios con 8.5% y 5.0% respectivamente.

En la última década la tasa de crecimiento anual del PIB de Zacatecas ha estado por arriba del promedio anual nacional, registrando en 2010 el mayor índice con 10.07%; sin embargo, en 2005 y 2013, el PIB minero de la entidad presentó una variación anual de -0.05% y -1.2% en términos reales de 2008 respectivamente. Por su parte, el PIB minero nacional mostró un solo año con variación negativa de -4.74% en 2009 y el mayor índice de 5.2% en 2010 (véase gráfica 1.3). Las fluctuaciones suelen estar relacionadas con las de los precios internacionales de los metales.



Gráfica 1.3. PIB minero y PIB minero de Zacatecas  
(Variación porcentual)



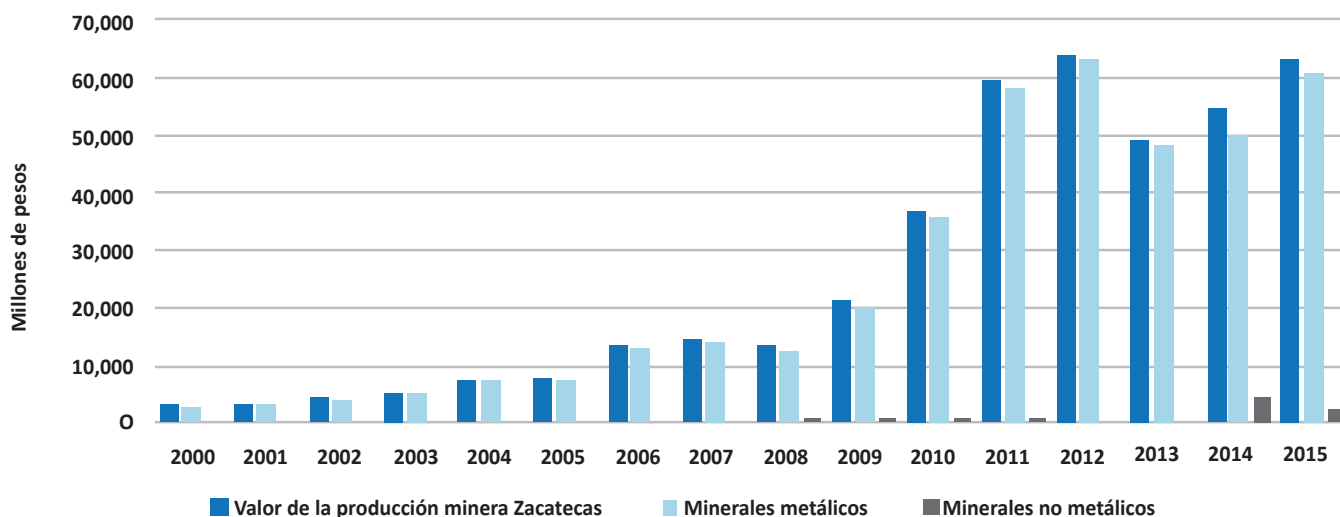
Fuente: elaboración propia con datos de Inegi-SCNM (2016).

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (SGM), en 2015, el valor de la producción minera nacional sumó 417,000 millones de pesos (mmdp), de los cuales Zacatecas contribuyó con 63.1 mmdp, lo que representa casi el 23% del total nacional, cifra que lo posiciona en el segundo lugar en el país.

La minería de Zacatecas se caracteriza por ser un importante productor de minerales metálicos, en 2015 éstos contribuyeron con el 95.9% del valor de la producción (60.5 mmdp), mientras que los minerales no metálicos aportaron apenas el 4.1% (2.6 mmdp) (véase gráfica 1.4).

La producción minera del estado es realizada por 15 plantas que concentran 21 empresas, entre las principales se encuentran: Grupo Peñoles en Fresnillo, Morelos y Sombrerete; Grupo México en Sombrerete; Plata Panamericana en Chalchihuites; GoldCorp y Minera Tayahua en Mazapil; Capstone en Morelos; Contracuña en Vetagrande y First Majestic Silver Corp., en Chalchihuites (Sezac, 2016).

Gráfica 1.4. Valor de la producción minera de Zacatecas, minerales metálicos y no metálicos, 2000-2015 (Millones de pesos)



Valor de la Producción Minera Zacatecas (mmdp)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Valor de la Producción Minera Zacatecas (mmdp)	3,039	3,540	4,345	5,457	7,613	7,859	13,448	14,656	13,839	21,245	37,022	59,315	63,614	48,982	54,371	63,168
Minerales Metálicos	2,953	3,459	4,244	5,537	7,497	7,695	13,241	14,324	12,821	20,113	35,948	58,208	52,977	48,344	49,979	60,580
Minerales No Metálicos	86	80	100	100	116	160	246	331	1,017	1,131	1,073	1,107	636	638	4,392	2,605

Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

## 1.2. Producción de minerales metálicos en Zacatecas, México y el mundo

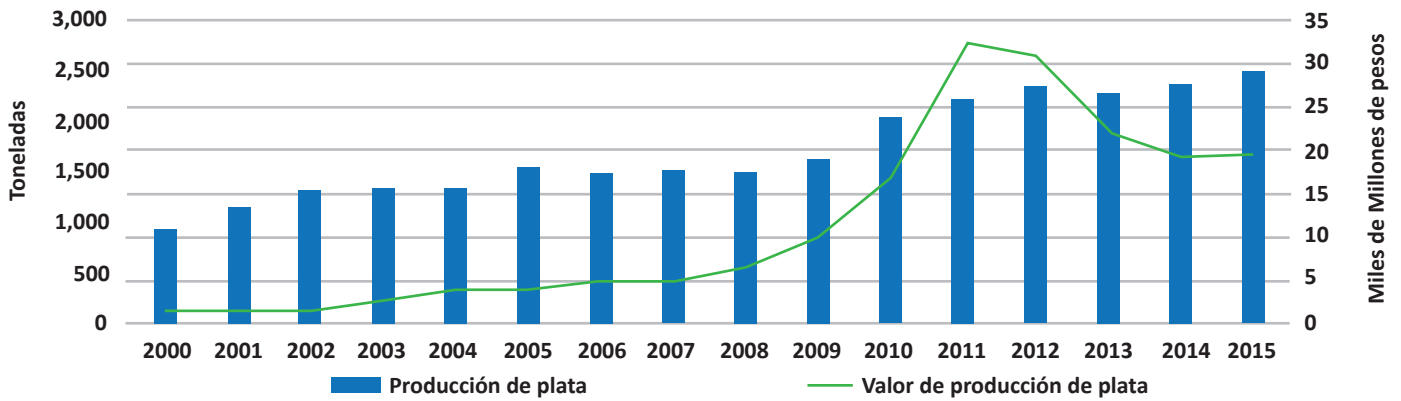
### 1.2.1. Producción de plata

Zacatecas ocupa el primer lugar como productor de plata a nivel nacional al contribuir con el 42% de la producción total. En el periodo 2000-2015, la producción estatal de plata mantuvo una tendencia creciente, con excepción de los años 2006, 2008 y 2013. En 2015, la producción alcanzó su volumen máximo con 2,494 toneladas (ton) y creció 5.5% respecto al año previo. Asimismo, la producción en la entidad registró una TMCA de 6.8%, superior a la producción de plata nacional que fue de 5.6% en dicho periodo.

En cuanto al valor de la producción de plata en la entidad, su trayectoria fue creciente, salvo en 2005 y de 2012 a 2014, aunque en 2015 cerró con 19.9 mmdp, es decir, tuvo un crecimiento de 3.5% en comparación con 2014, pero menor en -36.3% en relación con 2011, año que logró la cifra más alta del periodo con 31.2 mmdp (véase gráfica 1.5).

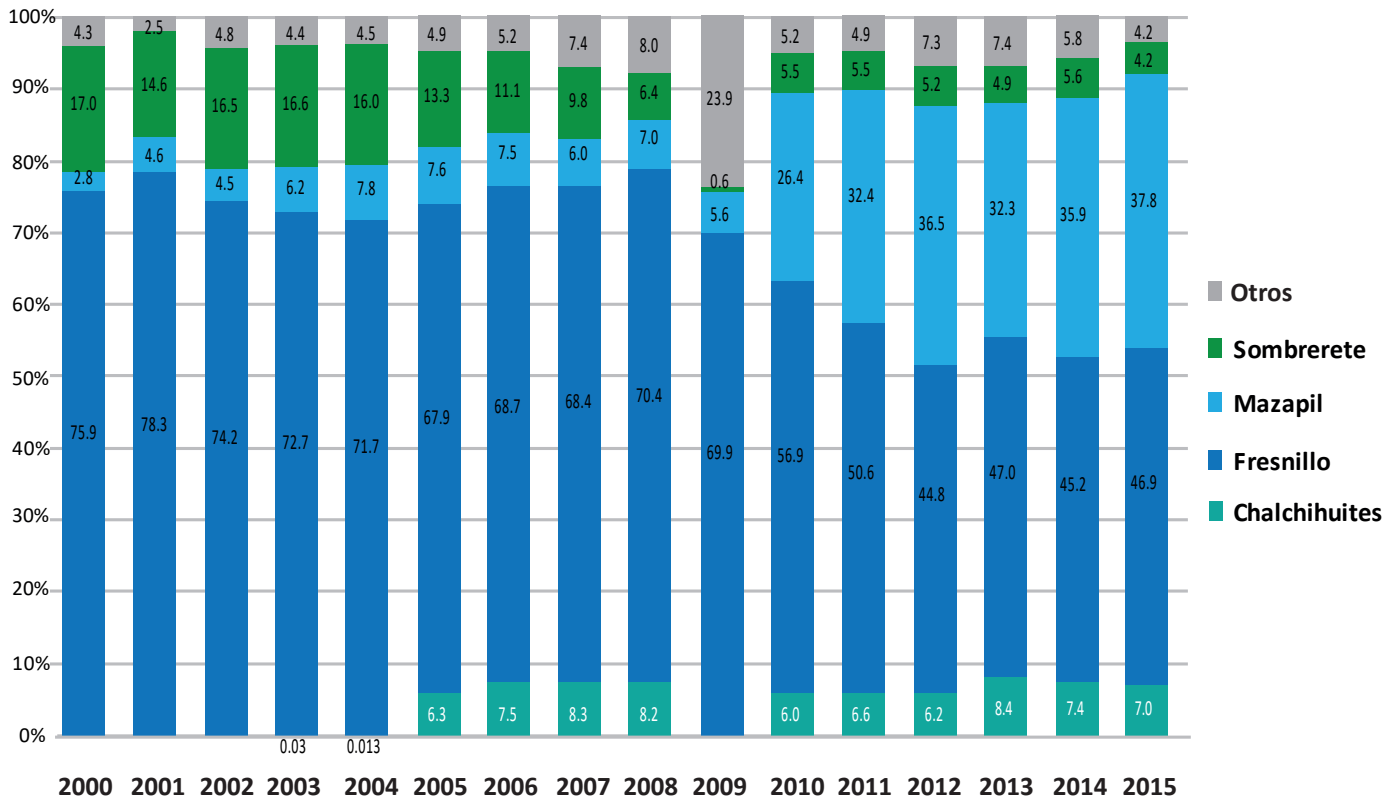
Los municipios de Zacatecas que produjeron el mayor volumen de plata fueron Fresnillo, Mazapil y Chalchihuites, en 2015 contribuyeron con 46.9%, 37.8% y 7%, respectivamente, que en conjunto sumaron 91.6% de la producción de plata en la entidad. La gráfica 1.6 muestra que Fresnillo ha disminuido su participación, entre 2000 y 2015 registró una TMCA de 3.43%, mientras que Mazapil creció a una tasa de 26.9%.

Gráfica 1.5. Volumen y valor de la producción de plata en Zacatecas, 2000-2015  
(Toneladas-Miles de millones de pesos)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Gráfica 1.6. Principales municipios productores de plata en Zacatecas, 2000-2015  
(Porcentajes)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Durante el periodo 2000-2015, la producción nacional de plata registró un periodo oscilante, entre 2003 y 2007 los años decrecientes (salvo 2005) al igual que 2014. En 2015 la producción alcanzó su nivel máximo con 4,959 toneladas, es decir, creció 4.8% con respecto a 2014. En ese lapso la TMCA de la producción de plata fue de 4%. Por su parte, el valor de la producción conservó una tendencia positiva, salvo para tres años (2001, 2013 y 2014) por las cotizaciones a la baja y la contracción de la economía china; pero en 2015 el valor de la producción creció 2.9% con respecto al año previo. En el último año, la producción de plata alcanzó 39.5 mmp; no obstante, esta cifra fue menor a la obtenida en 2012 con 59.9 mmp, es decir, se redujo 16.4%.

Las principales entidades productoras de plata fueron Zacatecas (41.89%), Durango (16.63%), Chihuahua (13.08%) y Sonora (6.11%), que en conjunto contribuyeron con el 77.71% de la producción. Cabe mencionar que Oaxaca, San Luis Potosí y Estado de México también son productores importantes, pero en menor escala.

A nivel mundial, la producción de plata en 2015 aumentó 1.8%, con una producción de 27,300 toneladas y un valor de 877.7 millones de onzas. En ese año el aumento de la oferta minera de plata fue liderado por México y Perú. La producción minera de plata en México aumentó 2%. Fresnillo, la empresa minera de plata más grande del mundo, con minas en México, duplicó su producción en ese ciclo (USGS, 2016).

Durante el periodo 2002-2011, los precios de la plata en el mundo presentaron una tendencia positiva, lo que mantuvo interés en la inversión en exploración y desarrollo de nuevas operaciones mineras; esta situación cambió en 2012 con el descenso de los precios de los metales, afectando la actividad de exploración.

Por su parte, entre 2000 y 2015, la producción de plata en el mundo registró una pendiente positiva (a excepción de los años 2006 y 2009) con una TMCA de 2.78%. En estos años, la fortaleza del dólar y el alza en las tasas de interés de la Reserva Federal, incidieron en el precio e inversión de la plata. Para 2015 el precio de este metal fue de 15.7 dólares la onza.

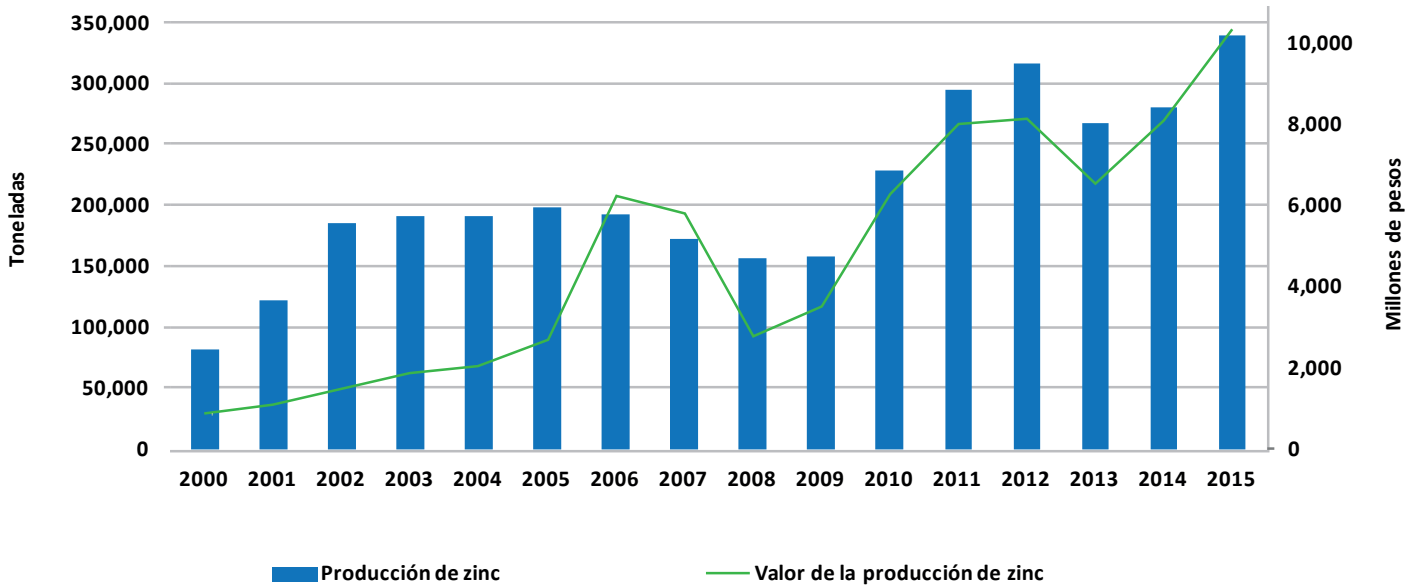
A nivel global, los principales países productores de plata incrementaron su producción, la cual fue encabezada por México, China y Perú, que juntos sumaron el 50% de la producción mundial. En contraste, países como Australia (-1.2%), Bolivia (-3%) y EU (-6.8%) registraron importantes decrementos (USGS, 2016).

### 1.2.2. Producción de zinc

Zacatecas es el principal productor de zinc en el país, contribuyendo con el 43% de la producción nacional. Entre 2000 y 2015, la producción de este mineral en la entidad disminuyó en cuatro años; sin embargo, en 2015 registró un crecimiento de 20.9%, en comparación con el año previo, al alcanzar 338,689 toneladas, y presentó una TMCA de 9.9% en ese lapso, superior a la producción nacional con una tasa de 4.7%. El valor de la producción de zinc en el estado presentó una trayectoria positiva a excepción de tres años; su caída más drástica la tuvo en 2008; sin embargo, para 2015 el valor creció 27.7% en relación con el año anterior con 10.3 mmdp (véase gráfica 1.7).

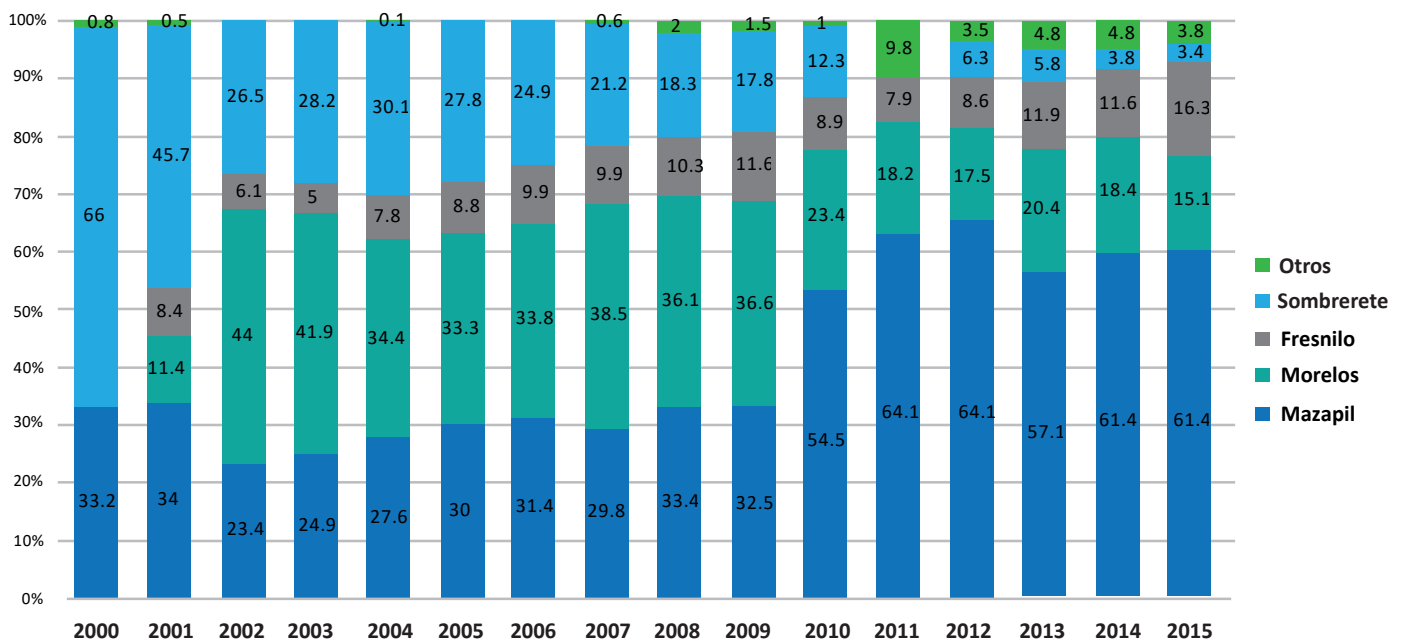
Los principales municipios productores de zinc en la entidad fueron Mazapil, Morelos, Fresnillo y Sombrerete, que en 2015 aportaron 61.4%, 15.1%, 16.3% y 3.4%, respectivamente, sumando el 96.1% de la producción en el estado.

Gráfica 1.7. Volumen y valor de la producción de zinc en Zacatecas, 2000-2015  
(Toneladas-Millones de pesos)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Gráfica 1.8. Principales municipios productores de zinc en Zacatecas, 2000-2015  
(Porcentajes)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

En 2015 la producción del municipio de Mazapil creció 20.6% respecto al año anterior, las de Fresnillo y Sombrerete lo hicieron en 69.3% y 7.3%, mientras que Morelos decreció en 1.3%.

En los últimos quince años, la producción de zinc en México ha presentado una trayectoria moderadamente creciente, salvo entre 2003-2004, 2007-2009 y 2011. Para 2015 la producción llegó a 454.6 mil toneladas, esto significó un incremento de 1.22% en comparación con el año anterior. La TMCA en todo el periodo fue de 1.6%.

Por su parte, el valor de la producción llegó a su monto máximo en 2006 (15.4 mmdp) debido a que la cotización en ese año se disparó extraordinariamente, es decir, creció 134% en relación con 2005. En 2015 el valor alcanzó la suma de 13.8 mmdp, 7.25% más que en 2014, pero 10.3% menos que en 2006.

La cotización del zinc, las diferencias con los sindicatos mineros en algunos estados y la inestabilidad del mercado internacional, influyeron en el volumen y valor de la producción.

Los principales estados productores de zinc fueron Zacatecas (43.05%), Durango (25.88%), Chihuahua (13.33%), Estado de México (5.9%) y San Luis Potosí (3.65%), que en conjunto sumaron el 91.8% de la producción total.

A nivel mundial, la producción de zinc mantuvo una tendencia positiva en los últimos 15 años, con un crecimiento de 52.7%, al alcanzar las 13.4 millones de toneladas en 2015. Este crecimiento se debió al dinamismo del sector de la construcción y al incremento de la demanda de países como la India. En ese periodo, el precio del zinc registró diversas caídas, para 2015 disminuyó 10.6% en relación con el año anterior, debido a la volatilidad de los mercados y a la incertidumbre en la economía china. Así, el precio promedio del zinc llegó a 87.7 centavos de dólar por libra a finales de ese año.

### 1.2.3. Producción de plomo

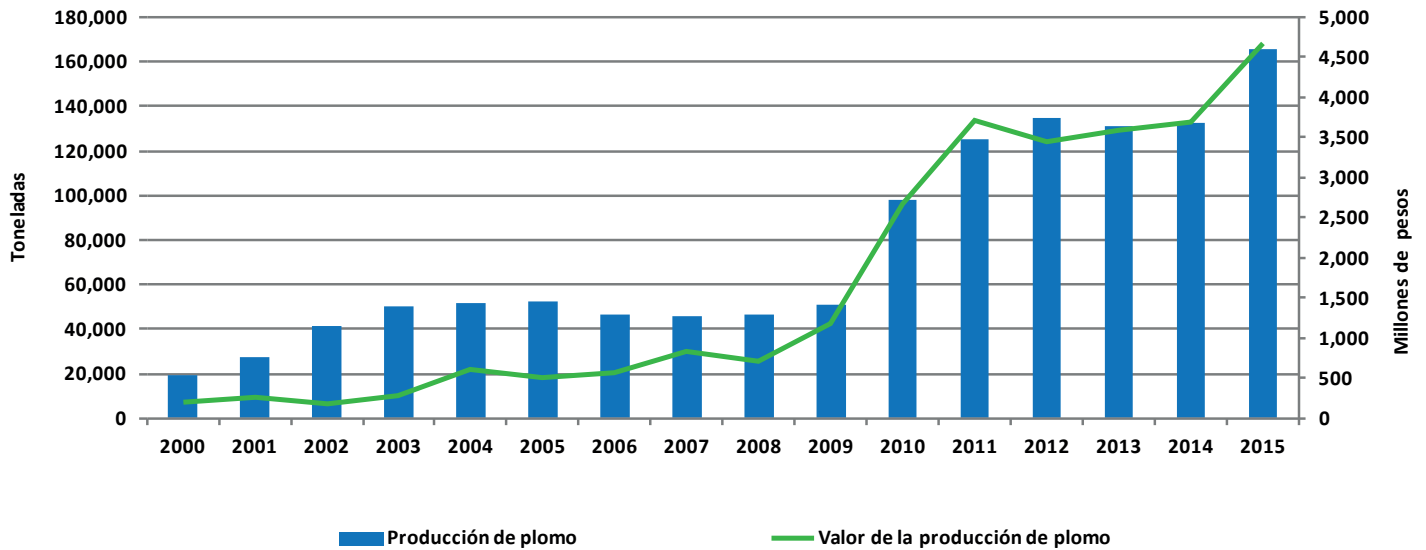
Zacatecas es el principal productor de plomo en el país, participa con el 62% de la producción nacional. Entre 2000 y 2015, la producción tuvo un periodo creciente, excepto en tres años. En 2015 alcanzó un volumen de 165,348 toneladas, es decir, se incrementó 25% con respecto al año anterior. Para este periodo la producción de plomo en la entidad alcanzó una TMCA de 15.3%, muy por encima de la tasa obtenida a nivel nacional (4.4%).

En el valor de la producción de plomo, la entidad registró, en 2015, un crecimiento de 26.5% en referencia al año previo con 4.6 mmdp, monto máximo alcanzado en esos años. Los principales municipios productores de plomo fueron Mazapil (51.6%), Fresnillo (23.1%), Chalchihuites (11.3%) y Morelos (8.6%), que sumaron el 94.5% de la producción de plomo total en 2015.

En 2015 Fresnillo fue el municipio que incrementó en mayor proporción su producción de plomo, respecto al año anterior, con 62.1%; le siguieron Chalchihuites y Mazapil con 57% y 18%, respectivamente; en tanto, Morelos decreció en 3.1%.

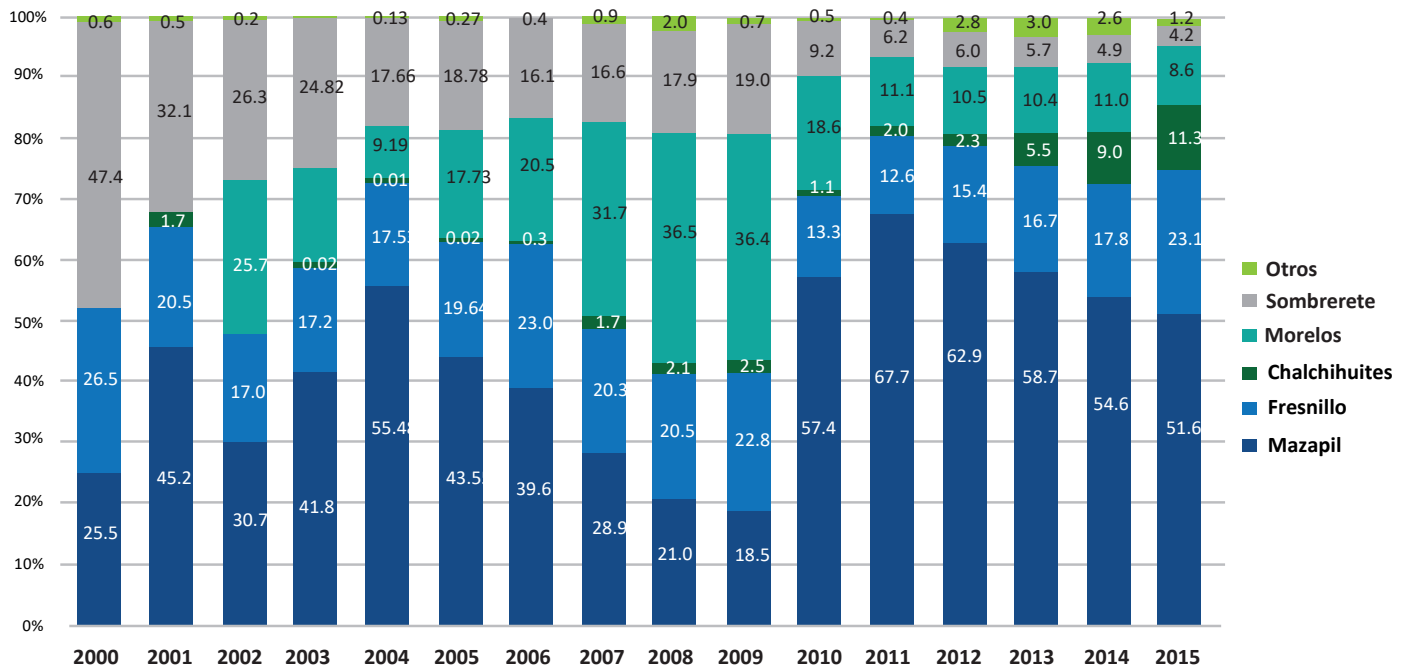
Entre 2000 y 2015, la producción de plomo en México decreció en la mitad del periodo, los años de mayor crecimiento fueron 2012 y 2015 con 210.3 y 212.9 mil toneladas, con una TMCA de 1.9% en todo el periodo. En el último año, la producción creció 8.24% con respecto a 2014. El incremento de la producción de los últimos años se debe a la participación de Zacatecas.

Gráfica 1.9. Volumen y valor de la producción de plomo en Zacatecas, 2000-2015  
(Toneladas-Millones de pesos)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Gráfica 1.10. Principales municipios productores de plomo en Zacatecas, 2000-2015  
(Porcentajes)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Uno de los momentos más difíciles se presentó en 2007 con el paro de actividades del Grupo México en Taxco, esto aunado a otros factores citados anteriormente redujeron la producción de plomo.

Por su parte, el valor de la producción de plomo en 2015 creció 9.56% con respecto a 2014. Un dato significativo es el incremento en la cotización del mineral en 2007, el cual alcanzó niveles de 1.17 dólares por libra, situación que prevaleció hasta el primer semestre de 2008, pero a finales de ese año disminuyó a 95 centavos de dólar por libra, es decir, 18.8%. Ese breve incremento en el precio contribuyó con el aumento de la producción al año siguiente en 12.11%; sin embargo, el valor de la producción decreció 8.74% con respecto al año previo.

Las principales entidades productoras de plomo en 2015 fueron Zacatecas (62.69%), Chihuahua (14.22%), Durango (11.83%) y Estado de México (3.51%), que en conjunto contribuyeron con el 92% de la producción total.

A nivel mundial, entre 2000 y 2015, la producción de plomo creció 47%, al pasar de 3.2 a 4.7 millones de toneladas (mdt). Este comportamiento se debió al incremento en la demanda de plomo para baterías, las cuales abarcan alrededor del 80% del consumo mundial. China es el mayor consumidor gracias a su dinamismo industrial y al considerable aumento en el número de autos en dicho país. Sin embargo, una importante reducción en los inventarios del London Metal Exchange (LME), la inestabilidad de la economía global y las turbulencias en los mercados bursátiles y financieros provocaron una contracción en el precio del plomo (Camimex, 2016).

De acuerdo con el United States Geological Survey (USGS), en 2015, la producción de plomo disminuyó 3.28% con respecto a 2014, con 4.71 millones de toneladas, debido a que China y Australia redujeron su producción en 13% y 4%, respectivamente. En 2015 el precio se redujo 14.8% con respecto al año anterior. Los principales países productores de plomo son China (49%), Australia (14%) y Estados Unidos (8%), que en conjunto representaron el 70% de la producción mundial.

### 1.2.4. Producción de cobre

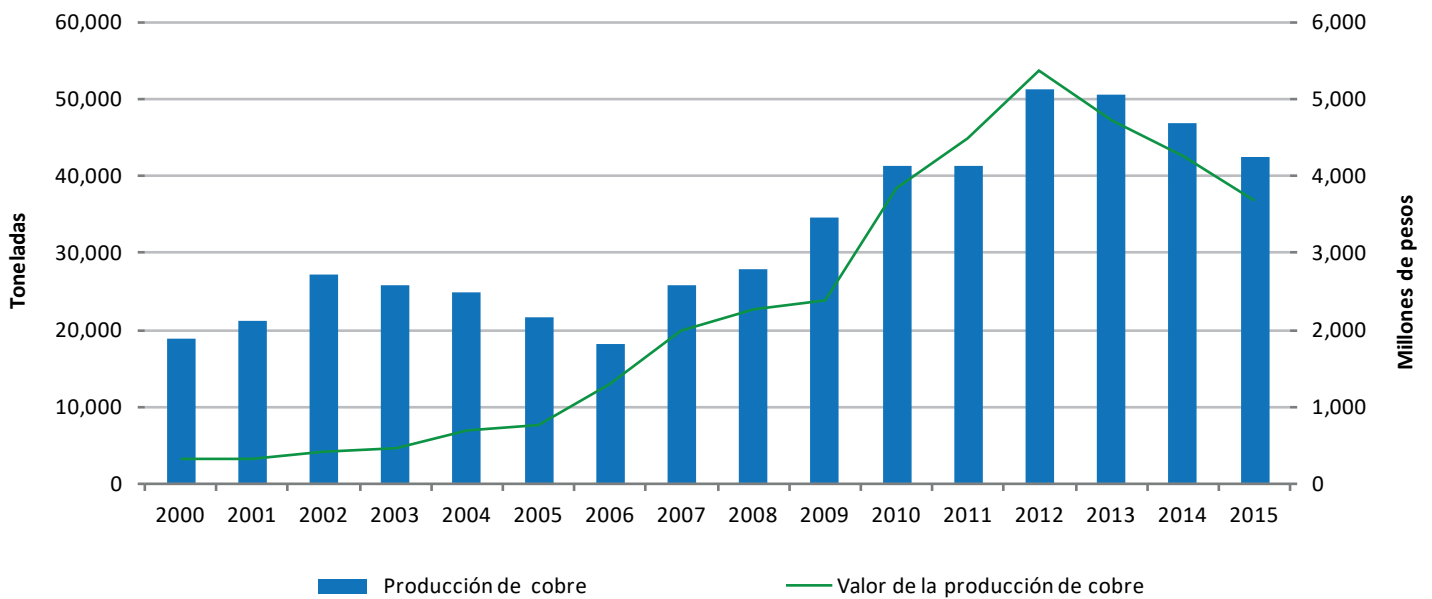
Zacatecas es el segundo productor más importante de cobre en el país, contribuye con el 7.1% de la producción a nivel nacional. Durante el periodo 2000-2015, la producción presentó una trayectoria inestable al registrar una reducción en siete años; en 2012 obtuvo el volumen más alto con 51,261 toneladas, mientras que en 2015 apenas llegó a 42,381 toneladas, es decir, decreció 9.3% en comparación con el año previo, superando moderadamente la producción de 2011. La producción de cobre en la entidad alcanzó una TMCA de 5.5%, la cual se sitúa por arriba de la producción nacional que obtuvo 3.3%.

En 2015 el valor de la producción de cobre alcanzó los 3.6 mmdp, esto es 13.7% menos que el año anterior y 31.3% menos que 2012, año que logró su monto máximo (5.3 mmdp).

Morelos (51.6%), Mazapil (36.7%) y Sombrerete (11.7%) fueron los principales municipios productores de cobre, sumando el 100% de la producción en el estado en 2015 (véase gráfica 1.12).

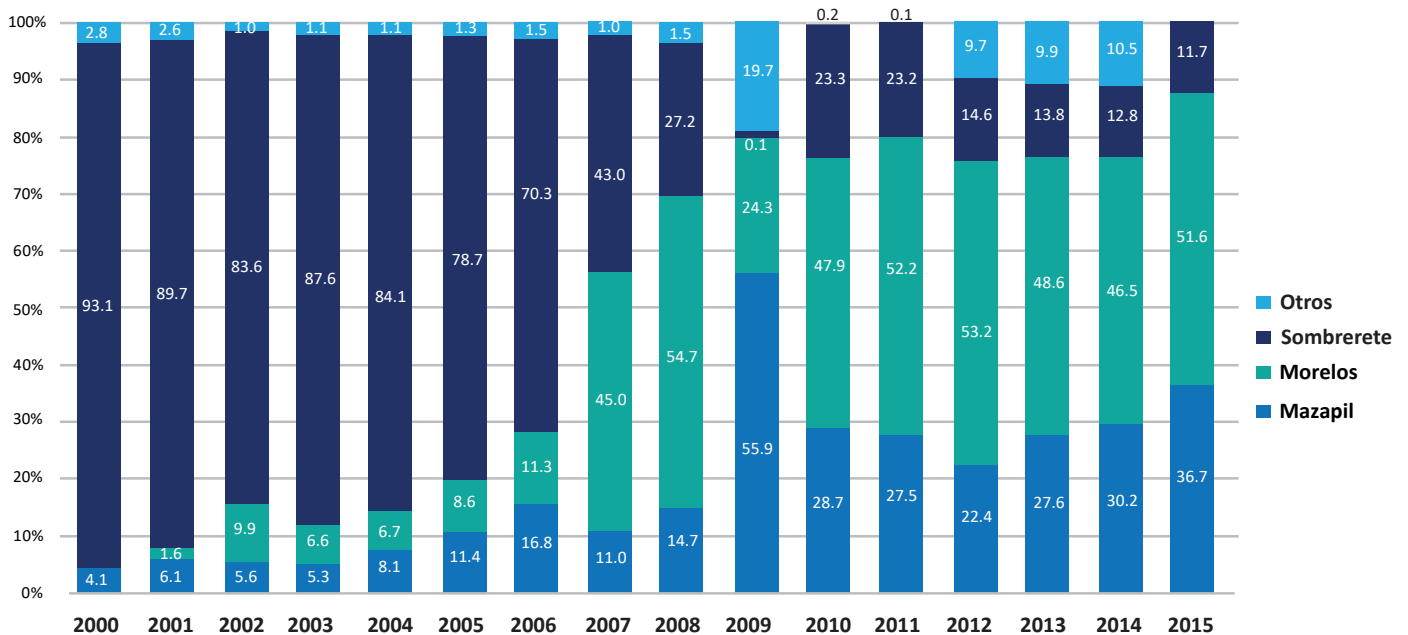


Gráfica 1.11. Volumen y valor de la producción de cobre en Zacatecas, 2000-2015  
(Toneladas-Millones de pesos)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Gráfica 1.12. Principales municipios productores de cobre en Zacatecas, 2000-2015  
(Porcentajes)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

En el último año, la producción de cobre en el municipio de Morelos creció apenas 0.4% en relación con 2014, Mazapil lo hizo en 10.3%; en tanto, Sombrerete decreció 16.9%. Como se muestra en la gráfica anterior, Sombrerete disminuyó su producción considerablemente, entre 2000 y 2015 registró una TMCA de -8.1%; mientras que Mazapil creció en 22% y Morelos lo hizo en 31.8%.

Durante los últimos quince años, la producción de cobre en México ha mantenido una trayectoria oscilante, debido a la caída de los precios internacionales de los metales, la apreciación del dólar, la contracción de la demanda china y la huelga de los trabajadores de la mina de Cananea en Sonora, principal estado productor en el país. Sin embargo, en los últimos años se incrementó la producción de cobre, consiguiendo su volumen máximo en 2015, con 485.5 mil toneladas, esto es 7.3% mayor que el año previo y una TMCA de 2.42% en el periodo. La creciente producción en el año de referencia se debió a la expansión de las instalaciones de minas en los estados de Sonora, Baja California y Chihuahua, principalmente.

Por su parte, el valor de la producción de cobre en los últimos cinco años ha sido creciente (salvo en 2013); en 2015 registró un incremento de 2.23% con respecto a 2014, pero fue menor 8.26% en comparación con 2012. En 2015 fue el segundo mineral que contribuyó con más valor (12.4%) a la producción minero-metalúrgica total.

Las principales entidades productoras de cobre en el país fueron Sonora (81.34%), Zacatecas (7.13%), San Luis Potosí (5.05%) y Chihuahua (3.12%). Estos cuatro estados sumaron el 96.6% de la producción total.

La producción mundial de cobre mantuvo una tendencia creciente entre 2000 y 2015, con excepción de 2002, debido a las secuelas ocasionadas por la caída del 3.1% en el consumo mundial el año anterior, lo que provocó, a su vez, la reducción del precio de este metal<sup>1</sup> (Cochilco, 2002). En estos años, el precio permaneció a la baja, de 2009 a 2015 ha decrecido en 1.11%. Asimismo, el precio promedio en 2015 fue de 249.6 centavos de dólar por libra, una disminución de 19.79% en relación con 2014. La reducción en el consumo de cobre en el mundo, particularmente de China, es el factor que propició este panorama a nivel internacional (Camimex, 2016).

Por su parte, el USGS señala que, en 2015, la producción mundial de cobre fue de 18.7 millones de toneladas, un crecimiento de tan sólo 1.01% respecto a 2014. Entre 2000 y 2015 la producción global registró una TMCA de 2.35%. Pese a la tendencia decreciente en el precio del cobre, la producción ha sido creciente, debido al uso que se le da en diversas industrias. El cobre es uno de los metales más importantes para el desarrollo tecnológico, ya que es el único que posee propiedades superiores de conductividad térmica y eléctrica.

Los principales países productores de cobre son Chile (30%), China (9%), Perú (9%) y Estados Unidos (7%), que en conjunto contribuyen con el 55% de la producción en el mundo (USGS, 2016).

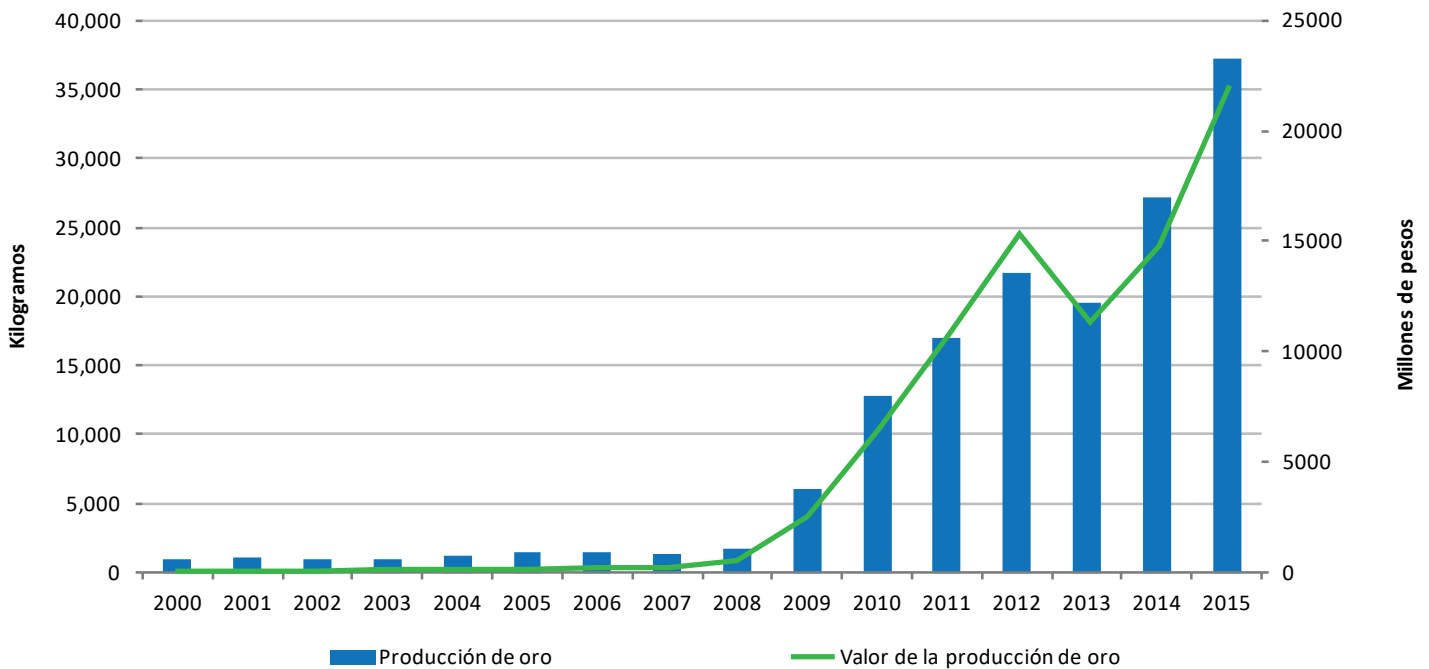
---

<sup>1</sup> Algunos especialistas explican que la disminución del precio del cobre fue motivado por la desaceleración de las economías más fuertes y consumidoras de cobre, así como de otros *commodities* en el mundo, Estados Unidos y Japón.

### 1.2.5. Producción de oro

Zacatecas es el segundo productor más importante de oro en México, aporta el 27.5% de la producción a nivel nacional. Entre 2000 y 2015, la producción mantuvo una tendencia mayormente positiva, en 2015 registró un incremento de 36.7% (9,981 kg) en relación con el año anterior. En dicho periodo, la TMCA de la producción de oro en la entidad fue de 27%, cifra superior a la nacional que fue de 11.4% (véase gráfica 1.13). El valor de la producción de oro en 2015 creció 49.1% en comparación con el año previo con 21.9 mmdp, cifra máxima alcanzada en ese año.

Gráfica 1.13. Volumen y valor de la producción de oro en Zacatecas, 2000-2015  
(Kilogramos-Millones de pesos)



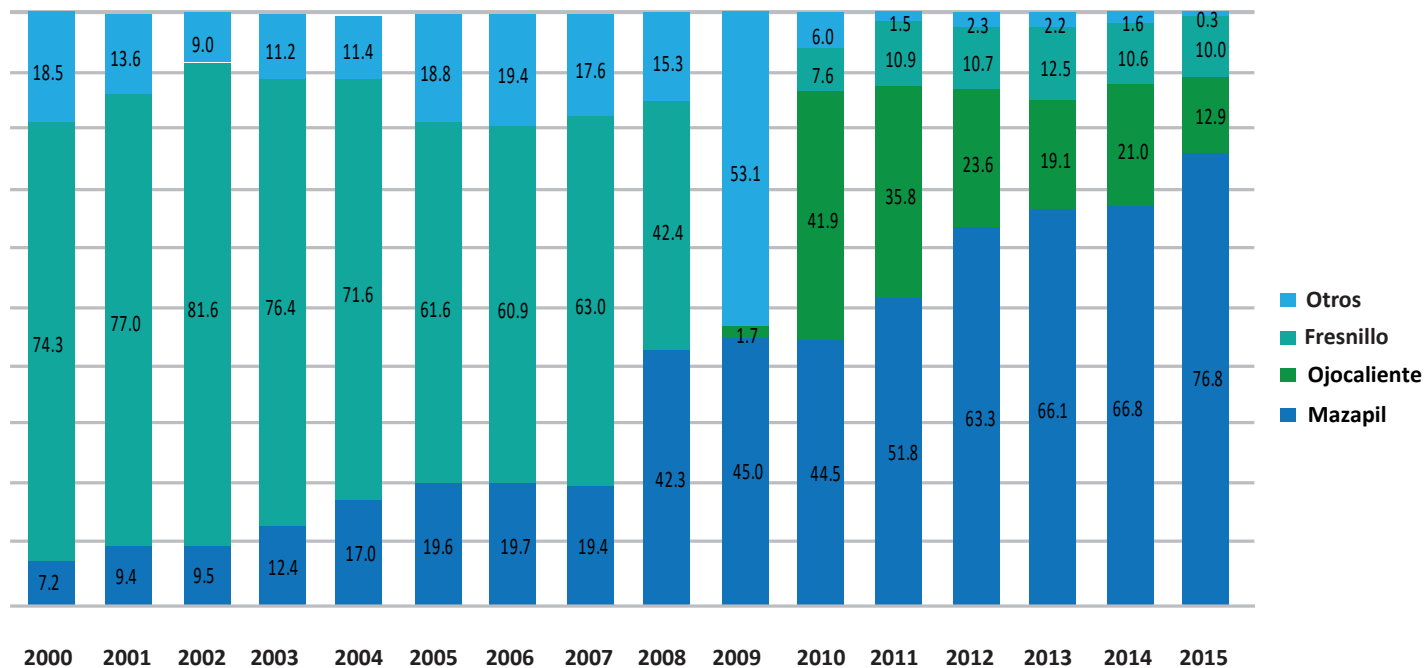
Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Los principales municipios del estado que produjeron el mayor volumen de oro fueron Mazapil (76.8%), Ojocaliente (12.9%) y Fresnillo (10%), que conjuntamente sumaron 99.7% de la producción en 2015.

De acuerdo con la gráfica 1.14, el municipio de Mazapil fue el más dinámico al registrar una TMCA de 48.7%, mientras que Fresnillo tuvo una tasa de 11.1%; por su parte, Ojocaliente figuró moderadamente a partir de 2009 en el periodo señalado.

En los últimos quince años, la producción de oro en México ha permanecido con una tendencia creciente, con excepción del periodo 2001-2004, caracterizado por bajas cotizaciones, depreciación de la moneda e incertidumbre en la política mundial por el conflicto bélico en Irak, entre otras razones. Sin embargo, gracias al crecimiento del sector de la construcción, la minería tomó un respiro ya se benefició al ser abastecida de los insumos necesarios. A partir del 2005, la producción continuó una trayectoria positiva por el incremento en la demanda de oro para diversos sectores, en el que predominó la joyería (USGS, 2016). Durante este lapso, la producción presentó una TMCA de 10.98%.

Gráfica 1.14. Principales municipios productores de oro en Zacatecas, 2000-2015 (Kilogramos)



Fuente: elaboración propia con datos del (2005, 2010, 2015 y 2016).

En 2015 la producción de oro alcanzó un volumen de 123,364 kg, es decir, 25.66% más que el año anterior. Ésta es considerada una cifra récord en la producción de oro en el país. En el valor de la producción, la tendencia fue positiva entre 2002 y 2012, pero en 2013 y 2014 el valor disminuyó por la caída de los precios de los metales. No obstante, para 2015, el valor creció 37.10% en relación con el año previo con 134,758 kilogramos.

En México, los principales estados productores de oro son Sonora (31.61%), Zacatecas (27.58%), Chihuahua (11.34%), Durango (9.47%) y Guerrero (6.65%), que en conjunto aportaron el 86.6% de la producción nacional en 2015. Estas entidades han destacado históricamente en la producción de dicho metal con variantes en su posicionamiento. De acuerdo con las cifras del SGM (2016), Sonora registró una TMCA de 11.5% en el periodo, mientras que Zacatecas, Chihuahua y Guerrero tuvieron mayores tasas, 27.0%, 28.0% y 19.1%, respectivamente; en tanto, Durango presentó la menor tasa con 4.8%.

En el periodo 2000-2015, la producción mundial de oro experimentó, en los primeros años, pequeños decrementos, los más considerables fueron entre 2006 y 2008. Desde 2009 la producción mundial de oro ha mantenido una tendencia positiva, con una TMCA de 3.1%, aun cuando la inversión en exploración y los precios para esos años disminuyeron. Para 2015 esa producción registró un ligero crecimiento de 0.033% en relación con 2014.

Entre 2002-2011, el precio del oro tuvo, a nivel global, una tendencia positiva, sin embargo, la reducción en el precio en 2013 afectó los niveles de inversión, aunque cabe señalar que el oro representa uno de los productos más atractivos para la inversión dada la importancia de su uso en diversas industrias. El precio de dicho metal ha estado determinado por la apreciación del dólar, el alza en las tasas de interés en Estados Unidos y escenarios geopolíticos. En 2015 la cotización alcanzó los 1,160 dólares la onza, el más bajo en tres años.

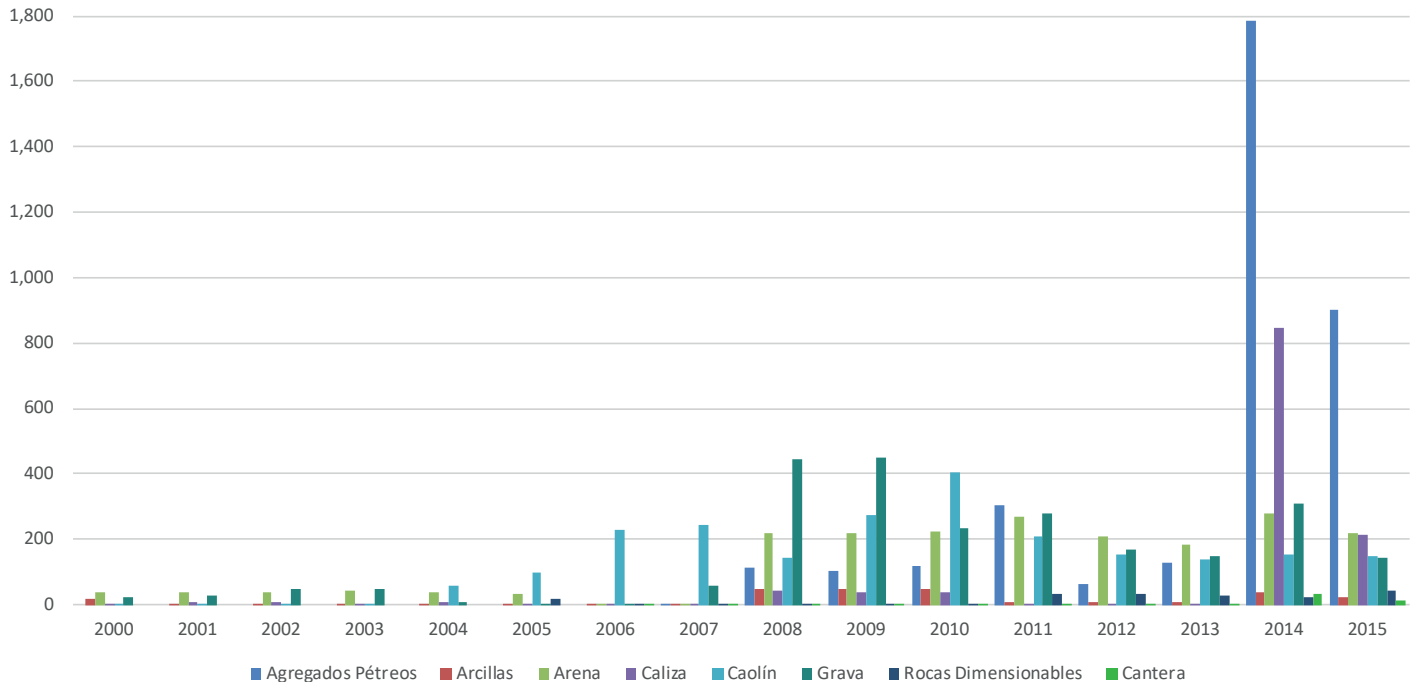
El USGS señala que la producción mundial de oro alcanzó, en 2015, el mayor volumen hasta ahora registrado con 96, 452,100 onzas, 18% mayor al obtenido en 2001 con 82 millones de onzas, esto representa el 1.2% en 14 años. Los principales países productores de oro son China (16%), Australia (10%), Rusia (8%) y Estados Unidos (7%) (USGS, 2016).

### 1.3. Minerales no metálicos

Como se mencionó, la producción de minerales no metálicos en Zacatecas aportó el 4.1% al valor de la producción. Dentro de este tipo de minerales destaca la producción de agregados pétreos, arena, caolín y grava entre otros. Por su parte, la riolita y andesita ocuparon en 2015 el segundo (660 mdp) y tercer lugar (243 mdp), respectivamente, al valor de la producción no mineral; sin embargo, sólo existen datos de estos minerales para los años 2014 y 2015 (véase gráfica 1.15).

Durante el periodo 2000-2015, los minerales no metálicos de Zacatecas mostraron un comportamiento fluctuante; en 2015 tuvieron, en su mayoría, un año decreciente. La producción de agregados pétreos en la entidad llegó a su punto máximo en 2014 con 15.1 millones de toneladas, y para 2015 decreció 50.5% al contar con 7.4 millones de toneladas. El SGM señala que no existe información de estos minerales entre 2000 y 2006. En cuanto al valor de la producción, ésta sumó 902.4 mdp en el último año, es decir, 49.4% menos en comparación con el año anterior.

Gráfica 1.15. Producción de minerales no metálicos en Zacatecas, 2000-2015 (Miles de toneladas)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Entre 2000 y 2015, la producción de arcillas alcanzó su monto máximo en 2008 al registrar 494,640 toneladas; mientras que en 2015 la producción no tuvo ninguna variación con relación a 2014, al conseguir, en ambos años, 302,576 toneladas, pero sí decreció 38.8% en comparación con 2008. Durante este periodo obtuvo una TMCA de 0.52%. Por su parte, el valor de la producción decreció el último año en 39.9% respecto a 2014, pero aun cuando tenían el mismo volumen de producción, la disminución en el precio de los minerales causó este efecto.

Entre 2002 y 2006, la producción de arena presentó una tendencia decreciente, en tanto que los siguientes nueve años fueron oscilantes, para 2015 la producción creció 7% en relación con 2014, y presentó una TMCA de 10.1% para todo el periodo. Respecto al valor de la producción, el último año decreció 21% en comparación con el año anterior.

En el periodo 2000-2015, la producción de grava disminuyó en nueve años, pero en 2015 obtuvo el volumen máximo y un crecimiento de 0.5% en referencia al año anterior, con 2.5 millones de toneladas. Asimismo, registró una TMCA de 13.4%. Sobre el valor de la producción, en el último año decreció 53.9% en relación con 2014, aun cuando la producción creció ligeramente.

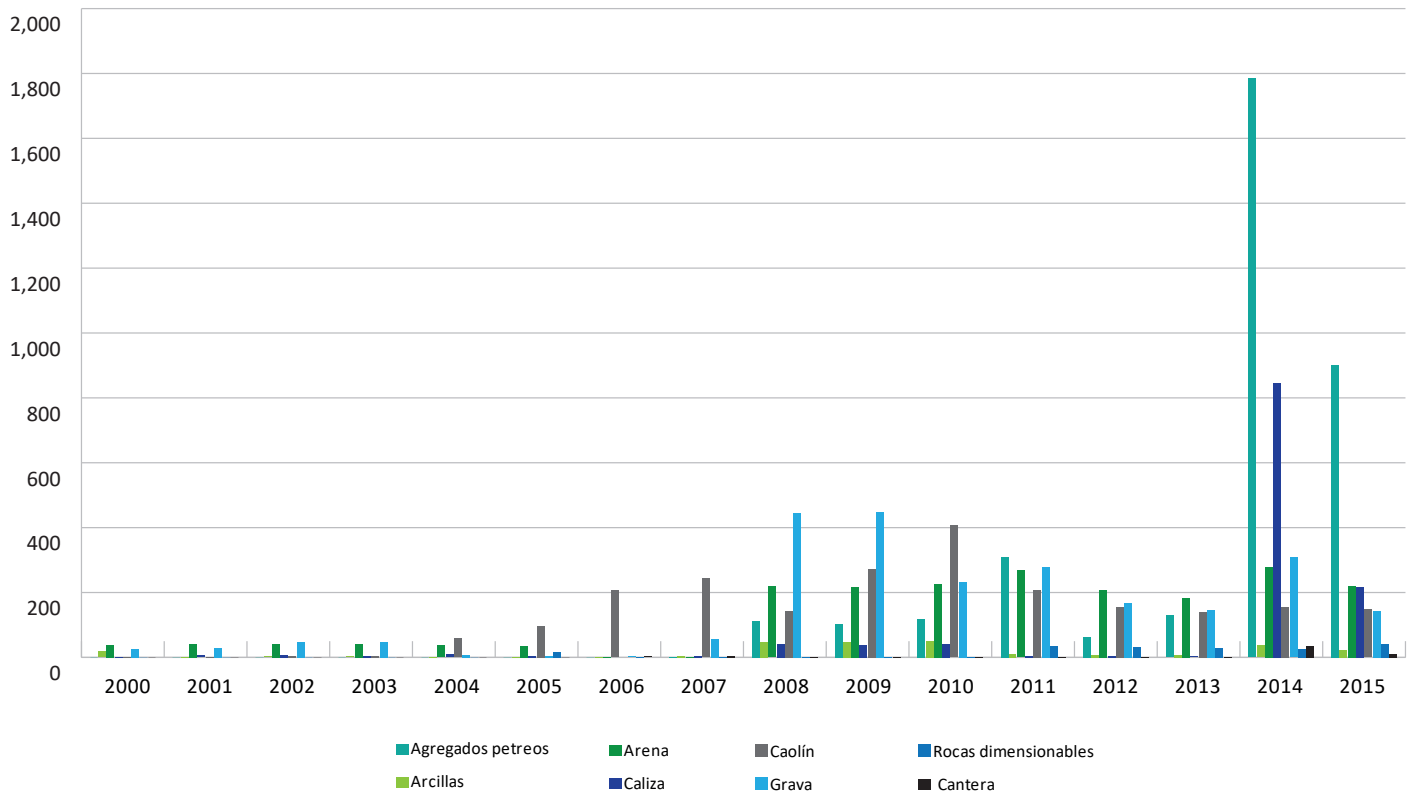
En dicho lapso, el mineral de caliza disminuyó su producción en siete años, alcanzó su volumen máximo en 2014 con 10.8 millones de toneladas, lo que significa un decrecimiento del 74.5% en 2015. Por otra parte, la TMCA que registró en el periodo fue de 40.7%. Respecto al valor de la producción, en 2015 decreció 74.4% en comparación al año anterior.

La producción de caolín decreció la mitad del periodo; sin embargo, en 2007 alcanzó su volumen máximo con 220,850 toneladas, y para 2015 creció 7% respecto al año previo, aunque disminuyó 70.7% en comparación a 2007, al sumar 64,643 toneladas. La TMCA en el periodo fue de 19.4%. Por lo que toca al valor de la producción, en 2015 disminuyó 5% respecto a 2014, además, decreció 63.7% en comparación con 2010, año que alcanzó el valor más alto.

Las rocas dimensionables presentan información solamente para el periodo 2005-2015, el último año es el que registra el mayor volumen con 58,883 toneladas y un crecimiento de 190% en comparación con 2014. Respecto al valor de la producción, el último año creció 62.4% en relación con el año previo con 40.5 mdp.

En cuanto al mineral de cantera, sólo existe información para el periodo 2006-2015: el 2014 se señala como el año con el mayor volumen de producción, con 356,929 toneladas, lo que significa que 2015 decreció en 65%. Por su parte, en 2015, el valor de la producción disminuyó 67% en comparación con el año anterior (véase gráfica 1.16).

Gráfica 1.16. Valor de la producción de minerales no metálicos en Zacatecas, 2000-2015  
(Millones de pesos)



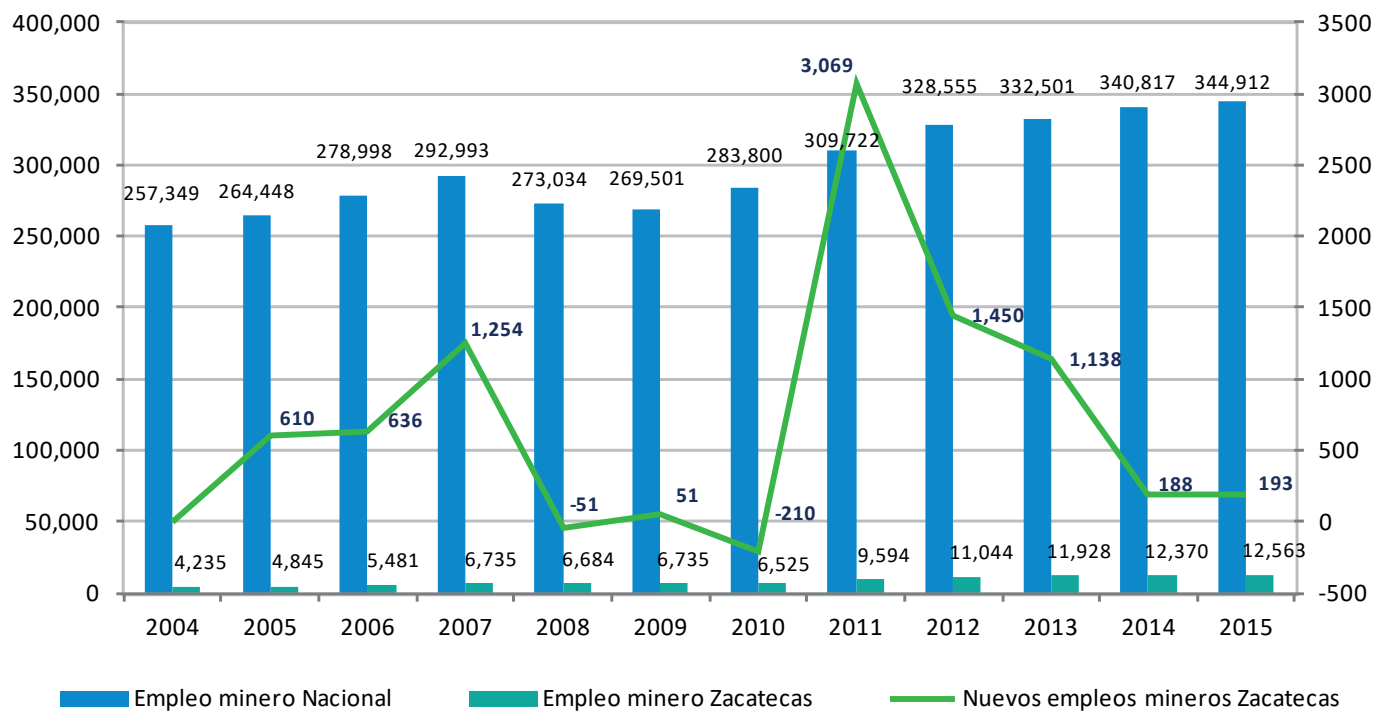
Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

## 1.4. Empleo en minería en Zacatecas

De acuerdo con el Plan Estatal de Desarrollo 2011-2016, Zacatecas requiere fortalecer su estructura económica para generar el número de empleos necesarios para la entidad, situación que hasta el momento no se ha podido lograr, impidiendo mejorar las condiciones de vida de la población.

A nivel nacional, el empleo minero metalúrgico ha mantenido una tendencia creciente desde 2010. Por lo tanto, en 2015 alcanzó un total de 344,912 personas empleadas, lo que representó el 1.2% en relación al año previo con la creación de 4,095 nuevos empleos (véase gráfica 1.17).

Gráfica 1.17. Empleo minero nacional, Zacatecas y nuevos empleos mineros en Zacatecas, 2004-2015 (Número de personas)



Fuente: elaboración propia con datos de Camimex (2008, 2013, 2015 y 2016).

El sector minero zacatecano es una fuente importante de empleos y creador de infraestructura (Sezac, 2016). La gráfica 1.17 muestra que, a nivel estatal, el empleo minero-metalúrgico registró en dos años una disminución en la creación de nuevos empleos. En 2010 se presentó la mayor pérdida con el 3.11% en referencia a 2009 con 210 empleos menos. A partir de 2012, aun cuando se generaban empleos en el sector, se hacía en menor proporción, hasta que en 2015 se registró un incremento del 1.5% respecto al año previo, con 193 nuevas contrataciones; sin embargo, éstas fueron menos en consideración a 2011, cuando se crearon 3,069 nuevos empleos.<sup>2</sup>

La caída en la cotización de los metales y una mayor carga fiscal provocaron una tendencia decreciente en el sector minero-metalúrgico a partir del año 2013, repercutiendo en la creación del número de empleos (Sezac, 2016). Como se observa en el cuadro 1.3, durante el periodo 2005-2015, el comportamiento del empleo en la entidad se debió al aumento en el subsector metalúrgico en las industrias metálicas básicas (3.0%) y en las industrias de productos a base de minerales no metálicos (2.2%) (PDM, 2015).

<sup>2</sup> Los censos económicos 2014, desagregan en tres categorías el personal ocupado: remunerado, no remunerado y no dependiente de la razón social (*outsourcing*). En Zacatecas, el personal *outsourcing* representó el 13.8% del total. La minería es la actividad que registra el mayor porcentaje de ocupados en esta categoría con el 72%, lo que significa que 7 de cada 10 personas ocupadas son subcontratadas (Sezac, 2016). De acuerdo con esta misma fuente, en el 2013, la remuneración promedio anual por persona ocupada en la entidad fue de 81,065 pesos anuales, registrándose la remuneración más alta en la actividad minera con 301,792 pesos anuales.



Cuadro 1.3. Empleo por ramas de la industria minero-metalúrgica en Zacatecas, 2005-2015  
(Número de personas)

AÑO	Rama 11	Rama 13	Rama 14	Rama 33	Rama 34	Empleo Zacatecas	Empleo minero nacional	Participación %
2005	305	3,841	1	651	47	4,845	264,448	1.8
2006	374	4,435	1	624	47	5,481	278,998	2.0
2007	232	5,496	1	705	301	6,735	292,993	2.3
2008	232	5,496	-	705	301	6,684	273,034	2.5
2009	200	5,350	1	808	376	6,735	269,501	2.5
2010	225	5,324	1	683	292	6,525	283,800	2.3
2011	156	8,496	-	831	111	9,594	309,722	3.1
2012	195	9,877	-	802	171	11,044	328,555	3.4
2013	186	10,977	-	698	67	11,928	332,501	3.6
2014	225	11,320	-	733	92	12,370	340,817	3.6
2015	203	11,291	-	845	224	12,563	344,912	3.6

11 Extracción y beneficio de carbón mineral, grafito y otros minerales no metálicos

13 Minerales metálicos

14 Explotación de sal

33 Productos de minerales no metálicos

34 Industrias metálicas básicas

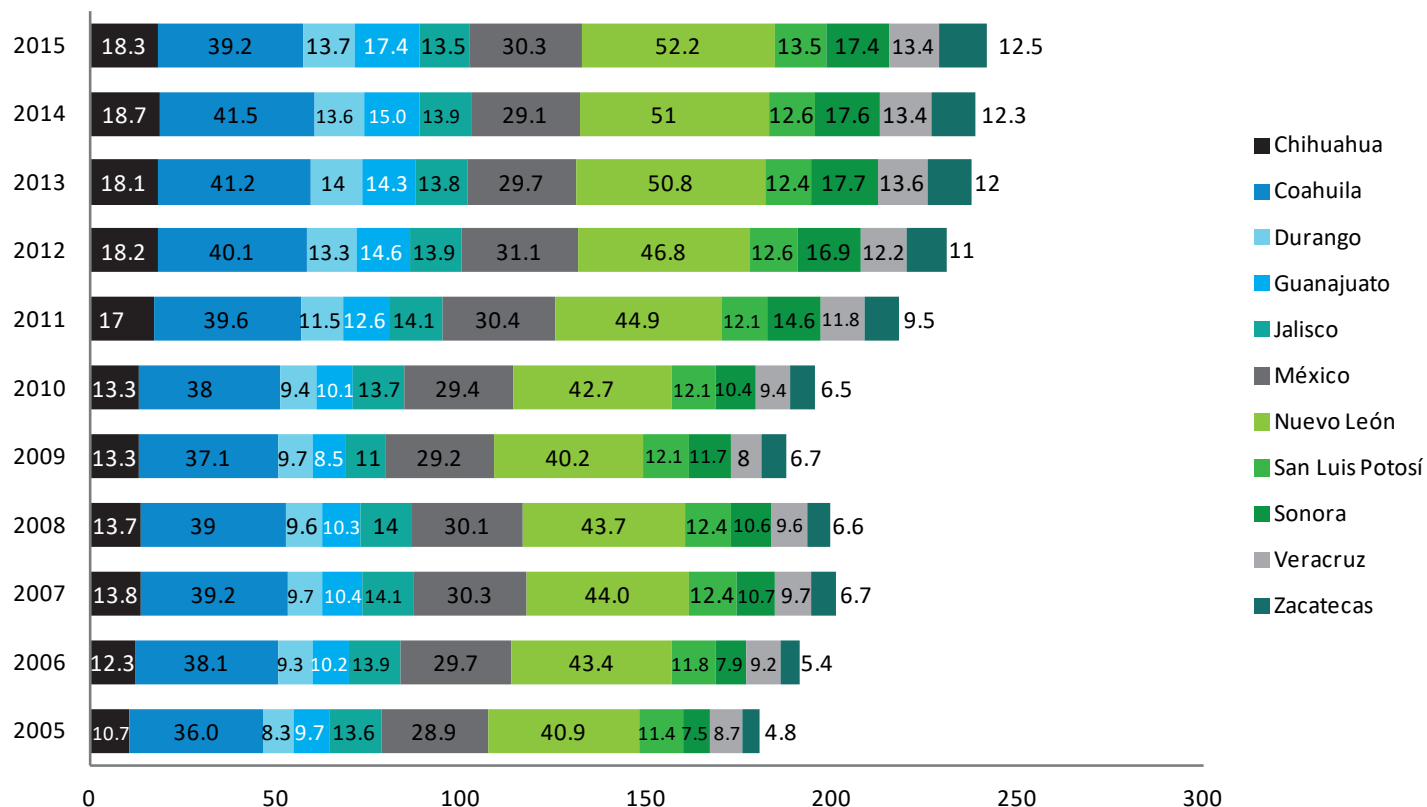
Fuente: SGM (2010, 2013, 2015 y 2016) y Camimex (2008, 2013, 2015 y 2016).

Según las cifras mostradas, Zacatecas genera el 3.6% de empleo minero-metalúrgico en el país. A nivel nacional, desde 2010 el empleo en el sector minero-metalúrgico ha crecido continuamente, en 2015 consiguió su nivel máximo con 344,912 personas empleadas, esto es 1.2% más que en 2014, con 4,095 nuevos empleos. En los últimos años, tres entidades federativas han creado la mayor cantidad de nuevos empleos en la industria minera, Nuevo León (15.2%), Coahuila (11.4%) y Estado de México (8.8%) (véase gráfica 1.18).

La gráfica muestra que los estados como Durango, Sonora y San Luis Potosí, aunque en menor medida, también son importantes en la generación de fuentes de empleo en la minería.

Desde 2013, la minería nacional ha disminuido su participación en la economía mexicana, por la caída de los precios de internacionales de los metales y la creación de nuevos impuestos, cuya carga tributaria total es del 50% de su utilidad fiscal. En este marco, las inversiones en el sector se contrajeron afectando directamente la dinámica en la generación nuevos empleos. Entre 2013 y 2015, la inversión en el sector ascendió a 16 mmdd y se crearon 16,357 nuevos empleos, cifras que están muy por debajo de las estimaciones que se realizaron para los próximos seis años, en los que se pretendía una inversión de 30 mmdd y 100,000 nuevos empleos, pero la imposición tributaria originada en 2014 desincentivó las expectativas en el sector (Camimex, 2016).

Gráfica 1.18. Empleo en el sector minero por entidad seleccionada, 2000-2015  
(Miles de personas)



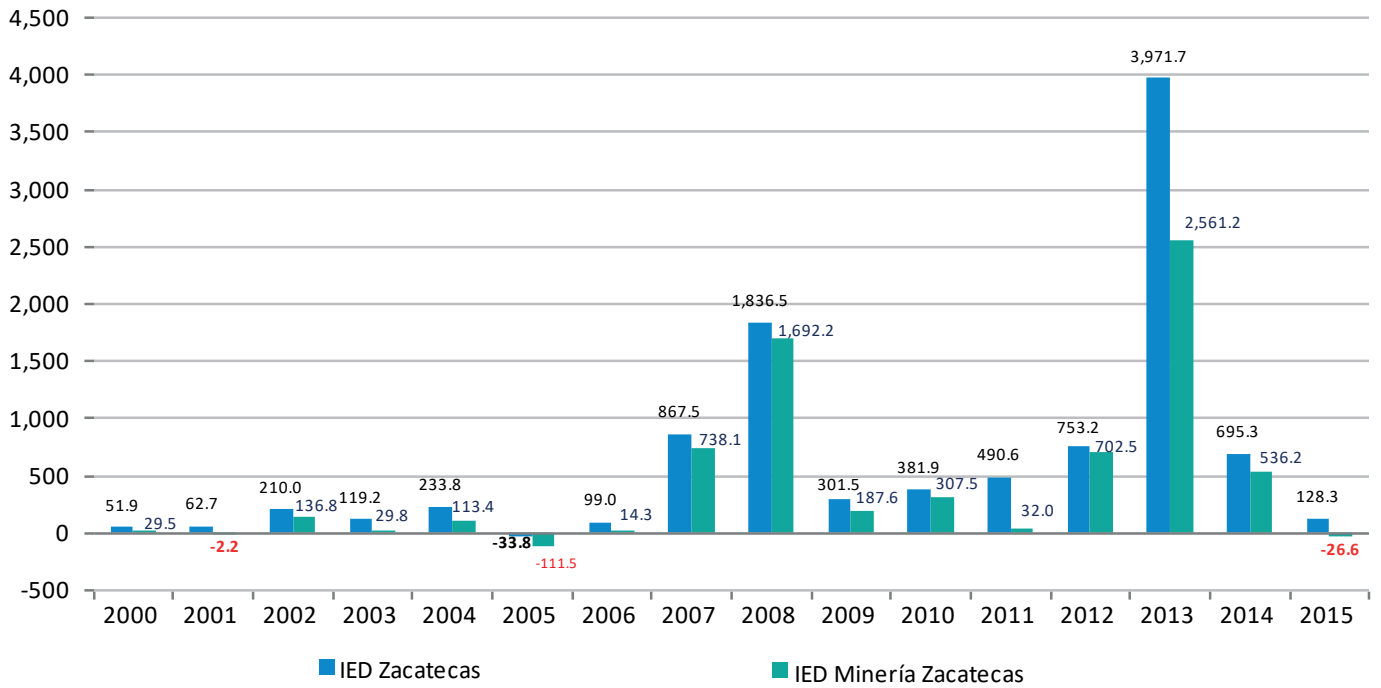
Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2010, 2015 y 2016).

## 1.5. Inversión en minería en Zacatecas

De acuerdo con la Sezac (2016), México es el principal receptor de inversión en minería de Latinoamérica. En 2015 la inversión extranjera directa (IED) dirigida al sector minero mexicano alcanzó un monto por 4,630.4 mdd. En Zacatecas, la IED orientada a la minería atrajo su monto máximo en 2013 con 2,561.2 mdd, no obstante, para 2014 y 2015 se redujo a 536.2 y -26.6 mdd respectivamente (véase gráfica 1.19).

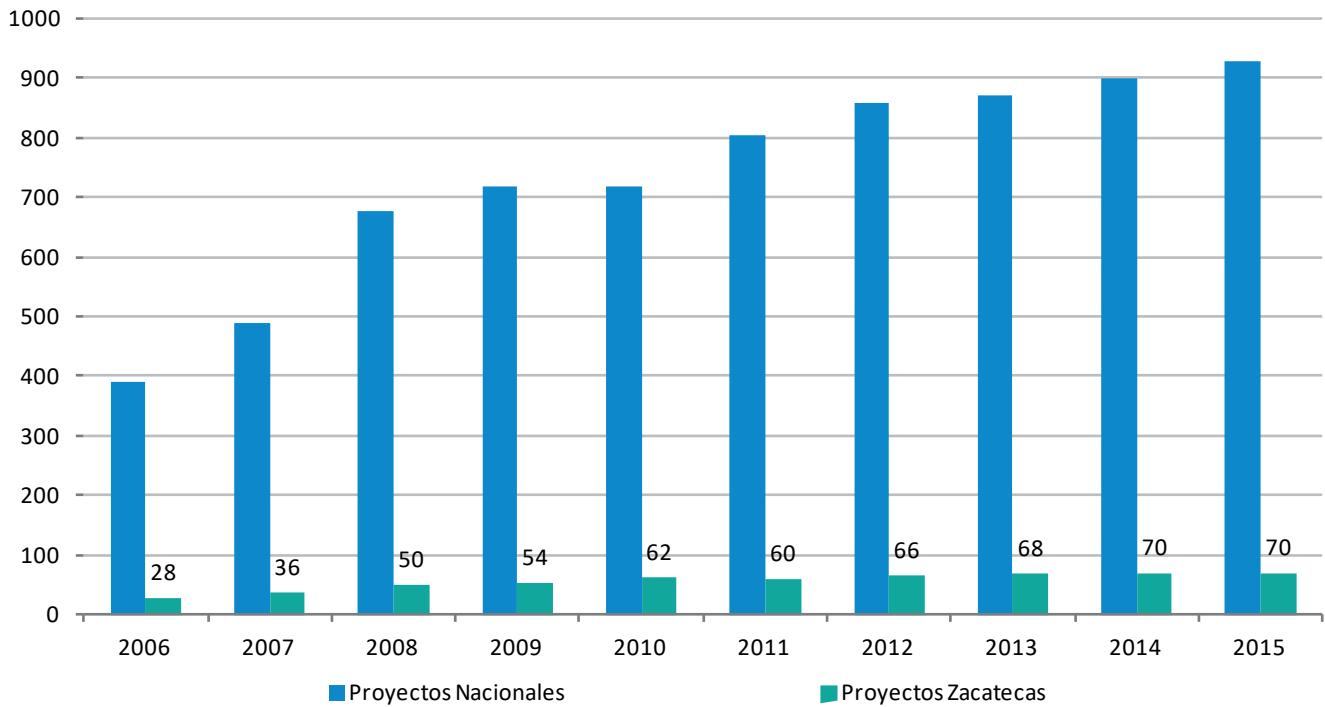
Como se ha mencionado, existen condiciones negativas que han propiciado que las empresas mineras demoren las inversiones en nuevos proyectos. De acuerdo con datos del Registro Nacional de Inversión Extranjera de la Secretaría de Economía (SE), en 2015 se cancelaron diversas inversiones en la minería por -26.6 mdd, situación que imposibilitó el aumento en el número de proyectos en la entidad, permaneciendo un número de 70 proyectos, cifra idéntica al año previo.

Gráfica 1.19. Zacatecas: IED en minería y estatal, 2000-2015  
(Millones de dólares)



Fuente: elaboración propia con datos de la SE (2015a).

Gráfica 1.20. Número de proyectos nacionales y del estado de Zacatecas, 2006-2015

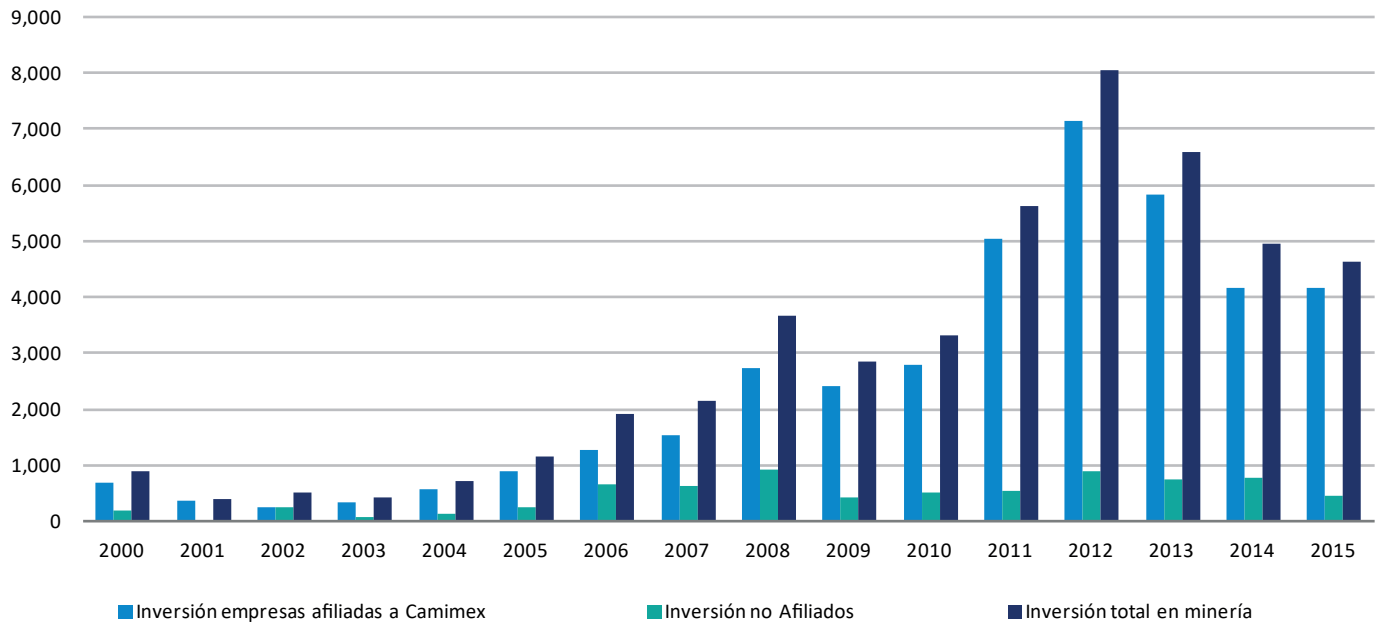


Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2010, 2015 y 2016).

La gráfica anterior muestra que en la última década, el número de proyectos en la entidad ha tenido una tendencia moderadamente creciente, salvo en 2011 y 2015 que mantuvo el mismo número de proyectos que en 2014.

A nivel nacional, entre 2000 y 2015, la inversión en el sector minero fue creciente en casi todo el periodo y alcanzó su monto máximo en 2012 con 8,043 mdd, sin embargo, comenzó a disminuir en los siguientes años hasta llegar a 4,630 mdd en 2015, 6.4% menor que en 2014 y 42.4% menor que en 2012. Del monto total de la inversión en el sector, la mayor participación proviene de las empresas afiliadas a la Cámara Minera de México (Camimex) y en menor proporción de los no afiliados, tal como se aprecia en la siguiente gráfica.

Gráfica 1.21. Inversión minera en México, 2000-2015  
(Millones de dólares)

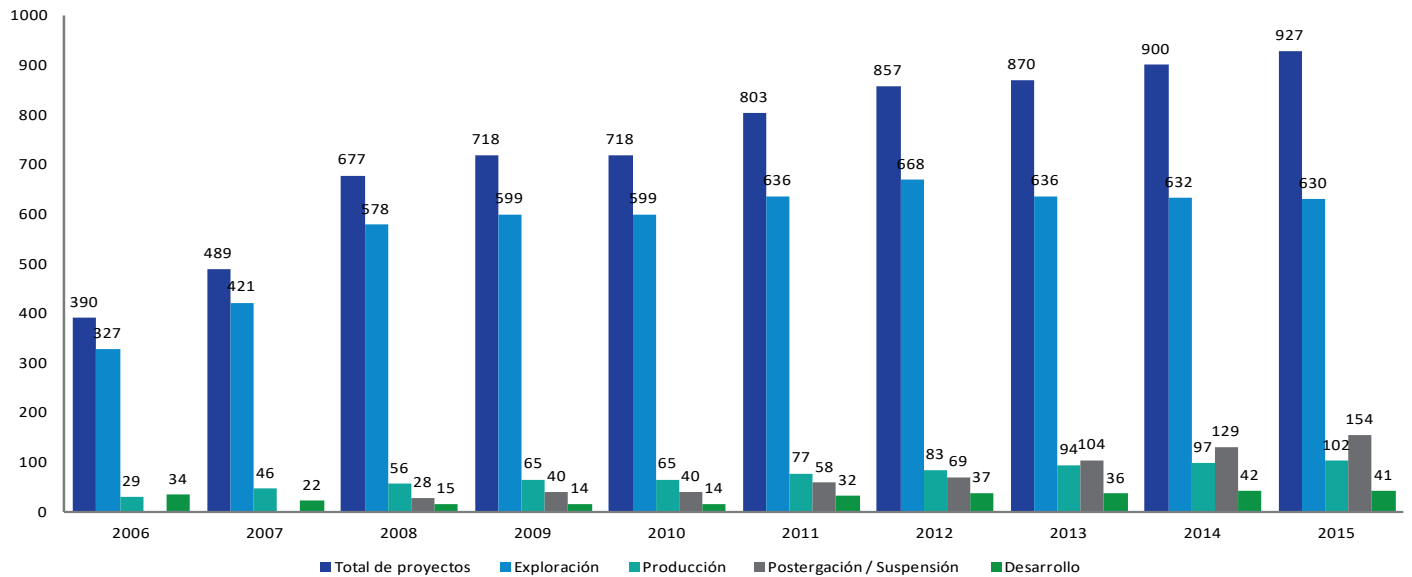


Fuente: SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

En 2015 existían 267 empresas extranjeras que operaban 927 proyectos en el territorio nacional, de éstas, el 65% eran de Canadá (173 empresas), 17% de Estados Unidos (44), 5% de China (13) y 2% de Japón (5). También había 4 empresas de Reino Unido, 4 de Corea, 3 de España, 2 de Chile, 2 de India, y 1 de Italia, Bélgica, Perú, Luxemburgo, Suiza, Irlanda, Francia y Filipinas (SGM, 2016).

Entre 2006 y 2015, el número de proyectos en el sector minero mantuvo una tendencia creciente, pese a que el nivel de inversión había disminuido en los últimos años, la exploración fue la actividad más afectada al reducir el número de proyectos desde 2013, en contraste, el número de proyectos aumentó en todo el periodo y lo mismo sucedió con los proyectos postergados. Esta situación empeoró porque no fue posible deducir fiscalmente los gastos preoperativos de exploración en el mismo año en que se realizaron (Camimex, 2016). En cuanto a los proyectos en desarrollo, éstos presentaron un periodo fluctuante, tal como se observa en la siguiente gráfica.

Gráfica 1.22. Inversión en proyectos por etapa en México, 2006-2015  
(Número de proyectos)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2010, 2015 y 2016).

De estos proyectos, alrededor de 580 (64%) se relacionan con oro y plata; 117 (12.9) con polimetálicos; 123 (13.6%) con cobre; 51 (5.6%) con hierro y 31 (3.4%) se vincula con otros metales y minerales. (SGM, 2016). De acuerdo con el Fraser Institute, México se ubica en el lugar 37 de 109 en el índice de atracción de inversiones. En cuanto a la inversión extranjera directa, México registró por primera vez una salida de capitales por 32.8 mdd en el rubro de minerales metálicos (Camimex, 2016).

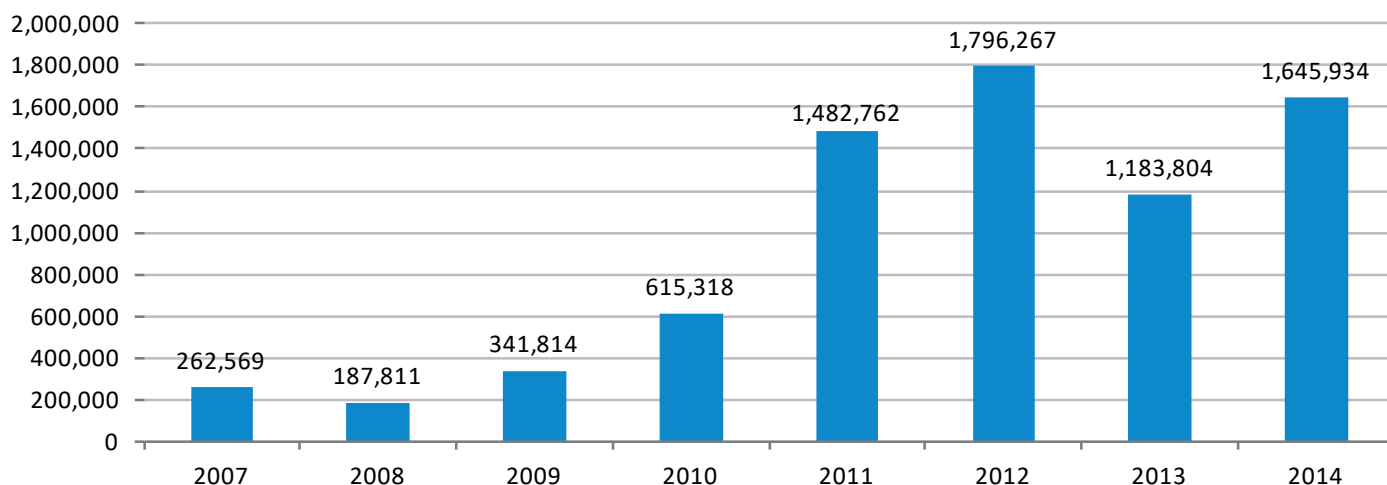
El SGM señala que empresas con capital extranjero tienen presencia en 25 entidades del país, realizando actividades de minería, cuyos proyectos se concentran principalmente en los estados de Sonora (221 proyectos), Chihuahua (125), Durango (100), Sinaloa (99), Zacatecas (70), Jalisco (61), Guerrero (37), Oaxaca (34) y Nayarit (22) (SGM, 2016). De acuerdo con la Secretaría de Economía, entre 2000 y 2015, los estados que atrajeron mayor inversión extranjera directa en el sector minero fueron Zacatecas, Chihuahua, Sonora y Guerrero.

El Registro Nacional de Inversión Extranjera de la Secretaría de Economía señala que, en 2015, se registró la cancelación de inversiones en el sector minero en diversos estados como Durango (-41.8 mdd), Sonora (-3.3 mdd) y Zacatecas (-26.6 mdd), situación que, como se ha mencionado, repercute en otros indicadores económicos como el empleo.

## 1.6. Exportaciones minero-metalúrgicas de Zacatecas

En el periodo 2007-2014, las exportaciones minero-metalúrgicas registraron dos años de decrecimiento; 2014 registró un crecimiento de 39% en relación con el año previo, al alcanzar 1.6 mmdd, lo que representó el 53.3% de las exportaciones en la entidad. La TMCA en ese periodo fue de 29.9% (véase gráfica 1.23).

Gráfica 1.23. Valor de las exportaciones minero-metalúrgicas de Zacatecas, 2007-2014  
(Miles de dólares)



Fuente: Sezac (2015) e Inegi, BIE (2017).

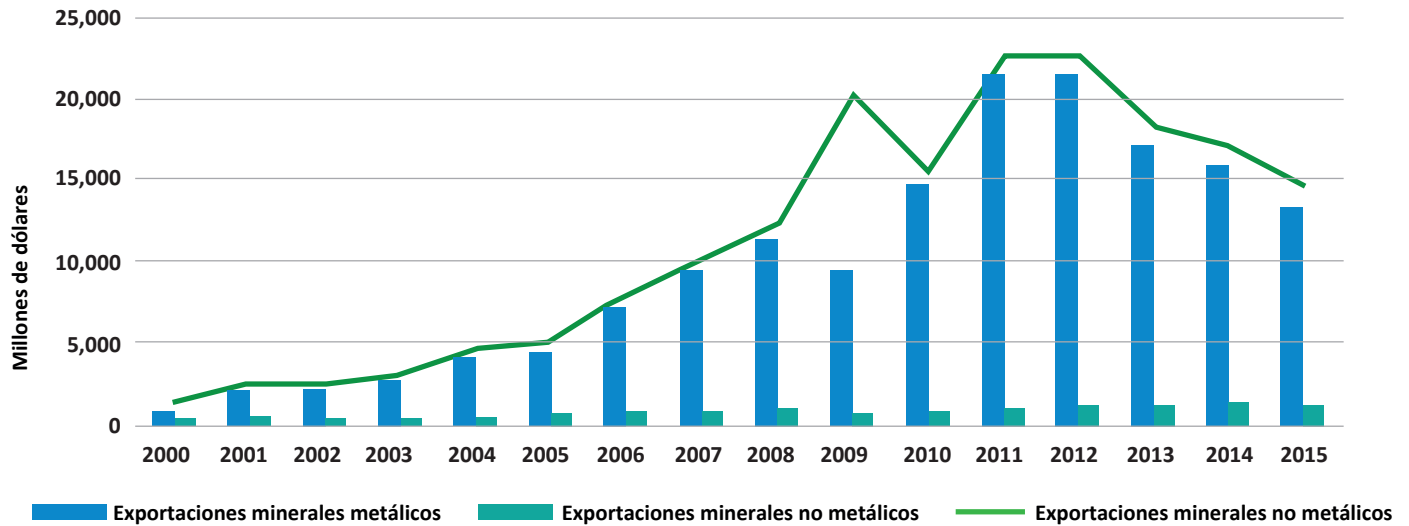
La Secretaría de Economía de Zacatecas (2015) señala que las exportaciones minero-metalúrgicas alcanzaron 5.7 mmdd en 2014, de éstas el 92.6% se concentró en nueve estados encabezados por Zacatecas (28.6%), le siguieron Chihuahua (16.1%), Sonora (15.5%), Durango (9.1%), Guerrero (8.5%), Sinaloa (5.0%), Michoacán (4.6%), Oaxaca (2.7%) y Baja California Sur (2.6%).

A nivel nacional, durante el periodo 2000-2015, las exportaciones minero-metalúrgicas presentaron una tendencia creciente hasta el 2010, año en que disminuyeron las ventas al exterior en 22.89% en comparación con el año anterior, situación similar ocurrió entre 2013 y 2015. En el último año, las exportaciones decrecieron 14.5% con respecto al año previo al sumar 14,648 mdd. El precio de los metales cuya tendencia se mantenía a la baja incidió en el comportamiento de las exportaciones. La TMCA en el periodo fue de 17.5%, siendo moderadamente aceptable ya que continúa con un superávit, aunque menor en los últimos tres años.

Pese a que las ventas externas disminuyeron en 2015, los minerales metálicos contribuyeron con el 92.2% (13,511 mdd) y los no metálicos con 7.8% (1,137 mdd) en las exportaciones minero-metalúrgicas totales (véase gráfica 1.24). El destino de las exportaciones mineras mexicanas son las regiones de América (59.5%), Europa (16.2%) y otros países (24.3%).

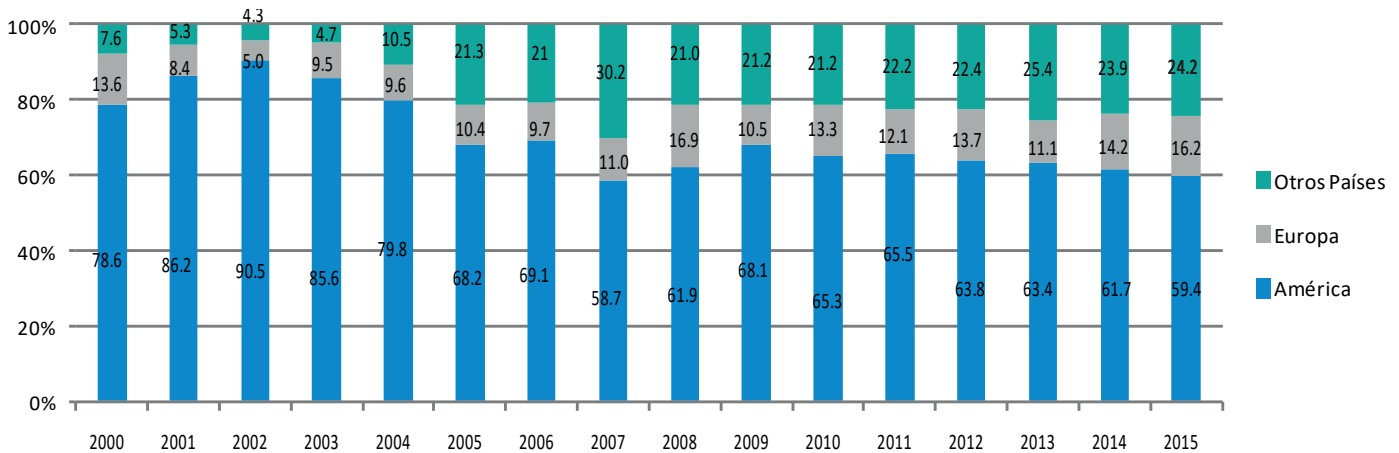
En 2015 las exportaciones al continente americano se dirigieron principalmente a Estados Unidos (87.4%), Canadá (4.7%), Brasil (2.8%) y Perú (1.9%), que en conjunto sumaron el 96.9%. En Europa, los países importadores fueron Suiza (42.1%), Bélgica (20.7%), Reino Unido (15%) y Alemania (4.3%), los cuales contribuyeron con el 82.1%. Por último, China (43.1%), Corea del Sur (29.1%) y Japón (8.6%), registraron el 80.8% de las exportaciones a Asia. En ese año, las exportaciones mineras metálicas y no metálicas alcanzaron los 14.6 mmdd.

Gráfica 1.24. Exportaciones minero-metalúrgicas, minerales metálicos y minerales no metálicos en México, 2000-2015 (Millones de dólares)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Gráfica 1.25. Exportaciones mineras de México por áreas geográficas, 2000-2015 (Porcentajes)



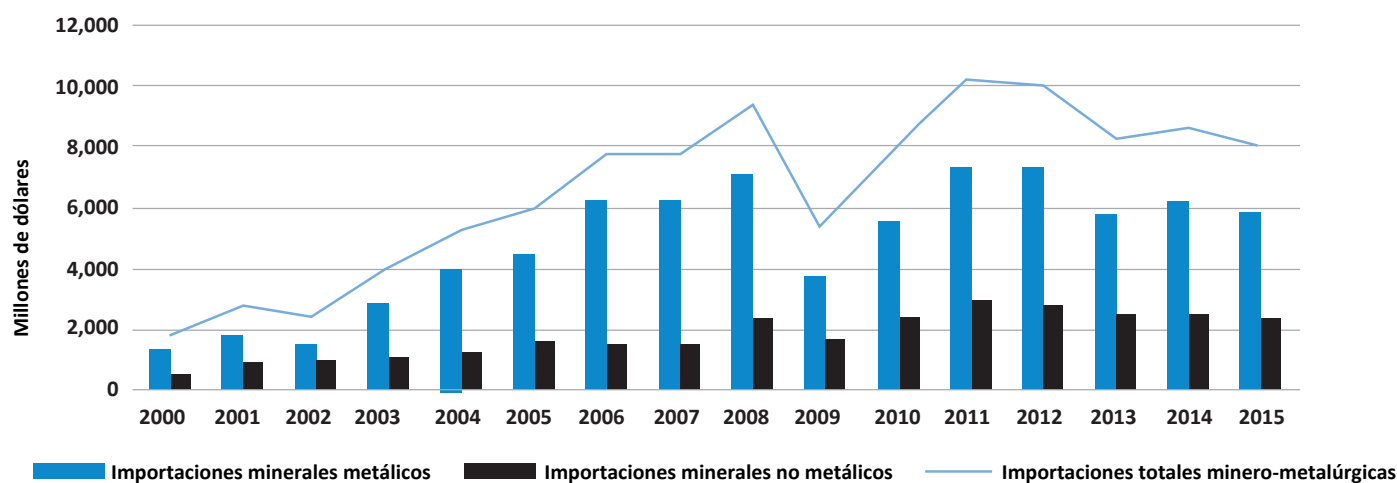
Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

## 1.7. Importaciones minero-metalúrgicas de México

A nivel nacional, en el periodo 2000-2015, las importaciones minero-metalúrgicas disminuyeron en seis años, siendo el más representativo el 2009 con 43.6% (5.20 mdd) menos que el año previo<sup>3</sup>. Para 2015 las compras al exterior se redujeron 5.47% en comparación con 2014 al sumar 8,150 mdd. Las importaciones alcanzaron su nivel máximo en 2011 con 10,236 mdd. El periodo registró una TMCA de 10.5%.

En 2015 los minerales metálicos representaron el 71% (5,779 mdd) de las importaciones minero-metalúrgicas, mientras que los minerales no metálicos lo hicieron con el 29% (2,371 mdd) (véase gráfica 1.26).

Gráfica 1.26. Importaciones minero-metalúrgicas, minerales metálicos y minerales no metálicos en México, 2000-2015 (Millones de dólares)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

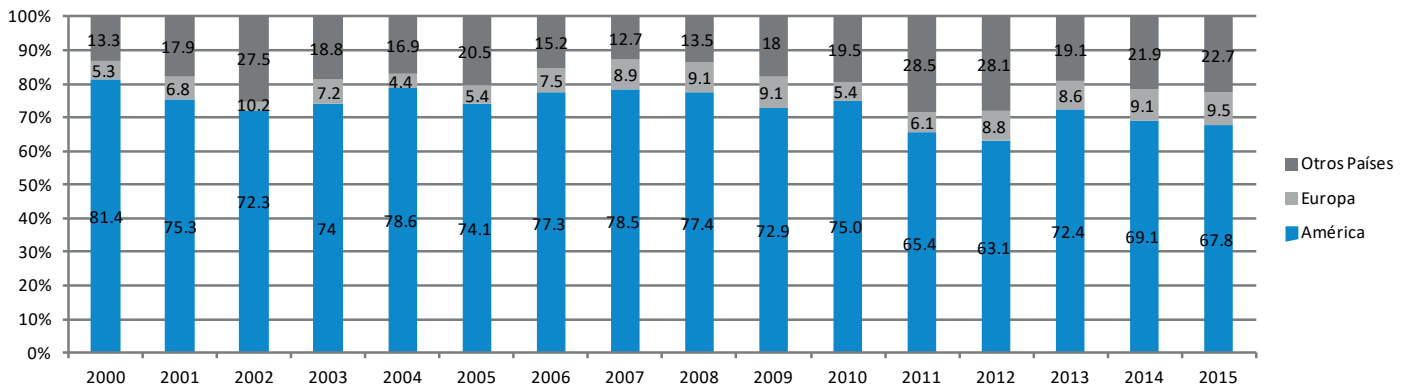
El origen de las importaciones mineras está en las regiones de América (67.8%), Europa (9.5%) y otros países (22.7%), principalmente.

En 2015 las importaciones mineras provinieron de Estados Unidos (74.6%), Canadá (12.6%), Brasil (3.9%) y Chile (3.4%), que en conjunto sumaron el 94.4% de las compras al continente americano. En Europa se importaron minerales de Rusia (48.7%), Alemania (13.8%), Italia (8.4%) y España (7.4%), los cuales representaron el 78.3%. Otros países, como India (26.5%), China (20.3%), Australia (18.5%) y Marruecos (5.15%), alcanzaron en conjunto el 70.5% de sus exportaciones mineras a México. En ese año, las importaciones mineras metálicas y no metálicas alcanzaron los 8.1 mmdd.

<sup>3</sup> Las cifras de las importaciones para el estado de Zacatecas no han podido ser obtenidas para el presente estudio.



Gráfica 1.27. Importaciones mineras de México por áreas geográficas, 2000-2015 (Porcentajes)

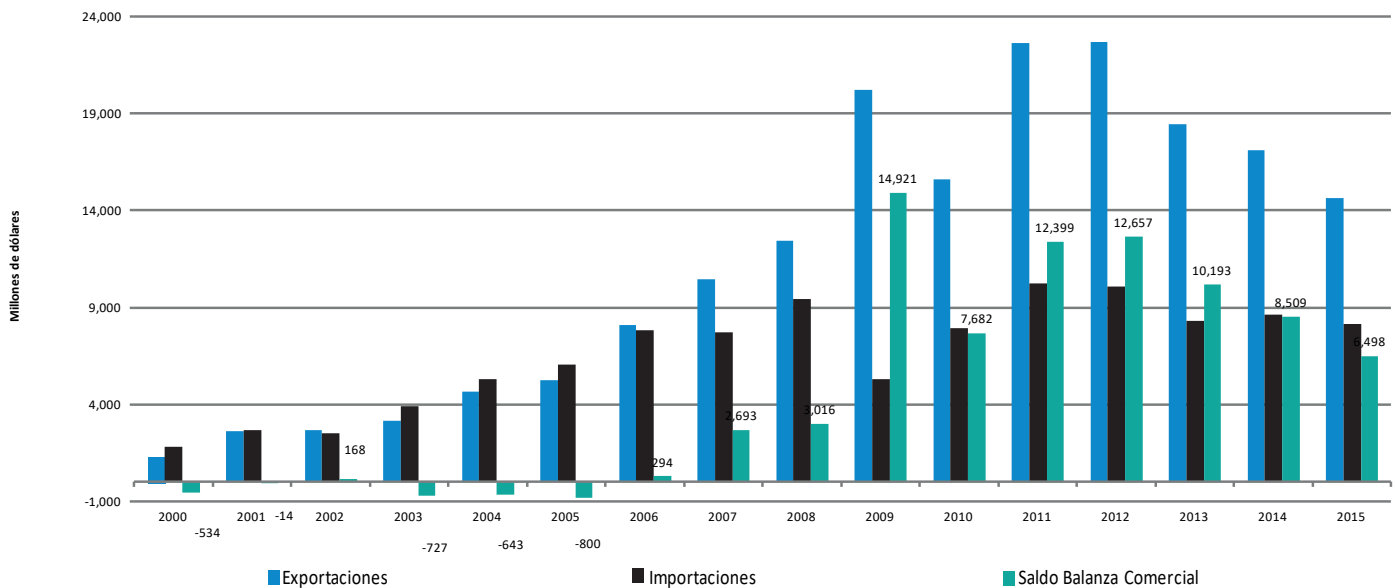


Fuente: elaboración propia con información del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

## 1.8. Balanza comercial minero-metalúrgica

La balanza comercial minero-metalúrgica de México registró entre 2000 y 2005 un saldo deficitario, con excepción de 2002. En contraste, a partir de 2006 el saldo fue superavitario, alcanzando su monto máximo en 2009 con 14,921 mdd. Cabe mencionar que el monto de ese año no ha podido superarse y para 2010, el superávit disminuyó 48.5%; situación similar ocurrió entre 2013 y 2015, en este último año la balanza comercial decreció 23.6% en comparación con 2014, con 6,498 mdd (véase gráfica 1.28).

Gráfica 1.28. Balanza comercial minero-metalúrgica de México, 2000-2015 (Millones de dólares)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005,2010,2015 y 2016).

Por su parte, los minerales metálicos contribuyeron mayormente en la balanza comercial minero-metalúrgica. Entre 2000 y 2015, estos minerales registraron un saldo positivo, salvo en los años 2000 y 2003; alcanzaron su monto máximo en el año 2011 con un superávit de 14,302 mdd, sin embargo, a partir de ese año, el superávit comienza a decrecer, llegando a 2015 con una balanza positiva de 7,732 mdd, es decir, 20.6% menos que el año anterior. En contraste, los minerales no metálicos mantuvieron una tendencia negativa en todo el periodo, con excepción del año 2003. En 2011, con una balanza deficitaria, obtuvo su monto máximo con 1,903 mdd y, aunque esta tendencia se redujo moderadamente, en 2015 alcanzó la cifra de 1,233 mdd, casi 1% menos que en 2014.

En general, los productos minerales metálicos y no metálicos de mayor exportación en los últimos años han sido oro, cobre, fierro, plata, plomo, zinc, abrasivos naturales, cemento, carbón, fluorita, grafito, rocas dimensionales y sal. Por su parte, las importaciones más demandadas por México son aluminio, fierro, cobre, carbón sodio y piedras preciosas.

Habrà que desarrollar un conjunto de estrategias que permitan incrementar el nivel de exportaciones, ya que aun cuando México tiene una balanza comercial positiva, ésta ha sostenido una trayectoria decreciente en los últimos años.

### 1.9. La seguridad en la industria minera

En la actualidad, uno de los principales ejes de la industria minera es la seguridad, alcanzar el cero en accidentes y pérdidas humanas, es el reto que se han puesto las empresas del sector para los próximos años. La industria ha estado trabajando por desarrollar una cultura de la seguridad a través de los procesos de inducción de los trabajadores, sistemas de gestión de seguridad, una mayor fiscalización en la aprobación y regularización de los proyectos mineros y en la capacitación en seguridad de los colaboradores, entre otros.

Por la aparición de regulaciones cada vez más estrictas, la tendencia a nivel mundial de la industria minera es desarrollar estrategias impulsadas principalmente por la seguridad del personal y la gestión ambiental. Por otra parte, la disminución de la ley en los yacimientos y la profundidad a la que hay que llegar para extraer los minerales ha ocasionado que otro factor impulsor del cambio se relacione con la reducción de costos de operación a través del desarrollo tecnológico e innovación. De hecho, el cambio tecnológico permitirá una mejor planeación y toma de decisiones oportunas en relación con esos tres pilares.<sup>4</sup>

De acuerdo con diversos estudios, aun cuando el tema de la seguridad está comprendido en toda la cadena de valor, destacan las etapas de explotación, obtención y rehabilitación.

- ▶ La etapa de explotación se está transformando gracias al uso de las TIC, mediante las cuales se introducen procesos para el máximo aprovechamiento de los yacimientos, asumiendo la protección al medio ambiente y la seguridad del personal.
- ▶ La etapa de obtención o concentración de minerales busca desarrollar procesos más eficientes, tecnologías secas de concentración y disminución del uso de cianuro, para reducir el impacto ambiental.
- ▶ La etapa de rehabilitación, ha cobrado mayor relevancia en los últimos años debido

<sup>4</sup> “El Convenio núm. 176 de la OIT sobre Seguridad y Salud en las Minas, respaldado por sindicatos fuertes, puede cambiar la cultura de seguridad. Adoptado en 1995, este Convenio presenta el marco para que los países creen un entorno minero seguro, con requisitos para las empresas y derechos para los trabajadores. El Convenio responsabiliza a los gobiernos de la creación del marco de implementación, y a los empleados de garantizar la seguridad en las minas. Pero el aspecto más importante del Convenio es el derecho de los trabajadores a una representación de seguridad independiente, así como el derecho a rechazar el trabajo inseguro. Esto permite que los sindicatos se organicen”.

a una mayor reglamentación. Esta etapa se relaciona con la planeación orientada a diseñar estrategias que permitan reducir los contaminantes a través de simulaciones y delineando procesos de bajo impacto para el ecosistema desde el inicio de las operaciones.

En México, particularmente el sector minero del estado de Zacatecas, a través del trabajo desempeñado por el Clusmin, ha desarrollado estrategias de prevención y protección en los tres pilares previamente mencionados. Se han llevado a cabo cursos, talleres y diplomados relacionados con la legislación ocupacional, aspectos geofísicos del ambiente laboral, patologías por riesgos laborales, medidas preventivas y administración de servicios de salud, relaciones laborales, equipos mineros y prevención de accidentes. También se han diseñado estrategias relacionadas con el cumplimiento a la normatividad ambiental, la evaluación de impactos y riesgos ambientales, la ecoeficiencia, la eficiente administración de recursos y talento humano. Asimismo, diversas empresas integrantes del Clusmin han obtenido certificaciones de calidad ambiental. En estas actividades participan el gobierno de la entidad, instituciones de educación superior, empresas mineras, proveedoras y contratistas, principalmente.

Como resultado de estas acciones, de acuerdo con la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STyPS), en 2013 Zacatecas registró 873 accidentes, de éstos, 105 pertenecen al sector minero-metalúrgico y para 2014, de los 141 accidentes en la entidad, el sector minero sumó apenas 11.<sup>5</sup>

En este contexto, mientras empresas nacionales y extranjeras, dependencias gubernamentales y otras organizaciones como Camimex, señalan que la seguridad en las minas de México es una prioridad, para organismos internacionales como Ocmal (Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina) y el grupo de trabajo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre Empresas y Derechos Humanos, señalan que México es de los países que encabezan la lista con más conflictos mineros en Latinoamérica en materia ambiental, seguridad de personal, uso excesivo de recursos naturales y subcontratación por mencionar algunos. Por ello, debe reforzarse la atención a la aplicación de normas y leyes en esta industria; asimismo, debe existir un monitoreo sobre los accidentes, enfermedades y conflictos que se generan, y sobre las acciones que las autoridades están tomando al respecto; ya que algunos estudios señalan que muchos de los problemas que se presentan no quedan registrados (Ocmal, 2016).

## 1.10. Participación de los proveedores en la industria minera

Una de las características más importantes en la industria minera es el papel que desempeñan los proveedores. La innovación en la minería está determinada por los proveedores especializados, es decir, las empresas mineras adquieren las innovaciones tecnológicas y conocimientos de fabricantes de equipo, desarrolladores de sistemas y firmas de ingeniería (Pavitt, 1984).

Las actividades que desarrollan las empresas proveedoras se concentran principalmente en:

- ▶ Generación de innovaciones y conocimiento. La principal fuente de desarrollos tecnológicos e innovadores de alto impacto para afrontar los problemas en el sector minero en temas como productividad, seguridad, sustentabilidad, eficiencia operativa,

<sup>5</sup> Si bien es cierto que muchos aspectos en materia de seguridad no están registrados por el factor subcontratación, también es evidente el esfuerzo que el sector minero de la entidad está haciendo sobre estos temas.

energética y en el uso del agua, principalmente son investigadas y desarrolladas por las empresas proveedoras. Los proveedores tienen un amplio conocimiento de los problemas operacionales y técnicos a los que se enfrenta el sector minero, por tanto, a través de centros de investigación y desarrollo, laboratorios y talleres mecánicos y de mantenimiento propios, ofrecen alternativas clave para resolver los desafíos generales o particulares de las unidades mineras. Para la industria minera, el hilo conductor de la innovación está presente en los proveedores, particularmente en aquellos con orientación emprendedora con disposición a invertir y correr riesgos, con el firme propósito de incursionar en más mercados.

- ▶ Reducción de costos operativos y riesgo de la inversión. En los últimos años, el crecimiento del sector minero y los desafíos tecnológicos, operativos y de conocimiento especializado que requiere cada una de las etapas de la cadena de valor, han llevado a las empresas mineras a subcontratar los servicios especializados como una estrategia para reducir los costos operativos, a través de la externalización de servicios o productos, lo cual implica que las empresas proveedoras realizan actividades específicas con personal altamente calificado, aportando soluciones eficientes en las distintas tareas de la producción minera. Por su parte, las empresas mineras enfocan sus recursos humanos en actividades relacionadas con la producción de minerales.
- ▶ Sustentabilidad y competitividad. A través de las capacidades tecnológicas, la productividad y la calidad de los productos y servicios que ofrecen las empresas proveedoras, aseguran la sustentabilidad y competitividad de las empresas mineras que contratan sus servicios. El trabajo de las empresas proveedoras permite desarrollar servicios especializados que proporcionan soluciones alternas intensivas en conocimiento con el potencial para ser escaladas y exportadas a otros sectores.
- ▶ Alianzas estratégicas entre empresas proveedoras y mineras. Los proveedores desarrollan innovaciones en productos y procesos de manera propia y conjunta a través de alianzas y/o colaboraciones en investigación y desarrollo con otras instituciones, centros de investigación, universidades y empresas mineras para atender las demandas del sector alineadas con sus principales retos tecnológicos y de gestión. En este sentido, las alianzas estratégicas entre los diferentes agentes fortalecen el círculo virtuoso de la innovación y favorece el desarrollo de políticas o lineamientos internos con el objetivo de compartir conocimiento e información, mejorar la competitividad, calidad de los servicios y reducción de costos.

De acuerdo con Pavitt (1984), las empresas proveedoras suministran equipo, bienes de capital, herramientas, instrumentos, conocimiento especializado y experiencia a las empresas con las cuales mantienen una estrecha relación proveedor-usuario (empresa). Por su parte, las empresas proveen de experiencia operativa probando, diseñando y desarrollando recursos para los proveedores. Por ello, el origen del cambio técnico no se localiza precisamente en los departamentos de ingeniería o de Investigación y Desarrollo (I+D), sino en las relaciones proveedor-usuario en un proceso continuo de innovación basado en la acumulación de conocimiento, aprendizaje y experiencia.

Para el presente estudio se realizaron entrevistas a los actores clave del sector minero, entre los que se encuentran las empresas mineras, empresas proveedoras e instituciones de educación superior, entre otros. En Zacatecas se entrevistaron a 18 empresas proveedoras<sup>6</sup>, de éstas, sólo 11 respondieron la encuesta relacionada con la proveeduría a em-

---

6 Desarrollos Mineros y Voladuras (DMV), Dicom Fresnillo, Asesoría, Montaje y Mantenimiento Mecánico (AM-MMEC), Taller Eléctrico Luna, Multiled, Servicios Industriales de Construcción Industrial y Edificación (SICIE), Transportes Mineros Martínez, Instalaciones Eléctricas Martínez (IEM), Lasec Comunicaciones, Grupo Terra, Reparación y Mantenimiento de Maquinaria y Equipo Industrial (REMSA), entre otras.

presas mineras<sup>7</sup>. De acuerdo con los resultados, 32% proveen a las empresas mineras en las etapas de explotación y producción; 26.75% en todas las etapas; 21.02% en extracción, producción y rehabilitación; 12.74% en explotación; 5.1 en extracción; 1.7% en producción y rehabilitación y 0.62% en otras actividades.

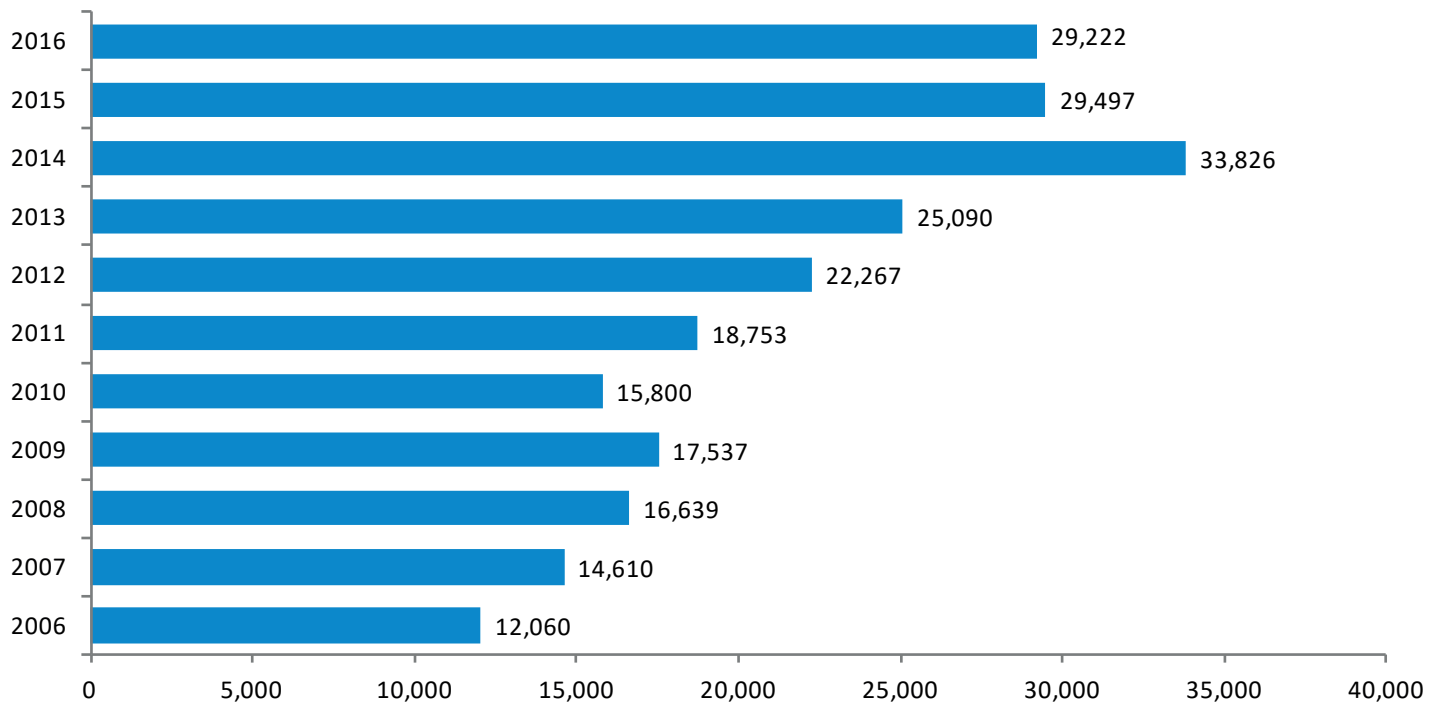
Los servicios de mayor demanda de proveeduría por parte de los grupos mineros estudiados son equipo especializado, servicios de reparación, mantenimiento preventivo y correctivo a motores y bombas sumergibles, construcción de minas, minería subterránea, perforación a la construcción y desarrollo minero.

## 1.11. Régimen fiscal del sector minero

Previamente se ha señalado que uno de los principales retos que enfrenta actualmente la industria minera en México, es el pago de impuestos. La reforma hacendaria que entró en vigor en 2014, trajo para el sector minero en México una mayor carga fiscal que incorpora tres nuevos derechos a la minería: el derecho especial del 7.5%; el derecho extraordinario del 0.5% a los ingresos derivados de la enajenación del oro, plata y platino; y el derecho adicional sobre la minería que debe pagar un 50% más de la cuota establecida por concesiones no exploradas o no explotadas durante dos años continuos (Camimex, 2016).

De acuerdo con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), en 2016 el sector extractivo recaudó por concepto de Impuesto sobre la Renta (ISR) alrededor de 29,222 millones de pesos (mdp), esto es 275 mdp menos que en 2015 (29,497 mdp) y 4,604 mdp menos que 2014 (33,826 mdp) (véase gráfica 29).

Gráfica 1.29. Pago del impuesto sobre la renta en el sector minero, 2006-2016  
(Millones de pesos)



Fuente: Camimex (2015 y 2017).

7 Grupos mineros: Peñoles SA de CV, Minera Frisco, SAB de CV, Fresnillo PLC SA de CV, Capstone Gold, SA de CV, First Majestic SA de CV, Goldcorp SA de CV, Minera Bacis SA de CV.

En 2016 el sector de minerales metálicos y no metálicos contribuyó con el 60.6% del total del ISR. Por su parte, los ingresos no tributarios sumaron 6,712 millones de pesos; esta cifra incluye el pago de derechos superficiales por 2,446 mdp, 361 millones más que en 2015. Asimismo, la recaudación por nuevos derechos fue de 2,700 mdp (Camimex, 2017).

Previamente a la aceptación de los nuevos derechos mineros, la minería había estimado para los siguientes seis años una inversión de 30 mil millones de dólares (mmdd) y la creación de 100,000 nuevos empleos, no obstante, con la reforma hacendaria y la caída de los precios internacionales de los metales, las inversiones se contrajeron y, a su vez, disminuyeron las exportaciones y la creación de empleo. En el periodo 2013-2015, se invirtieron 16 mmdd y se crearon 16,357 nuevos empleos, cifras inferiores a las proyectadas originalmente (Camimex, 2016).

Como resultado de la aplicación de nuevos impuestos a la minería, se creó el Fondo Minero para el Desarrollo Regional Sustentable, el cual, según la SHCP, en 2014, recaudó 2,589 mdp, de éstos, 2,079 mdp se distribuyeron a 199 municipios de 25 entidades mineras. Asimismo, en 2014, se pagaron 1,922 mdp por derechos mineros superficiales y 2,283 mdp en 2015. Cabe destacar que el sector minero adoptó medidas para el cuidado del medio ambiente y el desarrollo de las comunidades aledañas a las operaciones mineras. En 2016, la inversión de las empresas mineras en mejoras al medio ambiente e inversión social fue de 4,169 mdp (Camimex, 2017).

En el marco tributario mundial, la Guayana Francesa, Malasia y Botsuana ocupan las primeras posiciones, siendo países atractivos para la IED en el sector minero, por su parte, en América Latina, la Guyana Francesa, Salta (Provincia de Argentina) y Nicaragua encabezan la lista. En el caso de México, éste ocupa el lugar 65. Ante este panorama, las empresas, por estrategia, optaron por reducir inversiones en nuevos proyectos y depurar sus terrenos, priorizando las concesiones más rentables o económicamente más factibles.

Cuadro 1.4. Indicador de régimen fiscal (mejores posiciones)

Mundial				Latinoamérica			
País/Región	2015	2016	Var	País/Región	2015	2016	Var
Guayana Francesa	66	1	+65	1º Guayana Francesa	66	1	+65
Malasia	62	2	+60	2º Salta	73	11	+62
Botsuana	2	3	0	3º Nicaragua	46	33	+13
Irlanda	5	4	-3	4º Perú	55	36	+19
Finlandia	25	5	+20	5º Uruguay	84	41	+43

Fuente: Camimex (2017).

De acuerdo con el S&P Global Market Intelligence, en México, en 2016, las inversiones en exploración disminuyeron, apenas alcanzaron 401 mdd, esto es 90 millones menos que en 2015 y 831 millones menos que en 2012. Así, en el último año, la inversión total en la industria minera en México cayó 20.9%, provocada por los nuevos impuestos y la imposibilidad de deducir al 100% los gastos preoperativos de exploración en el año que se realizan; así como por las secuelas de la contracción de la economía china y la desaceleración económica en el país, generando un comportamiento negativo en los principales indicadores de la minería.

En consecuencia, en 2016, las empresas invirtieron 3,752 millones de dólares, esto es un decremento de 18.9% en comparación con 2015, y muy distante de los 6,576 millones de dólares invertidos en 2013 y los 8,043 millones de dólares de 2012.

La Secretaría de Economía señala que en 2016 se atrajeron 718 millones de dólares, 86.4% menos con respecto al máximo histórico y 66.2% con relación a 2014, no obstante, se observó una mejoría en comparación con el año anterior debido al repunte del precio de oro y plata, lo que propició que muchas empresas elevaran el gasto de capital e inversión, sobretodo en la adquisición de maquinaria y equipo, así como en expansión de proyectos.

Por ello, es imperante que se revise con mayor detenimiento la situación fiscal y la pertinencia de la reforma, ya que la reducción en inversiones y la salida de capitales repercute directamente en la creación de nuevos empleos, haciendo menos atractivo a México para las empresas mineras de capital extranjero y nacional.

## 1.12. Proyecciones de los principales indicadores mineros en México

De acuerdo con el Banco Mundial (2017) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2017), el comportamiento de la economía a nivel mundial en los próximos años es incierto, provocado por la contracción de varias economías (entre ellas la china y estadounidense, redujeron la demanda de *comodities*); la inestabilidad geopolítica en algunas regiones, el desequilibrio de los mercados financieros y la nueva política de Estados Unidos. Aunado a esto, en México, la depreciación significativa del peso frente al dólar, la caída de los precios de algunas mercancías como los metales, la reducción del crecimiento económico y el recorte presupuestal, son sólo algunos factores que inciden en los sectores de la economía nacional, como es el caso de la minería.

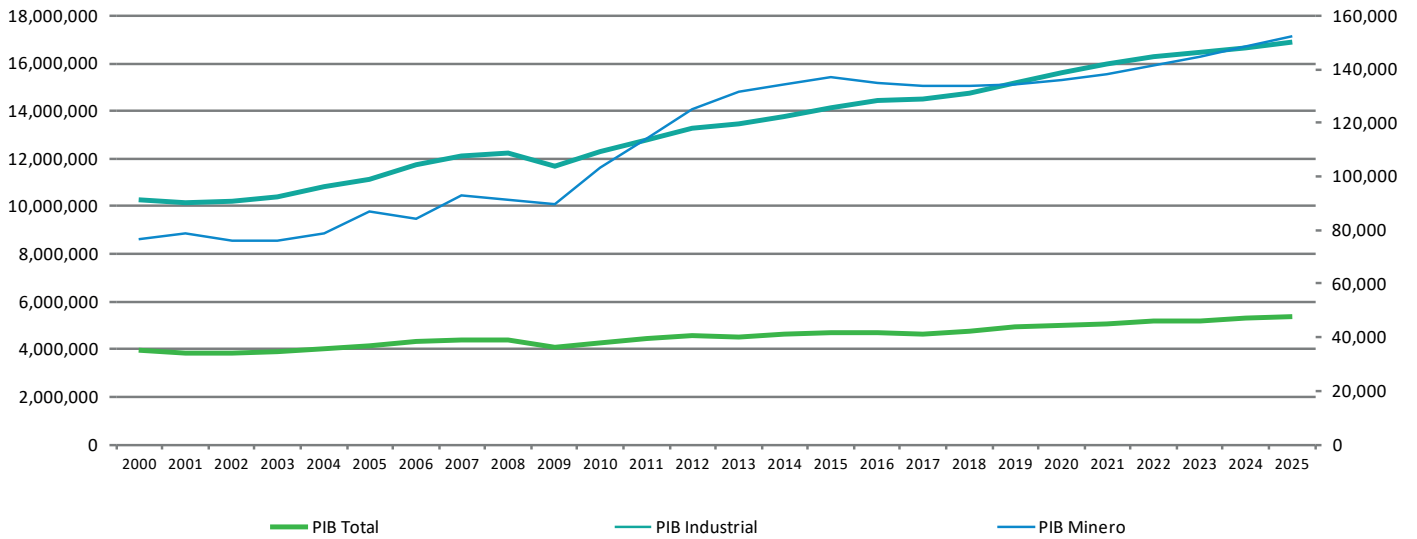
Pese a esto, el sector minero nacional resulta ser altamente competitivo, como se señaló anteriormente, es un sector que dinamiza la economía de la región productora así como su zona de influencia. Por ello, se presentan a continuación las proyecciones de las principales variables de este sector para el periodo 2000-2025.

Las proyecciones efectuadas a través del método Box-Jenkins, muestran que para el periodo 2000-2025, el PIB minero<sup>8</sup> registrará un crecimiento mayor al PIB nacional (2.1%) e industrial (1.3%), con una TMCA del 2.9%, debido a la demanda de minerales que son esenciales para sectores estratégicos a nivel nacional y mundial, como el eléctrico-electrónico, farmacéutico, automotriz y TIC, entre otros. La gráfica 1.30 evidencia que el sector minero contribuye de manera importante en la producción nacional.

En función de la proyección de la producción de los principales minerales metálicos en México, se estimó que éstos mantendrán una tendencia creciente. Se calcula que la producción de oro registrará el mayor dinamismo con una TMCA de 3%, le seguirán el cobre (2.09%), plata (1.88%), zinc (1.14%) y plomo (0.76%) para el periodo 2016-2015.

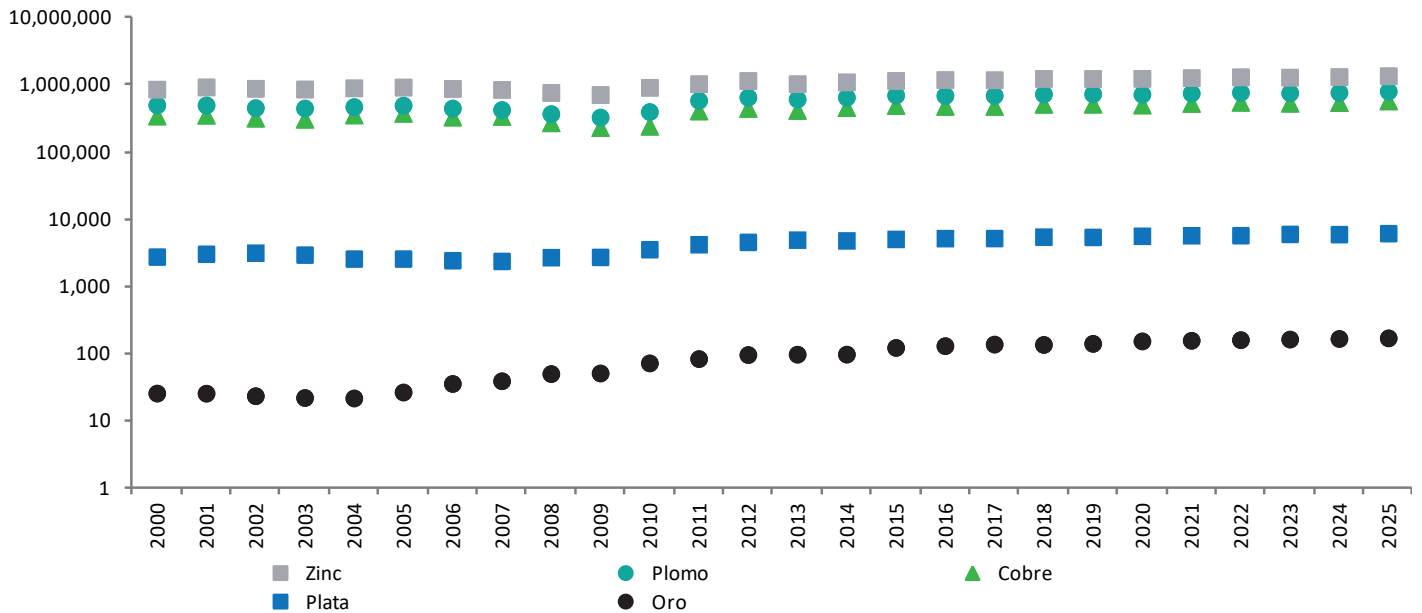
<sup>8</sup> Incluye solamente minerales metálicos y no metálicos.

Gráfica 1.30. Producto interno bruto de México: nacional, industrial y minero, 2000-2025 (Millones de dólares)



Fuente: elaboración propia con datos de Inegi, SCNM (2016).

Gráfica 1.31. Volumen de la producción minera de los principales minerales en México, 2000-2025 (Toneladas)



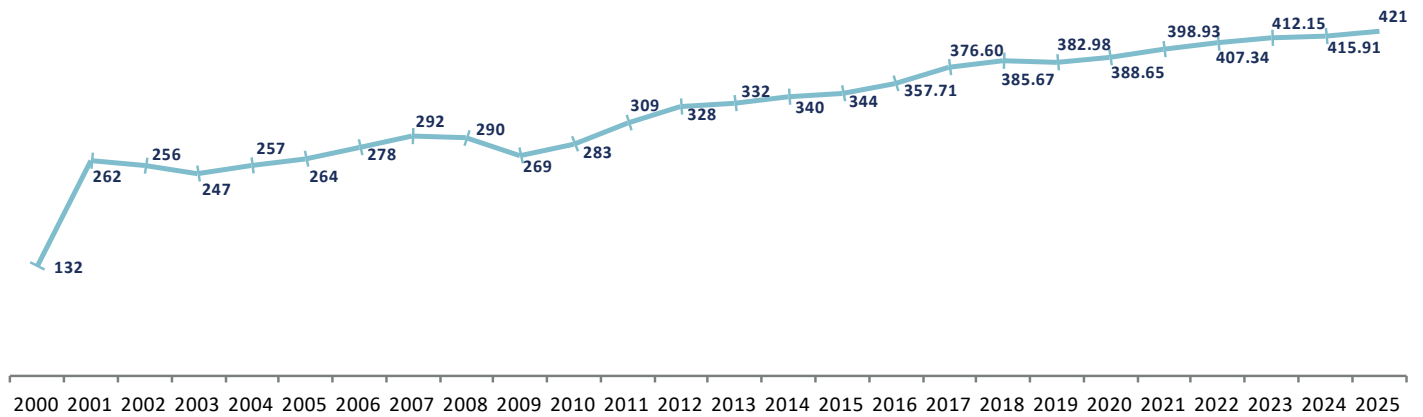
Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

La gráfica anterior muestra que, entre 2000 y 2015, la producción de estos minerales registró en promedio cinco años de decrecimiento, lo que la llevó a mostrar una trayectoria moderadamente creciente en todo el periodo analizado.

En materia de empleo, pese al panorama expuesto, el dinamismo esperado en el sector minero proyecta que para el año 2025 se registrarán 421,000 empleos, esto representa un promedio de alrededor de 7,000 nuevas plazas de trabajo al año en la industria minera, con una TMCA de 1.82%.



Gráfica 1.32. Personal ocupado en el sector minero en México, 2016-2025  
(Miles de personas)

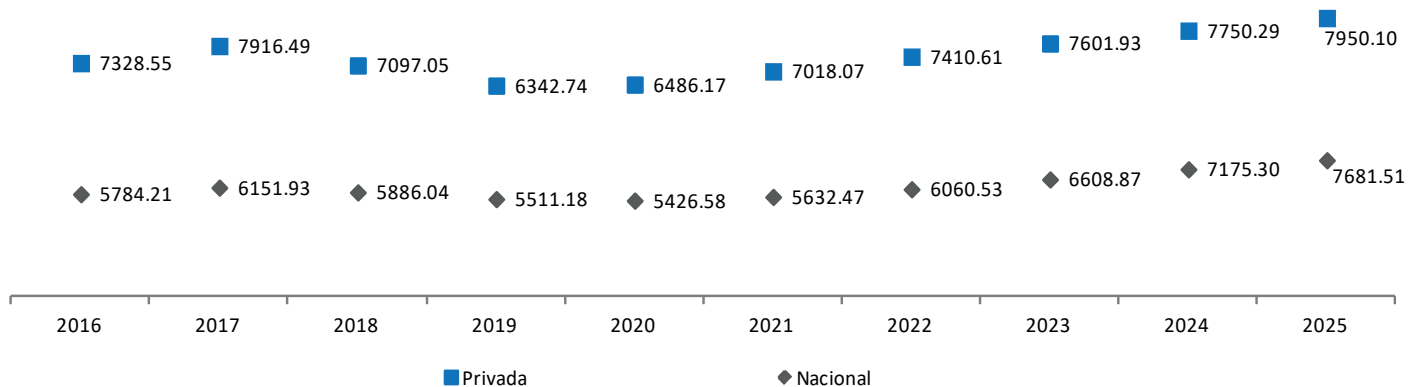


Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

Aun cuando las proyecciones quedan por debajo de lo expuesto por la Camimex, la trayectoria se mantiene creciente para el periodo 2016-2025, salvo para el año 2019. A fin de fortalecer esta tendencia se precisa revisar aspectos ambientales, legales, fiscales, comerciales y laborales, entre otros, para ofrecer certeza a los inversionistas de capital nacional y extranjero; así como a los recursos humanos que laboran en la industria minera.

Como se ha señalado, las inversiones se han visto seriamente afectadas, sin embargo, las proyecciones señalan una tendencia creciente de la inversión nacional y privada logrando una TMCA del periodo 2016-2025 de 3.97% y 4.98% respectivamente. La gráfica 1.33 muestra que a partir del 2020 el nivel de inversión comenzará su recuperación, manteniendo esa tendencia hasta el 2025.

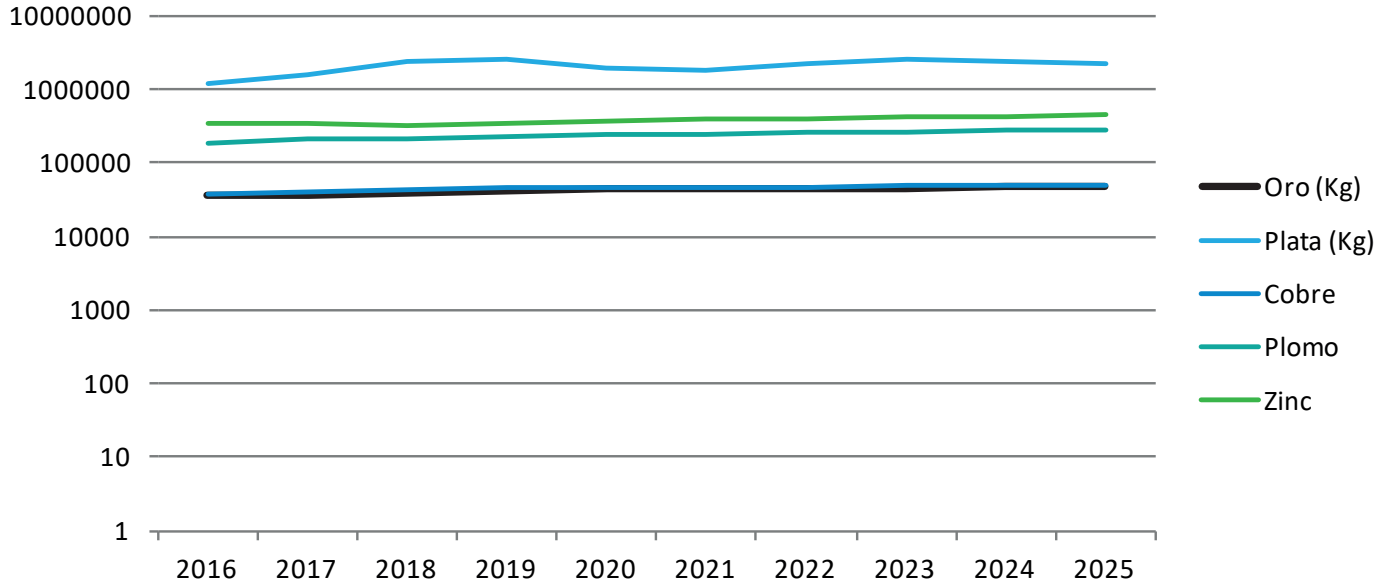
Gráfica 1.33. Inversión en la minería, 2016-2025  
(Millones de dólares)



Fuente: elaboración propia con datos de SE (2015).

Zacatecas es uno de los principales estados productores de minerales en el país. Entre 2016 y 2025, la producción de plata registrará el mayor nivel de producción con una TMCA de 7.24%, le seguirán el plomo (4.38%), cobre (3.28%), oro (2.97%) y zinc (2.66%).

Gráfica 1.34. Volumen de producción minera en Zacatecas, 2016-2025 (Toneladas)



Fuente: elaboración propia con datos del SGM (2005, 2010, 2015 y 2016).

En general, la producción del sector minero en México, y en particular en el estado de Zacatecas, presenta proyecciones positivas. La explicación es que es una industria altamente demandada por otros sectores estratégicos como el automotriz, eléctrico, electrónico, farmacéutico, química, computación, telecomunicaciones, joyería. Asimismo, como se ha explicado den este capítulo, es un sector que está a la vanguardia tecnológica en cada uno de los eslabones de la cadena de valor que lo integran, atendiendo principalmente aspectos de corte ambiental, seguridad, ahorro de energía y agua, entre otros.

En este sentido, la minería resulta ser un sector clave ya que atrae inversión nacional y extranjera, genera fuentes de empleo y dinamiza las actividades económicas y sociales en las regiones productoras y zonas de influencia. Claro está que para que exista una sinergia económica se requiere la colaboración y compromiso de todos los agentes que participan en este sector.

## Conclusiones

Zacatecas es uno de los principales productores mineros en México; ocupa los primeros lugares en los minerales más demandados en los mercados nacional e internacional; el valor de su producción aporta de manera relevante al PIB del sector minero; y la minería como actividad económica contribuye en la generación de empleo y divisas a través de las exportaciones. Pese a esto, cabe reflexionar sobre algunas líneas que intervienen en las variables mencionadas. El precio de los metales ha repercutido seriamente en el volumen de la producción nacional, esto aunado a nuevas cargas fiscales han hecho que la inversión disminuya en exploración, así como ha propiciado la postergación en el desarrollo de proyectos. Esto en conjunto influye en un decrecimiento o bien un crecimiento moderado de la industria minera, la cual, es importante recordar tiene un fuerte sustento en capitales extranjeros; asimismo, limita la creación de nuevos empleos e incluso los disminuye. En este tenor, aun cuando la minería es uno de los sectores que ofrece una de las más altas remuneraciones, un alto porcentaje de contrataciones se ejerce a través del *outsourcing* y no de las mineras, situación que determina incertidumbre entre los trabajadores.

En la minería, la participación de los proveedores es fundamental, sus actividades están orientadas a desarrollar conocimiento y tecnologías en cada una de las etapas de la cadena de valor, con el objetivo de cubrir los requerimientos de la industria, cuya tendencia es la seguridad del personal, del medio ambiente y de la empresa a través de la reducción de costos de producción. En este marco, las empresas proveedoras en Zacatecas tienen un desempeño importante al suministrar a las empresas mineras de los servicios que demandan de forma oportuna y efectiva. Por ello, una estrategia básica para sustentar el desarrollo de esta industria consiste en apuntalar un programa de desarrollo de proveedores que incluya habilitar a empresas locales para reducir la dependencia y tiempos de espera para servicios de mantenimiento a equipamiento especializado, sistemas de seguridad y gestión ambiental, capacitación, y prospección y exploración.

En seguridad jurídica, las inversiones requieren lineamientos claros para demostrar certeza a los inversionistas, ya que México es uno de los principales tractores de IED en el sector minero. Por ello, se precisan trámites y permisos más expeditos que incentiven la inversión. Para esto, es imperativa la existencia de una nueva política minera que garantice y fomente el desarrollo de la industria, en la cual se incluyan estímulos a la inversión en proyectos de productividad y capacitación, incentivos fiscales y tratamiento especial a las empresas que ofrezcan garantías para los trabajadores a través de mejores formas de contratación y premios a la productividad y capacidad de adaptación a los cambios que determina la innovación.

## Referencias

- Banco Mundial (2017, enero). Perspectivas económicas mundiales. Washington. Recuperado de <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/25823/9781464810169.pdf>
- Banco Nacional de Comercio Exterior [Bancomext] (2015). Macro coyuntura minería. Primer informe 2015, *Comercio Exterior*. México, Dirección de Estudios Económicos. Recuperado de [http://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2015/08/Minero\\_1er\\_informe\\_2015.pdf](http://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2015/08/Minero_1er_informe_2015.pdf)
- Cámara Minera de México [Camimex] (2008). Informe anual 2008. México. Recuperado de <https://camimex.org.mx/index.php/secciones1/publicaciones/informe-anual/informe-anual-2008/>
- Camimex (2013). Informe anual 2013. Cámara Minera de México, LXXVI Asamblea General Ordinaria. México. Recuperado de <https://camimex.org.mx/index.php/secciones1/publicaciones/informe-anual/informe-anual-2013/>
- Camimex (2015). Informe anual 2015. México. Cámara Minera de México, LXXVIII Asamblea General Ordinaria. México. Recuperado de <https://camimex.org.mx/index.php/secciones1/publicaciones/informe-anual/informe-anual-2015/>
- Camimex (2016). Informe anual 2016. México. Cámara Minera de México, LXXIX Asamblea General Ordinaria. México. Recuperado de <https://camimex.org.mx/index.php/secciones1/publicaciones/informe-anual/informe-anual-2016/>
- Camimex (2017). Informe anual 2017. Cámara Minera de México, LXXIX Asamblea General Ordinaria. México. Recuperado de <https://camimex.org.mx/index.php/secciones1/publicaciones/informe-anual/informe-anual-2017/>
- Comisión Chilena del Cobre [Cochilco] (2002). Anuario estadísticas del cobre y otros minerales 1993-2002. Chile. Recuperado de <https://boletin.cochilco.cl/estadisticas/anuario.asp>
- Innovum (2014). Proveedores de la Centro de Innovación en Capital Humano de Fundación Chile minería chilena, estudio de caracterización 2014. Chile: Fundación Chile. Recuperado de <http://programaaltaley.cl/wp-content/uploads/2015/10/Estudio-de-Characterizacion-de-Proveedores-de-la-mineria->
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2016). Sistema de Cuentas Nacionales de México. México. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/>
- Inegi y Sistema de Cuentas Nacionales de México [SCNM] (2016). Sistema de Cuentas Nacionales de México. México. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/scn/>
- Inegi (2017). Banco de Información Económica (BIE). México. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
- Jiménez, E. (s.f.). La industria minera, México. Recuperado de <http://www.observatoriodelaingenieria.org.mx/docs/pdf/2da.%20Etapa/15.La%20Industria%20Minera.pdf>
- Jiménez, J., Gázquez, J.C. y Sánchez, R. (2006, marzo). La capacidad predictiva en los métodos Box-Jenkins y Holt-Winters. *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, 15(3):185-198. Almería.
- Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina [Ocmal] (2017). Temas de trabajo. Recuperado de <https://www.ocmal.org/temas-de-trabajo/>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE] (2017, enero). Estudios económicos de la OCDE. México. Recuperado de [www.oecd.org/eco/surveys/economic-survey-mexico.htm](http://www.oecd.org/eco/surveys/economic-survey-mexico.htm)
- Pavitt, K. (1984). *Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory*, *Research Policy*, North-Holland. Elsevier Science Publishers B, 13 (1984) 343-373.
- Secretaría de Economía [SE] (2010a). Anuario estadístico de la minería mexicana ampliada 2010. Versión 2011. México. Recuperado de [http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario%20Estadistico%202011c\\_ult.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario%20Estadistico%202011c_ult.pdf)
- SE (2015b). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa de Desarrollo Minero 2013-2018, Segundo informe, Logros y actividades 2015. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/59151/3\\_Informe\\_PRODEMIN\\_2015\\_CGM.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/59151/3_Informe_PRODEMIN_2015_CGM.pdf)
- SE y Servicio Geológico Mexicano [SGM] (2016, diciembre). Panorama minero del estado de Zacatecas. México: Secretaría de Economía, Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/ZACATECAS.pdf>
- Secretaría de Economía de Zacatecas [Sezac] (29 febrero, 2016). La minería en el estado de Zacatecas. México, Gobierno de Zacatecas. Recuperado de [https://issuu.com/estadistica\\_sezac/docs/la\\_miner\\_\\_a\\_en\\_zacatecas\\_diciembre\\_](https://issuu.com/estadistica_sezac/docs/la_miner__a_en_zacatecas_diciembre_)
- Servicio Geológico Mexicano [SGM] (2005). Anuario Estadístico de la Minería, 2005, Edición 2006. México: Secretaría de Economía. Recuperado de <http://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM (2016). Anuario Estadístico de la Minería, 2015. México. Recuperado de [http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2015\\_Edicion\\_2016.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2015_Edicion_2016.pdf)

- Secretaría de Economía [SE] (2015). Informe estadístico sobre el comportamiento de la inversión extranjera directa en México, Estadística oficial de los flujos de inversión extranjera directa en México 2015. Comisión Nacional de Inversiones Extranjeras, enero-diciembre, Recuperado de <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/comunidad-negocios/inversion-extranjera-directa>
- SGM (2005). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2004. México, Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de <http://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM (2010). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2009. México, Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de <http://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM (2015). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2014. México, Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de <http://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- SGM (2016). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2015. México, Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de [http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario\\_2015\\_Edicion\\_2016.pdf](http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2015_Edicion_2016.pdf)
- US Geological Survey [USGS] (2016). *Mineral Commodity Summaries 2016*. United States, Virginia. Recuperado de <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf>
- USGS (2017). *Mineral Commodity Summaries 2017*. United States, Virginia, U.S. Recuperado de <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>



## Capítulo 2

# Principales retos en la cadena de valor

### Introducción

La minería es una industria basada principalmente en un ciclo de actividades interrelacionadas para generar valor en la producción de diversos minerales metálicos y no metálicos. El concepto de cadena de valor de la minería ha rebasado la concepción de Porter (1985), como un modelo que permite definir y desagregar las actividades de una empresa para generar valor al cliente final y a la empresa misma, en el cual ésta crea una ventaja competitiva en comparación con otras cuando tiene la capacidad de aumentar el margen de ganancia a través de la reducción de costos o el incremento en las ventas o en el valor del producto.

En el actual contexto mundial, la cadena de valor del sector minero se enmarca en el concepto de cadena global de valor, el cual abarca desde la secuencia de suministro y las redes de distribución a lo largo de todas las fases de transformación de insumos en productos. Al respecto, Gereffi y otros autores identifican en la cadena de valor a un conjunto de actividades interrelacionadas mediante una estructura de gobernanza, donde participan una amplia gama de agentes económicos (Frederick y Gereffi, 2011; Kaplinsky, 2000; Gereffi, 1994). Este concepto sugiere que los sectores e industrias sean analizados en términos de complejas redes de producción y comercialización internacional, en las cuales la creación, apropiación y mantenimiento del valor están determinados por la posición y las capacidades de las empresas y los sectores en las cadenas globales de valor (Gereffi, 2009).

Analizar el sector minero a través de su cadena de valor proporciona un modelo de aplicación general que permite representar de manera sistemática los procesos de minado estratégicamente relevantes a fin de caracterizar sus actividades primarias (pre factibilidad, exploración, operaciones, procesamiento de minerales y logística) y actividades de apoyo (administración de recursos, desarrollo tecnológico y abastecimiento), así como la participación de actores externos que intervienen a lo largo del proceso productivo para sustentar las operaciones.

La cadena de valor del sector minero (véase figura 2.1) describe que la producción se desarrolla a través de las etapas de prospección y exploración, explotación, producción, transformación, cierre y rehabilitación, esta última transversal al proceso productivo, pues tiene que concebirse desde la etapa inicial.

Figura 2.1. Cadena de valor del sector minero. Actores de la cadena productiva



Fuente: elaboración propia con base en SE (2015).

En la etapa de prospección/exploración se realizan: actividades de investigación geofísica y geológico-minera para la búsqueda de yacimientos minerales, estudios de prefactibilidad y factibilidad económica que determinarán la expectativa de rentabilidad, así como la ingeniería necesaria para ejecutar el proyecto y el nivel de inversión requerido. La explotación consiste en la preparación, construcción y montaje de la mina, que estará en función del método de extracción y de las características del yacimiento. En cuanto al proceso de obtención, el beneficio del mineral es preparado a través de técnicas de molienda y trituración para posteriormente extraer el metal deseado (transformación) a través de técnicas como la hidrometalurgia, pirometalurgia y electrometalurgia. Finalmente, en el proceso de cierre y rehabilitación de mina se retiran los equipos e instalaciones utilizadas y comienza la restauración de la zona a fin de remediar los impactos ambientales mediante el uso de tecnologías específicas para cuerpos de agua y suelos.

Los actores directos son los agentes de mercado de la industria minera, es decir, productores, proveedores de equipo y servicios, comercializadores y clientes ubicados en diversos sectores industriales. Las empresas mineras, integradas por unidades mineras (minas) y/o plantas de procesamiento de minerales (beneficio), realizan sus actividades operativas a lo largo de toda la cadena de valor. A través de la coordinación de operaciones técnicas, las empresas extraen y procesan los minerales con las características físicas necesarias (concentrado) para posteriormente comercializarlos a empresas fundidoras o de la industria extractiva, y convertirlos en productos finales para consumidores industriales.

Los actores indirectos se pueden dividir en diversos subgrupos, por un lado figuran las instituciones de apoyo como las educativas (institutos tecnológicos, universidades, centros de investigación), el Estado (gobiernos estatales y centrales, agencias especializadas y



congresos), los organismos internacionales, las cámaras industriales y los clusters, además de los que ofrecen apoyo técnico, económico, político, social, cultural y asesoramiento ambiental y legal en temas afines al sector minero (regulación, políticas aduaneras y arancelarias, políticas fiscales, tratados comerciales, controles técnicos y sanitarios, subsidios, políticas de fomento, aspectos ambientales, etc.).

Otro subgrupo de actores indirectos es el representado por las instituciones financieras, proveedores de servicios especializados, proveedores de maquinaria y equipo, desarrollo tecnológico, empresas especialistas en logística, consultorías especializadas y proveedores de información.

Mejorar la competitividad, incrementar las inversiones y desarrollo económico, así como mantener el dinamismo del sector minero, forman parte de los principales objetivos de la industria minera. Para lograr estos objetivos, el sector minero debe realizar cambios tecnológicos que le permitan enfrentar retos ambientales, sociales y de regulación minera, y también considerar al capital humano como el principal factor transversal. Por consiguiente, es un objetivo para las empresas mineras y proveedoras de equipos y servicios disponer de capital humano especializado con capacidades, conocimiento específico y habilidades genéricas<sup>9</sup> para asimilar las nuevas tecnologías e innovaciones en materiales, equipos, maquinaria y sistematización de los procesos productivos.

## 2.1. Capital humano en la cadena de valor

Actualmente, los mercados internacionales se caracterizan por una mayor competencia que les obliga a incorporar tecnologías a sus sistemas productivos, esto, a su vez, les permite reducir costos, consumo de energía y materias primas, mejorar la calidad del producto e incrementar la productividad de la fuerza de trabajo (Martínez, 2009). Hoy en día resulta primordial promover la adquisición de nuevas competencias y formas de aprendizaje entre los trabajadores, quienes tendrán las capacidades para contribuir en la creación de mayor conocimiento.

El papel estratégico que ha cumplido el conocimiento en el desarrollo económico de las personas, organizaciones y países, así como en la creación de ventajas competitivas sostenibles resulta imprescindible. Los constantes cambios tecnológicos que se presentan en la sociedad ubican a las personas altamente calificadas como el principal detonante del crecimiento económico; se trata del 'capital humano', que es definido como el conjunto de conocimientos, habilidades y competencias de los individuos, y es importante para la economía al ser un activo intangible con la capacidad de aumentar y fomentar la productividad, innovación y el empleo de las personas, empresas y naciones (Cidec, 2004:13). De esta forma, el concepto de capital humano es el resultado de aceptar que el conocimiento incorporado a los seres humanos (capital humano) junto con la tecnología son factores clave para el desarrollo económico (Cimoli, 2000; Casas y Dettmer, 2014).

<sup>9</sup> A través del Proyecto Tuning-América Latina (Beneitone *et ál.*, 2007) se desarrolló una metodología para la comprensión del currículo y hacerlo comparable con otros puntos comunes de referencia y centrarse en competencias y destrezas (basadas en el conocimiento). En alusión a la primera línea de trabajo del Proyecto Tuning, las competencias genéricas se refieren a la capacidad de aprender, de tomar decisiones, diseñar proyectos, habilidades interpersonales, etc. Como parte de las ventajas de incluir en la enseñanza el concepto de competencias, se derivan: identificar perfiles profesionales y académicos; enfocar la atención primordialmente en el estudiante y en su capacidad de aprender; diseño de estructuras educativas flexibles con mayor guía y apoyo; adquirir destrezas para enfrentar los retos laborales y contribuir al desempeño productivo en el lugar de trabajo.

Para Nelson y Phelps (1966) existe una relación directa entre la acumulación del capital humano con la difusión y adopción de innovaciones tecnológicas. Estos autores señalan que los individuos con una mayor formación académica y experiencia tienen la capacidad de resolver mejor los problemas, son generalmente más emprendedores -desarrollan innovación en las empresas- y asimilan mejor las innovaciones provenientes del exterior. Más aún "...la educación incrementa la capacidad individual para primero innovar, esto es, para crear actividades, productos o tecnologías nuevas, y segundo, para adaptar las nuevas tecnologías, y, de ese modo, acelerar la difusión de la tecnología a través del mercado" (Valenti, 2011: 33). En este caso, la innovación juega un papel relevante, toda vez que permite que la productividad de las empresas se incremente, logrando un máximo aprovechamiento del capital humano (Cañibano, 2005). Para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 2015), la generación e inversión en capital humano es una de las estrategias más importantes de los países que integran este organismo para promover su desarrollo y crecimiento económico. En resumen, para estos autores el capital humano es determinante en el aumento de la productividad del trabajo mediante la estimulación del cambio tecnológico (Giménez *et ál.*, 2011).

La industria minera representa uno de los sectores estratégicos más dinámicos a nivel mundial no sólo por la importancia que tienen los insumos utilizados para la fabricación de productos en otras industrias, sino también por la motivación que genera para innovar en métodos, procesos, materiales, maquinaria y equipos necesarios para mejorar la eficiencia productiva y atender las demandas técnicas, operativas y de sistematización que surgen a lo largo de la cadena de valor.

Efectivamente, la industria minera es un gran cliente para proveedores especializados, dadas la complejidad y magnitud de los desafíos que enfrenta la minería debido a las nuevas características geográficas, geológicas, ambientales, económicas y tecnológicas que determinan su rentabilidad. Por lo tanto, para contender con estos retos, debe existir una plena articulación entre el sector educativo y las empresas mineras a fin de generar los recursos humanos con las competencias requeridas que incrementen la eficiencia productiva a través de una educación pertinente<sup>10</sup> que prepare al personal para su inserción en el mundo del trabajo en la medida en que se articule con el sector productivo y aporte a la construcción de un entorno equitativo y comprometido con el ambiente (Ministerio de Educación Nacional, 2009).

De acuerdo con este concepto de educación pertinente, en conjunto con el Clúster Minero de Zacatecas (Clusmin), se definió que, para enfrentar los retos tecnológicos, será necesario formar personal altamente especializado que asegure a la industria minera mayor seguridad, sostenibilidad, productividad y competitividad, por lo que los programas de educación media superior y superior deberían fortalecer la formación de recursos humanos mediante conocimientos y habilidades acordes con las tendencias y desafíos mencionados.

---

10 De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2015:18) "la inversión sostenida en capital humano se encuentra entre los factores más importantes de la capacidad de absorción. La solidez de la educación básica y secundaria y la especialización del capital humano son fundamentales para absorber las nuevas tecnologías. Para utilizar las nuevas tecnologías es necesario contar con una educación básica y nuevas competencias y, además, una población más instruida tiende a adoptar las nuevas tecnologías con mayor rapidez".

## 2.2. Los retos del sector minero

A través de entrevistas realizadas a empresas mineras<sup>11</sup>, proveedores de servicios especializados<sup>12</sup> instituciones de educación media y superior del estado de Zacatecas<sup>13</sup> y la zona de influencia del Clusmin (Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí), se detectaron los problemas principales para la adopción de innovaciones tecnológicas, así como los requerimientos de recursos humanos que demandará esta industria en el corto y mediano plazo. Las principales tendencias tecnológicas fueron caracterizadas a partir de la revisión de artículos científicos arbitrados y las bases de datos de patentes de las plataformas Espacenet, SIGA-IMPI y WIPO<sup>14</sup>. Mediante Thomson Innovation<sup>15</sup> se efectuó la recuperación y análisis de la información<sup>16</sup>.

Los principales resultados de esta investigación indican que los yacimientos minerales se encuentran cada vez más profundos, ocasionando disminución de rendimientos y aumento de costos debido a la remoción y traslado de grandes cantidades de material estéril, a lo que se suma que la ley mineral<sup>17</sup> ha disminuido y que el procesamiento de minerales se encarece debido al alto contenido de material sin valor comercial y contaminantes.

El proceso productivo del sector minero requiere de un alto consumo de energía y de agua, lo cual motiva innovaciones relacionadas con la racionalización. Por otro lado, las legislaciones ambientales motivan cambios en el uso de productos químicos, combustibles y energías renovables. Un factor crítico de cambio para el sector minero son los sistemas de seguridad que las empresas mineras deben adoptar para proteger a su personal. Ante estas condiciones, la industria minera enfrenta un aumento de costos de producción, lo cual impone la necesidad de mejorar su productividad para no mermar su rentabilidad.

11 El objetivo central de las entrevistas fue identificar los problemas técnicos en el proceso productivo, así como las tendencias tecnológicas que impactarán el sector. Las entrevistas se realizaron a personal de las siguientes unidades mineras: i) "Madero" (Peñoles), entrevista al superintendente de operaciones; ii) unidad 'El Coronel' (Frisco), entrevista a doce personas (gerente general, gerente de la unidad, gerente de operaciones responsable de mantenimiento de planta; personal de las áreas de Control Ambiental, Recursos Humanos, Mantenimiento de Planta, Control Operativo, Formación Humana, Operación Planta y Recursos Humanos, Formación de Camas de Lixiviación, y Geología y Exploración); iii) Unidad Peñasquito (Goldcorp) se entrevistó al gerente senior de operaciones de planta, superintendente de metalurgia, jefe de mejora de negocios, superintendente de tecnologías de la información y jefe de comunicación e infraestructura; iv) Unidad minera 'El Herrero' (Minera Bacis) se entrevistó al gerente de la unidad y a diferentes operativos de mantenimiento de las áreas de explotación y extracción.

12 El personal entrevistado de las empresas proveedoras ocupan los cargos de directores generales, gerentes de proyecto, director de operaciones, coordinador de asistencia técnica, responsable de recursos humanos y gerente de línea de negocio.

13 Se destaca la participación de la Universidad Autónoma de Zacatecas, la cual tiene dos programas referentes a nivel nacional que son Ingeniería en Minas y Metalurgia, así como Geología. También se entrevistó a personal de dos universidades tecnológicas y dos politécnicas. En aspectos generales, estas instituciones cuentan con diferentes programas educativos que se relacionan con los profesionales requeridos por el sector minero entre los que destacan ingenieros mineros y metalurgistas, geólogos, ingenieros industriales y mecánicos, electromecánicos y en materiales.

14 Espacenet (2017). Oficina Europea de Patentes [base de datos en línea], <http://worldwide.espacenet.com>; IMPI-SIGA (2017). Sistema de Información de la Gaceta de la Propiedad Industrial del Instituto Mexicano de Propiedad Intelectual [base de datos en línea], <http://siga.impi.gob.mx/content/common/principal.jsf>; WIPO. (2017). Organización mundial de Propiedad Intelectual [base de datos en línea], <https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf>

15 Thomson Innovation (2017), Base de datos plataforma, [base de datos en línea], <http://info.thomsoninnovation.com/en/action/research-development>. La empresa cambió de razón social y actualmente es Clarivate Analytics.

16 Los resultados de esta investigación se presentan en el *Capítulo 3. Tendencias tecnológicas a lo largo de la cadena de valor* de este libro.

17 Se refiere a la concentración de oro, plata, cobre, estaño, etc., presente en las rocas y en el material mineralizado de un yacimiento. Se utiliza para determinar la factibilidad económica en la extracción de minerales.

En este contexto, se prevé que la industria minera incorpore crecientemente la automatización, instrumentación, inteligencia artificial y el uso de aplicaciones 3D para usar robots y otros dispositivos de control a distancia a fin de tener procesos más seguros y reducir costos. Al interior de mina, los equipos están incluyendo aditamentos electrónicos que eficientizan el trabajo y evitan riesgos humanos. Por otro lado, la aplicación de *software* analítico y *hardware* permite controlar y optimizar en tiempo las diferentes etapas del proceso minero. En equipos de barrenación, acarreo de material y transporte se está utilizando la operación a control remoto y se espera creciente uso de equipo eléctrico.

Por otra parte, el uso de tecnologías de la información (sensores, redes, Internet de las cosas, servidores y protocolos eficientes de comunicación) beneficiarán la comunicación interna dentro de la mina, así como en actividades en cuanto al monitoreo y seguridad de operaciones de mina. En el área de exploración y prospección se utilizan crecientemente drones para evaluaciones geológicas, así como la generación de modelos geológicos que permiten diseñar la geometría de la extracción, utilizando *software* sofisticado. Las nuevas tendencias se perfilan también a promover una minería sustentable, por lo que se requerirá de expertos en temas ambientales para atender estas actividades.

Por otro lado, el área de recursos humanos está innovando en la organización interna de las empresas con el objetivo de desarrollar programas de capacitación mejorados que permitan a los empleados incrementar sus habilidades genéricas y profesionales, por lo que las empresas están promoviendo transformaciones en los cargos y puestos específicos. Al respecto, se debe mencionar que las competencias profesionales requeridas por el sector minero y proveedores están incorporando a las habilidades genéricas como complemento de las capacidades profesionales y técnicas solicitadas a los recursos humanos a fin de contar con empleados preparados para enfrentar los retos y avances tecnológicos del sector.

Como parte de los retos sociales de la industria minera destaca la comunicación y negociación con las comunidades cercanas a las minas. Estas últimas suelen percibir a las empresas mineras como entes productivos invasivos y depredadores del medio ambiente, lo que provoca el cierre de minas y bloqueos por parte de organizaciones civiles. Por lo tanto, el sector minero requiere de intermediarios que sensibilicen a la población de los beneficios económicos y sociales para el desarrollo de la región.

Las negociaciones con los sindicatos mineros y la llamada ‘piratería de personal’ que realizan las empresas mineras o proveedoras, a través del ofrecimiento de sueldos más altos (atracción de recursos humanos capacitados), representan un reto adicional para la gestión del personal.

Por otro lado, el futuro de la industria está ligado a la formulación de políticas públicas referentes a temas fiscales, normativas, impuestos, concesiones territoriales e incentivos a la inversión del sector minero. Por ello, se necesita avanzar en la consolidación de la interacción con los gobiernos y la función de relaciones públicas. Por dicha razón también, los recursos humanos que requiere el sector minero incluyen perfiles profesionales relacionados con sociología, derecho, políticas públicas y desarrollo regional.

## 2.3. Escenario futuro de la minería

Con los resultados del análisis tecnológico de la investigación de campo y documental, se propuso la definición de un escenario ideal para el año 2025, que alcanzó un alto nivel de consenso con representantes del Clusmin (empresas mineras, proveedoras y funcionarios del gobierno estatal) y de las principales instituciones de educación media superior y superior que imparten planes de estudios afines al sector minero<sup>18</sup> en Zacatecas. Este escenario es el referente para estructurar la estrategia de formación de capital humano y se integra por cinco grandes objetivos transversales a todos los eslabones de la cadena de valor: 1. Rentabilidad y productividad; 2. Cuidado del medio ambiente; 3. Seguridad laboral; 4. Impacto social y responsabilidad empresarial y 5. Certidumbre en las políticas públicas (véase figura 2.2).

A través de estos cinco ejes se deben enfocar los esfuerzos en la formación y capacitación de los recursos humanos para enfrentar las tendencias tecnológicas y sociales del sector minero. Cada eje se encuentra integrado por los principales elementos que debe atenderse mediante innovaciones relevantes y cada uno de estos ejes se analiza de manera particular en los siguientes apartados.

Figura 2.2. Principales ejes que influyen en el escenario futuro de la minería



Fuente: elaboración propia.

18 Se realizaron dos talleres de discusión del escenario futuro de la minería. El primero se llevó a cabo el 1 de junio de 2017 en el Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación (Cozcyt) con la asistencia de directores, coordinadores y docentes representantes del Instituto Politécnico Nacional (IPN-Campus Zacatecas), Universidad Autónoma de Fresnillo, Universidad Politécnica de Zacatecas, Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas y del Conalep-Zacatecas. El segundo se realizó el 23 de junio del mismo año en las instalaciones del Clusmin con más de 20 operativos de las unidades mineras de Minera Fresnillo, Capstone Gold, Minera Frisco, Grupo Peñoles y First Majestic; además, con una asistencia similar de representantes de las empresas proveedoras: Terra Corporación, SA; Bufete de la Plata SA de CV; Maquim; Multiservicios Don Eli; SGS; FLS-midith SA de C.; Cannon Mining; Corporativo de Servicio Eco Ambiental; MULTILED; Lym Creativa; Gizatlad Castrom; Petro Seal S.A. de C.V.; Servicios Industriales de Sonora; Dicom; Grupo Muñoz Fresnillo; Luhesa Fresnillo; Transportes Mineros Martínez; y Maya Pro. Se debe agregar la asistencia del Secretario de Economía del estado de Zacatecas, así como del director general del Cozcyt.

### 2.3.1. Rentabilidad y productividad

Este eje se refiere a la rentabilidad y productividad de operaciones y se orienta a:

- ▶ Mejorar la eficiencia en la extracción de minerales de yacimientos con ley minera baja.
- ▶ Introducir sistemas automatizados en las diferentes etapas del proceso productivo con el objetivo de reducir costos, mejorar la calidad e incrementar la seguridad.
- ▶ La mejora de explosivos y procedimientos para controlar las vibraciones al realizar una voladura o el uso de métodos que reduzcan el uso de explosivos.
- ▶ Generar procesos metalúrgicos (hidrometalurgia, electrometalurgia, pirometalurgia) más eficientes en el uso de energía.
- ▶ El uso de equipo, procedimientos, tratamientos y sistemas innovadores para la lixiviación.
- ▶ La eficiencia energética optimizando los procesos productivos para disminuir el uso de combustibles y electricidad, así como el uso de equipos y maquinaria con menor consumo de energía.
- ▶ El uso de robótica móvil en maquinaria y equipos para controlar a distancia la extracción de minerales, así como para mejorar la eficiencia en el mantenimiento de equipos y en el uso de vehículos de transporte autónomos.
- ▶ La inteligencia artificial para tratar grandes volúmenes de información y complejidad.
- ▶ La recuperación eficiente de minerales; en la programación de vehículos inteligentes y en la dosificación de flujos de aire en equipos de ventilación minera.
- ▶ La aplicación en las diferentes etapas de la cadena de valor de las tecnologías de la información y comunicación para favorecer sistemas inteligentes en mina y para mejora en la trasmisión de la información para la toma de decisiones.

Por otra parte, el eje en cuestión se enfoca en mejorar la rentabilidad y productividad por medio de la articulación de encadenamientos productivos entre la unidad minera y los proveedores que participan en cada etapa del proceso, así como en actividades posteriores a la producción minera; en incrementar la rentabilidad por medio de la atracción de inversiones; en plantear un esquema de desarrollo de proveedores competitivos e innovadores a largo plazo que genere sinergias con otras empresas proveedoras y mineras.

De lo anterior resulta que la automatización, los equipos a control remoto, la inteligencia artificial y el uso del Internet se convierten en los elementos transversales que deberán desarrollar y dirigir con mayor incidencia en la preparación y capacitación en recursos humanos para incrementar la productividad y rentabilidad del sector minero. Sin embargo, no necesariamente deberá reducirse la participación humana en los procesos de producción, por el contrario, se pretende que una persona capacitada adquiera las competencias requeridas para operar diferentes equipos o entender diferentes sistemas de producción y mejore la eficiencia productiva y laboral.

### 2.3.2. Desempeño ambiental para una industria minera sustentable

Este eje describe los factores que deben considerarse para mejorar el cuidado del medio ambiente y promover una industria sustentable que genere un balance positivo entre la operación competitiva y el mantenimiento de los ecosistemas. Las acciones o retos que deberá enfrentar la industria para reducir el impacto ambiental y cumplir con las leyes y regulaciones ambientales incluyen el utilizar maquinaria y métodos que disminuyan la degradación innecesaria de suelos, el reuso de agua y la reducción de consumos de energía y la contaminación por desechos químicos.

La gestión ambiental debe incluir procedimientos efectivos para evitar derrames que provoquen desastres naturales, basados en herramientas de monitoreo que permitan la regulación de los procesos, detección de fugas, y trazabilidad de sustancias empleadas. También se contempla desarrollar o adoptar procesos de tratamiento de alta eficiencia y capacidades tecnológicas para mitigación y reparación de daños.

Elemento sustancial para el cuidado del medio ambiente es el uso racional del agua, por lo que implementar el desarrollo de métodos de reciclamiento y reuso de agua, además de la introducción de procesos en seco son alternativas viables para el uso eficiente de este elemento. También será importante utilizar tecnologías que eviten la evaporación en los procesos de recuperación de agua, realizar análisis de composición y el diseño de estrategias de separación a través del aprovechamiento de propiedades fisicoquímicas de las sustancias y el diseñar estructuras hidráulicas de alta eficiencia.

En cuanto a la remediación y regeneración de recursos afectados (agua, suelo, flora, fauna), la industria realizará diseños óptimos para asegurar la recuperación del ecosistema al garantizar el restablecimiento de los procesos naturales. Además, se prevé la delimitación de zonas de influencia de la mina y su monitoreo para lograr el menor impacto posible; se invertirá en el desarrollo de tecnologías para la disminución en tiempos de remediación y el diseño de un programa de remediación continuo.

Ya se ha mencionado que otro factor relevante es la optimización en el uso de explosivos, para lo cual se establece: la simulación y cálculo de composición con el mínimo de consumo de explosivos reduciendo significativamente la generación de polvo y ruido; aplicar técnicas de alta eficiencia de explotación considerando propiedades de los materiales explosivos y rocas, y el monitoreo en composición y concentración de polvo proveniente de explosión, alcances de las emisiones y su impacto en el ambiente. También se prevé una normativa que señale los parámetros de medición y control de la emisión de gases, roca en vuelo, vibración y ruido por las voladuras.

A causa de estos factores, el principal reto de la industria minera es contar con el capital humano en temas de regulación ambiental nacional e internacional, sistemas y procesos de remediación (biorremediación, fitorremediación, bioaumentación, bioestimulación, bioventeo), rehabilitación (reforestación, restauración ambiental, medidas de restauración) y técnicos especializados en voladuras. El tema ambiental es transversal, por lo que, también requiere de expertos que informen en las comunidades de las actividades de rehabilitación y remediación que realizan las unidades mineras, así como lograr acuerdos para solucionar problemas regulatorios y ambientales.

### 2.3.3. Seguridad

El factor seguridad es considerado el de mayor importancia e inversión para el sector minero. A través de capacitación continua, constante mantenimiento de equipo y maquinaria, y consideración plena a las estrictas normas de seguridad que establecen las regulaciones internacionales, las empresas mineras deben comprometerse con la protección y seguridad de los trabajadores. Para tener éxito, uno de los principales desafíos es implantar entre los trabajadores una cultura de protección y seguridad, asumiendo la responsabilidad en cuanto al uso de equipos y vestimenta adecuada, conocimiento de reglamentos de seguridad, dominio pleno de procedimientos y uso de dispositivos de comunicación. Se trata de fomentar entre los trabajadores una actitud segura, proactiva, preventiva y de comunicación.

Además, como parte de esta cultura de seguridad se establece la prevención y tratamiento de enfermedades del ambiente minero, así como programas de prevención de lesiones y enfermedades, instaurar sistemas de análisis del lugar de trabajo (supervisión, identificación de condiciones de peligro, sistemas de notificación inmediata de condiciones peligrosas) y prever derrames y contacto con sustancias tóxicas.

Como parte de la responsabilidad social de las empresas, se debe fomentar la documentación de estadísticas de accidentes y de enfermedades del trabajo, invertir en sistemas de detección de fuegos, gases y polvos, y contar con sistemas normalizados de inspección de mina. La tendencia indica la necesidad de crear simuladores para capacitación y herramientas de seguimiento de rutinas de seguridad.

Un elemento relevante a considerar son las relaciones, negociaciones y acuerdos con los sindicatos mineros que demandan violaciones a los contratos colectivos de trabajo y la falta de seguridad e higiene en las minas y plantas. Esto puede traer como consecuencia el cierre de unidades mineras y pérdidas económicas sustanciales para las empresas. Por lo tanto, el reto es generar las competencias necesarias para que los negociadores (gerente de mina, abogados y asesores) entre el sector minero y el sindicato cuenten con conocimientos en legislación minera, resolución de conflictos, relaciones comunitarias, mediación y conciliación, cumplimiento de obligaciones y defensa de derechos ante organismos gubernamentales. También se requieren capacidades genéricas como relaciones públicas, integridad, pensamiento estratégico y habilidades de comunicación.

### 2.3.4. Impacto social y responsabilidad empresarial

A pesar de que la industria minera es un detonador de economías locales y regionales, que trae como beneficios la creación de empleos directos e indirectos, el desarrollo de infraestructura que beneficia a las comunidades (caminos, suministro eléctrico, escuelas, agua potable, etc.) y el fomentar actividades productivas nuevas, no deja de ser un sector cuestionado por su impacto social y ambiental en las comunidades donde se localizan los proyectos mineros. Ante esto, las empresas tienen que establecer nuevas formas de relación en el ámbito social. Los retos se orientan a la generación de alternativas para mejorar las relaciones laborales con sus trabajadores, la comunicación con las comunidades y la sociedad, y mejorar su contribución al fortalecimiento de la economía local. El objetivo es mejorar sensiblemente el aprecio de la comunidad por la actividad minera.

Para lograr lo anterior, se debe propiciar una población mejor informada sobre los efectos e impactos de las minas a través de mejores mecanismos de comunicación social hacia las comunidades, así como atender sus inquietudes sobre las actividades preventivas de la industria para el cuidado del medio ambiente. Como parte de estos mecanismos de comunicación se encuentra generar programas de vinculación con la comunidad y actividades como apoyo a la formación educativa a través de becas a estudiantes, aportaciones de materiales educativos y mejoramiento e incremento de la infraestructura educativa. Otro mecanismo de compromiso social es promover programas deportivos que propicien la integración y la salud de los ciudadanos, así como iniciativas culturales que consoliden las tradiciones de las regiones. El impacto de tales iniciativas debe medirse frecuentemente empleando indicadores sociales relevantes y reconocidos internacionalmente.

Como parte de los desafíos para mejorar las relaciones laborales se identificó la comunicación con los sindicatos para lograr acuerdos de mutuo beneficio incluyendo el diseño de sistemas de compensación que garanticen la productividad, el desarrollo del empleado y remuneraciones justas. Las demandas de las empresas mineras y proveedoras llevan a generar capacidades de liderazgo entre los empleados, por lo que el reto es crear un mo-



delo de competencias basadas en conocimientos, cualidades, experiencia y habilidades para organizaciones que incorporarán nuevas tecnologías que sustituyen paulatinamente el trabajo de baja calificación.

Otro reto es diseñar planes de vida y carrera que estimulen el desempeño laboral y la posibilidad de escalar a puestos y sueldos superiores por medio de la especialización técnica, la capacitación y la certificación. También, en los talleres realizados con representantes del Clusmin, ha habido coincidencia en la necesidad de generar mecanismos flexibles y viables de retiro y sucesión para renovar plantillas de personal técnico y profesional. Con respecto a mejorar la cultura de la productividad, se necesita generar nuevos esquemas de incentivos basados en indicadores de desempeño de los trabajadores.

Para fortalecer la responsabilidad social de las empresas mineras y proveedoras se deben crear programas de integración para el desarrollo de los trabajadores y de sus familias, ampliando o mejorando los espacios para la recreación, el desarrollo individual y la convivencia colectiva.

Pero el desafío actual más importante para el sector minero en materia laboral es reducir la fuga de trabajadores capacitados (técnicos, operadores, profesionales) a unidades mineras que ofrecen mejores sueldos y prestaciones, lo que llaman 'piratería de personal'. Esta continua rotación de personal afecta la competitividad de las empresas y lleva a concluir que no se ha logrado establecer una cultura de industria. En otras palabras, las empresas velan por intereses individuales, sin asumir que un factor de éxito a largo plazo es que exista cohesión entre los actores y fortalecimiento de acuerdos para lograr la eficiencia colectiva, como integrantes de un clúster.

Debido al impacto económico que provoca en las regiones la industria minera, ésta se convierte en motor de encadenamientos productivos con proveedores que participan en las diferentes etapas de la cadena de valor del sector minero. Optimizar el papel de la minería como tractora del desarrollo económico en las regiones donde opera implica abrir nuevos espacios para la proveeduría local o regional fortaleciendo las cadenas de valor hacia delante y hacia atrás<sup>19</sup>, por medio de la adquisición de insumos, equipo, partes y servicios de mayor valor agregado generados localmente. Programas robustos de desarrollo de proveedores tendrían grandes beneficios para la industria en su conjunto.

### 2.3.5. Certidumbre en las políticas públicas

El quinto eje se refiere a las políticas gubernamentales establecidas para la promoción y regulación de la industria minera. Por ser éste un tema muy relevante, el Clúster Minero de Zacatecas propuso analizar los retos al respecto de manera particular debido al interés de identificar las características, cualidades y habilidades que los recursos humanos deben dominar para proponer políticas que logren un adecuado balance entre el interés público y el empresarial.

Hay consenso en la industria en cuanto a la necesidad de una regulación minera que establezca las condiciones necesarias para promover la competencia y la inversión a través de la reingeniería de mecanismos de fomento y promoción. Las normativas y políticas de gobierno deben ayudar a reducir conflictos relacionados con adquisición de tierras y concesiones, fomentar tanto ecosistemas productivos complementarios a la actividad minera como esquemas efectivos de seguridad social para las comunidades. Un desafío específico

<sup>19</sup> La cadena de valor hacia delante implica la asociación con los clientes o proveedores para mejorar la eficiencia productiva. La cadena de valor hacia atrás consiste en incorporar actividades de fabricación y asegurar el suministro de insumos.

radica en promover la creación de reglamentos para la preservación y restauración del equilibrio ecológico, sin generar costos de tal magnitud que hagan inviables las inversiones. En este sentido la relación gobierno-sindicato debe mantenerse en un nivel adecuado de intereses sin afectar el bienestar general (Montes de Oca, 1999).

También se considera indispensable que el gobierno tenga una política tecnológica que lleve arreglos público-privados que potencien la inversión en infraestructura, equipos, laboratorios, centros de investigación y de capacitación para que las empresas mineras y proveedoras puedan responder mejor a los desafíos tecnológicos de una industria que se encuentra en constante evolución.

La industria minera incluye diversos actores, instituciones, gobiernos locales, municipales, organizaciones intergubernamentales, civiles, comunitarias, empresas mineras, empresas proveedoras y actores políticos, entre otros, lo cual dificulta la comunicación, la toma de decisiones y las acciones del gobierno. Ante tal situación surge el reto de eliminar las asimetrías y la unilateralidad del Estado y buscar el equilibrio a través de la gobernanza, es decir, tomar decisiones de manera conjunta, alcanzando los objetivos de la sociedad, el gobierno y la industria minera.

El reto es lograr una interacción positiva entre el sector minero con el gobierno (federal, estatal y municipal) basada en una visión compartida de largo plazo. Se trata de diseñar una estrategia conjunta que trascienda los cambios políticos (sexenales) y evite que las inversiones se retraigan por falta de certidumbre.

Sin duda, en términos de las capacidades de los recursos humanos para enfrentar estos retos vinculados con la legislación, normatividad, regulación, relaciones laborales, sindicales, política pública y de desarrollo económico, se requerirá de especialistas y expertos en derecho del trabajo, antropología social, política gubernamental, economía social, ciencia política y administración pública.

## Conclusiones

La industria minera se está transformando en un sistema productivo multidisciplinario e interdisciplinario especializado en la generación y capacitación de recursos humanos con un alto valor técnico y profesional, que a la vez demanda la constante actualización del capital humano y la periódica vigilancia tecnológica para enfrentar a sus competidores.

El futuro de la minería prevé que los avances tecnológicos, los nuevos procesos productivos y las demandas sociales y laborales obligarán a evolucionar el concepto de industria en el que participa el sector minero. Los procesos productivos se apoyarán en tecnología y dispositivos intercomunicados (digitalización) a lo largo de la cadena de valor, utilizando herramientas inteligentes como robots, cadenas de logística conectadas, realidad virtual, uso de *software* para el manejo de bases de datos, sensores y la comunicación a través de Internet. Dicha transformación digital está integrando a los actores de la cadena de valor para maximizar la productividad y la calidad de los procesos productivos.

Para superar los retos actuales que el sector minero se ha planteado con miras a mejorar la eficiencia productiva, implementar políticas de seguridad de los trabajadores, mitigar el impacto ambiental, resolver los conflictos sociales y laborales, y contar con la certidumbre en las políticas gubernamentales, será necesario que los trabajadores adquieran nuevas capacidades y competencias laborales para lograr la especialización y, posteriormente, apoyar tanto en la formación de recursos humanos dentro de las mismas unidades mineras o empresas proveedoras como en el desarrollo tecnológico y productivo a los diversos actores de la cadena de valor.

Por último, las competencias genéricas complementarán los requerimientos necesarios que transitar a una industria basada en generar nuevas relaciones entre los actores, por lo tanto, sin duda, el liderazgo, la comunicación y la negociación serán de las competencias genéricas transversales a la cadena de valor que los recursos humanos deberán adquirir para desempeñarse adecuadamente en este entorno cambiante.

## Referencias

- Beneitone, P., Esquetini, C., González, J., Marty, M., Siufi, G., y Wagennar, R. (2007). *Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina*. Informe Final - Proyecto Tuning - América Latina 2004-2007. Bilbao, España: Universidad de Deusto.
- Cañibano, C. (2005, noviembre). El capital humano: factor de innovación, competitividad y crecimiento. Sexto Congreso: Competitividad y crecimiento económico. Pamplona, Universidad Rey Juan Carlos.
- Casas, R. y Dettmer, J. (2014). Sociedad del conocimiento, capital intelectual y organizaciones innovadoras, en Giovanna Valenti y Mónica Casalet, *Instituciones, sociedad del conocimiento y mundo del trabajo*, (pp. 19-54). México: Flacso, Centro de Investigación y Documentación sobre problemas de la Economía, el Empleo y las Cualificaciones Profesionales [CIDEDEC] (2004). *Valorizar el capital humano. Reto clave para la sociedad del conocimiento*. España, Cuadernos de Trabajo. Gobierno Vasco.
- Cimoli, M. (2000). *Developing innovation system: Mexico in the global context*, Continuum-Pinter Publishers. Nueva York-Londres.
- Consejo de Competencias Mineras [CCM] y Fundación Chile [FCH] (2015). Estudio Fuerza Laboral de la Gran Minería Chilena 2015-2024. Chile: Consejo de Competencias Mineras, Innovum, Fundación Chile. Recuperado de [http://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/EFLM2015-2024.pdf](http://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/EFLM2015-2024.pdf)
- Frederick, S. y Gereffi, G. (2011). *Upgrading and restructuring in the global apparel value chain: why China and Asia are outperforming Mexico and Central America*. *Int. J. Technological Learning, Innovation and Development*, 4(123).
- Gereffi, G. (1994). La organización de las cadenas globales compradas por el comprador: Cómo los minoristas forman redes de producción en el extranjero, en G. Gereffi y M. Korzeniewicz (eds), *Cadenas de mercancías y capitalismo global* (pp. 95-122). Westport: Praeger.
- Gereffi, G. (26 noviembre, 2009). Enfoque de Cadenas Globales para el análisis del sector agroindustrial en países en desarrollo. México. *International Centre for Trade and Sustainable Development*. Recuperado de <http://www.ictsd.org/bridges-news/puentes/news/enfoque-de-cadenas-globales-para-el-an%C3%A1lisis-del-sector-agroindustrial-en>
- Giménez, G., López. C. y Sanaú, J. (2011). *La medición del capital humano en los países de la OCDE*. España: Ideas.
- Kaplinsky, R. (2000). Globalisation and unequalisation: What can be learned from value chain analysis. *The Journal of Development Studies*, 37(2): 117-146.
- Martínez, A. (2009). Capacidades de innovación y aprendizaje tecnológico. Un estudio de caso, en Adriana Martínez et ál., *Innovación y competitividad en la sociedad del conocimiento*, (pp. 165-183). México: Plaza y Valdez, Gobierno de Guanajuato, Conacyt.
- Ministerio de Educación Nacional (2009). Colombia Aprende. Recuperado de <http://www.colombiaprende.edu.co/html/home/1592/article-199408.html>
- Montes de Oca, S. (1999). El sindicato ante la problemática de una nueva relación laboral. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado*, XXXII (96): 717-41.
- Nelson, R. y Phelps, E. (1966). *Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth*. *American Economic Association Papers and Proceedings*.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial [ONUDI] (2015). Informe sobre el Desarrollo Industrial 2016. El Rol de la tecnología y la innovación en el desarrollo industrial inclusivo y sostenible. Resumen. Viena.
- Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos [OCDE] (2015). México. Políticas prioritarias para fomentar las habilidades y conocimientos de los mexicanos para la productividad y la innovación. México, Serie Mejores Políticas.
- Porter, M. (1985). *Ventaja competitiva: Creación y sostenibilidad de un rendimiento superior*. México: Pirámide.
- Secretaría de Economía [SE] (2015). Cadenas Productivas del Sector Minero. México: Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería.
- Secretaría de Gobernación [Segob] (2013). Estudio de la Minería en México. Un análisis comparado con Canadá. México: SEGOB.
- Valenti, G. (2011). *Construyendo puentes. Entre el capital humano y el sistema de innovación*. México: Flacso.

## Capítulo 3

# Tendencias tecnológicas a lo largo de la cadena de valor

### Introducción

El sector minero mundial es sensible, entre otras variables, a la volatilidad de los precios, a turbulencias geopolíticas, al incremento de sus costos de producción y a la declinación de la ley de los minerales. Hoy en día diferentes compañías mineras superan la salida del actual ciclo negativo en el sector por medio del fortalecimiento de sus prácticas de reducción de costos y reasignación de capital (Deloitte, 2015). De hecho, la productividad y la reducción de los costos son la fuente principal de competitividad de esta industria, dado que los precios de sus productos son fijados con base en elementos ajenos a las empresas. Por ello, sin duda, el desarrollo e incorporación de tecnologías que hagan más eficientes los procesos, mejoren la administración de recursos humanos, aumenten la seguridad de las operaciones, disminuyan los impactos ambientales y reduzcan el consumo de agua, energía y otros insumos, coadyuvarán a mejorar la productividad y competitividad del sector.

Existen avances tecnológicos que están afectando positivamente la industria minera del mundo. Con el objetivo de identificar detalladamente cuáles son los desarrollos tecnológicos que ofrecen soluciones a problemáticas concretas en la industria minera, se identificaron las tendencias tecnológicas mundiales en el sector minero, esperando que éstas sirvan de referencia para mejorar la formación de capital humano. Para tal efecto, se revisó ampliamente la literatura especializada para identificar el escenario futuro de las tecnologías que determinarán los procesos empleados en esta industria. Este trabajo inicia identificando los procesos que integran la cadena de valor del sector minero (analizada exclusivamente desde un punto de vista de proceso) y enfocándose a los minerales metálicos de mayor interés para el estado de Zacatecas (oro, plata, cobre, zinc y plomo).

Posteriormente, con apoyo de bases de datos de patentes (en las plataformas Espacenet, SIGA-IMPI y WIPO), y de artículos científicos arbitrados, se identificaron los desarrollos más novedosos presentes en la industria y en investigación (análisis de modificaciones al proceso que conllevan a mejoras en calidad, tiempos, equipo utilizado, residuos, entre otros). Para identificar las tendencias tecnológicas se buscó información para un periodo de 10 años (2006 a 2016); con apoyo de la plataforma de Thomson Innovation, se analizaron los documentos recuperados y se generaron gráficos denominados “mapas de calor” en los que se resaltan, mediante un código de colores, las zonas de concentración de desarrollos tecnológicos en áreas específicas de la minería. En tales imágenes se pueden identificar interrelaciones entre diversas áreas de desarrollo.

Si bien este trabajo se sustenta en su parte inicial en fuentes de información secundaria (bases de datos de patentes, artículos científicos arbitrados, sitios *web* de empresas, entre otros), se fortalece y complementa a partir de entrevistas a profundidad realizadas con empresas mineras y proveedores de primera línea pertenecientes al Clúster Minero de Zacatecas (Clusmin).

Como resultado del análisis se describen los escenarios tecnológicos a considerar en los que la industria minera deberá seguir trabajando para tener procesos productivos más competitivos, de mayor calidad y eficiencia para escalar a la obtención de minerales en procesos de mayor complejidad, pero también mayor rentabilidad total.

## Impulsores del cambio tecnológico

La demanda de minerales como cobre, aluminio o zinc continúa aumentando significativamente; situación que es impulsada por el crecimiento económico global que se traduce en demandas de materias primas. Los referidos minerales, al igual que otros menos conocidos como las “tierras raras”, conforman un ingrediente vital para la fabricación de, por ejemplo, teléfonos inteligentes, automóviles híbridos, dispositivos médicos, computadoras y otros objetos cada vez más imprescindibles para la vida del siglo XXI.

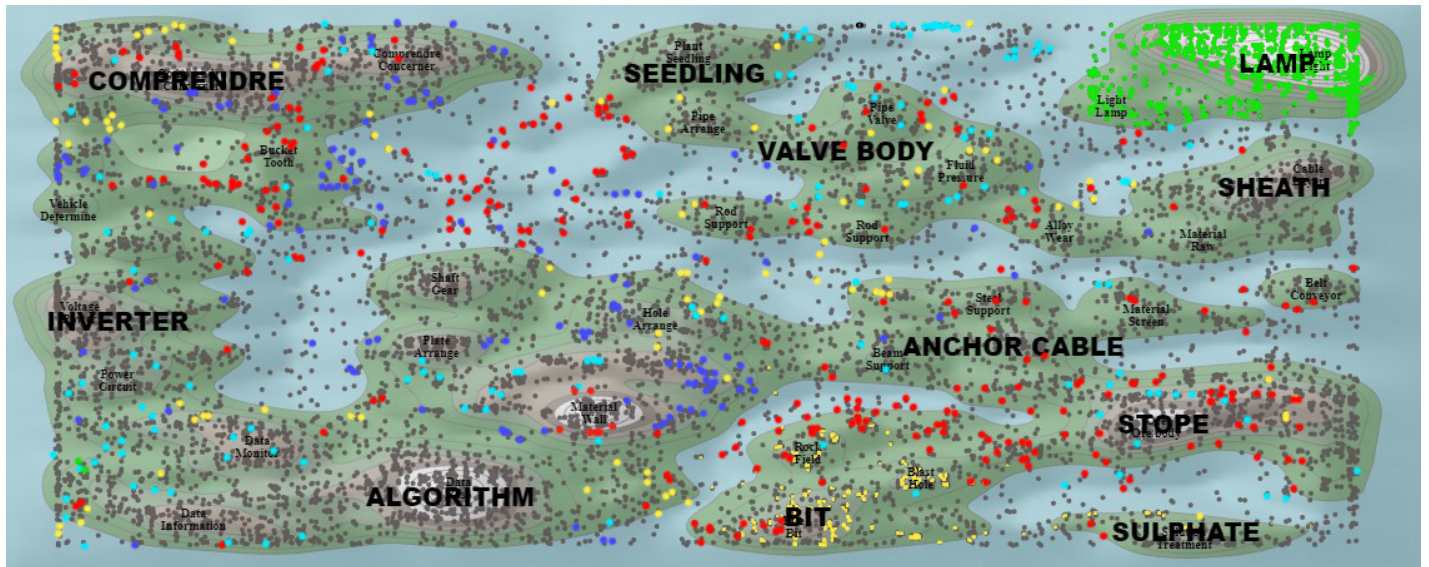
En contraste, las leyes de los minerales han disminuido, por lo que crece la cantidad de material estéril que se debe remover para alcanzar minerales ubicados a mayor profundidad, las distancias de transporte como consecuencia de una mayor profundidad de yacimientos y el procesamiento de minerales es más complejo debido a la mayor presencia de contaminantes, lo que se ha traducido en importantes factores de disminución de rendimientos y aumento de costos en la industria (CMYDC, 2014).

Efectivamente, el creciente requerimiento de energía en la minería y la limitada disponibilidad de agua para suplir los consumos de nuevas operaciones y futuros proyectos mineros conllevan el aumento en costos de producción, afectando la productividad y la sostenibilidad ambiental con emisiones de gases de efecto invernadero debido al mayor consumo de electricidad y de combustibles. La complejidad y magnitud de los desafíos que enfrenta la minería requiere de la incorporación de innovación y tecnologías más eficientes para toda su cadena de valor.

La “**prospección/exploración**” es la búsqueda de yacimientos minerales en conjunto con operaciones para evaluar cualitativamente el recurso minero a fin de definir la factibilidad técnico-económica de la explotación de un yacimiento. La “**explotación**” arranca con la ejecución de operaciones comprendidas entre el descubrimiento de la materia prima y el tratamiento del mineral (proyecto de mina), y concluye con la habilitación de los métodos, sistemas y procesos mineros seleccionados en el proyecto de mina que permiten la extracción de la materia prima necesaria para la obtención de productos minerales (laboreo de minas o tecnología de minas). La “**obtención**” comprende el beneficio del mineral que, a su vez, está integrado por los procesos de conminución, concentración y separación mineral de la ganga. La “**extracción**” involucra tres grandes ramas de la metalurgia: hidrometalurgia, pirometalurgia y electrometalurgia. Finalmente en el proceso de “**cierre y rehabilitación**” de mina (conocido también como bonificación, saneamiento o restauración) se subsanan los efectos de la explotación minera sobre el entorno.

A partir de estos procesos que integran la cadena de valor, se realizaron búsquedas en bases de datos de patentes y artículos científicos. A continuación, se muestra la distribución de las principales tecnologías, agrupadas por términos de coincidencia y señaladas con diferentes colores dentro de una ilustración conocida como “mapa de calor” (*heat maps*). Los mapas de calor permiten identificar fácilmente los “puntos calientes”, es decir, las zonas en donde se concentran los desarrollos tecnológicos, su jerarquía y la vinculación entre ellos, generando una gráfica que ilustra el estado del arte.

Figura 3.1. Mapa de distribución de tecnologías del sector minero



Fuente: elaboración propia.

La figura 3.1 ofrece una visión general de las diferentes tendencias tecnológicas para el sector de minería metálica; entre otras, se puede apreciar las siguientes relaciones.

- ▶ Las zonas con puntos rojos se refieren a: tecnologías relacionadas con el desarrollo de túneles, galerías, cámaras subterráneas, materiales de acondicionamiento o de estabilización de suelos, así como maquinaria de perforación o de corte para la extracción en minas y de canteras. De las tecnologías descritas, el 38% de los desarrollos se refieren a tecnologías de apoyo directo a la obtención de minerales; el 34.1% con maquinaria y equipo en minería; 27.7% con actividades de corte (minado), y el 19.4% con actividades de soporte a la minería.
- ▶ Las zonas con puntos verdes se refieren a tecnologías de lámparas para el sector minero, como por ejemplo, refractores para fuentes de luz; materiales luminiscentes para pantallas de iluminación específicas para el sector; y, montajes ajustables para dispositivos de iluminación, entre otros. De estas invenciones 74% se refieren a desarrollos relacionados con dispositivos LED; el 56.4% a tecnologías asociadas a la correcta dirección de los sistemas de iluminación y 20.5% se involucran sistemas para pantallas de lámparas.
- ▶ Las zonas con puntos amarillos se refieren a: tecnologías relacionadas con perforación (preponderantemente en prospección y exploración minera). Métodos o aparatos para la perforación con tecnologías de percusión, perforadoras rotativas en general, accionamientos utilizados en el pozo de perforación y métodos o aparatos especiales para la perforación. De éstas, el 26.3% se refiere a invenciones que aumentan la eficiencia de perforación; 20.7% mencionan sistemas y arreglos particulares para la perforación; y, 14.5% se relacionan con accesorios y herramientas para el corte.
- ▶ Las zonas con puntos azul claro se refieren a: dispositivos de seguridad, transporte, salvamento, ventilación o drenaje de minas. En específico, se mencionan sistemas de enfriamiento o secado del aire, dispositivos de seguridad como indicadores de gases de combustión, métodos para el control de polvo (en combinación con máquinas de minería), sistemas para prevención de explosiones o incendios, dispositivos de prevención de chispas de máquinas o aparatos eléctricos, transporte especialmente adaptado a las condiciones subterráneas entre muchos otros. El 18% de las

invenciones se refiere a desarrollos para el control de aire en las minas; el 13.9% con seguridad en equipo de minería; el 12.8% con cámaras de seguridad; y el 10.8% con equipamiento diverso de seguridad, entre otros.

- ▶ Las zonas con puntos azul oscuro se refieren a: tecnologías, equipos y sus componentes para el desplazamiento del suelo y equipo para transportar o separar el material excavado. El 48.6% de los desarrollos incluye tecnologías relacionadas con equipo genérico para el desplazamiento; 27.1% con excavadoras; 12.6% a mecanismos en los equipos para excavación; y 11.9% a sensores específicos para los equipos mencionados.

Del mapa de calor de la figura 3.1 también se puede apreciar la relación entre áreas de conocimiento, así como la intensidad en cuanto a número de desarrollos a partir de la concentración de tamiz de colores grises en el fondo del mapa de calor. Por ejemplo, se visualiza (en la sección inferior derecha) la relación de tecnologías de extracción de minerales (*extraction*) con métodos para construcción de columnas de apoyo (*support, structure*) dentro de las minas. De igual manera, es posible visualizar gráficamente cuáles son los desarrollos tecnológicos que no se relacionan con otros campos del estado del arte, entre ellos se aprecian las tecnologías de lámparas para la iluminación minera (en la parte superior derecha de la figura 3.1) que no se relacionan con otras invenciones.

Es importante señalar que existen algunas aglomeraciones presentes en el mapa de calor que corresponden a áreas del conocimiento, las cuales no son de interés para el presente estudio (como tecnologías aplicables a la explotación de petróleo) y por ello no se analizarán.

Finalmente, en la figura 3.1 aparecen tendencias tecnológicas que no se pueden apreciar de manera clara debido a que son desarrollos muy particulares para escalones específicos de la cadena de valor. En este sentido, a lo largo de este capítulo se presentará en detalle el estudio para cada una de los cinco eslabones de la cadena de valor de la minería descritos: prospección/exploración, explotación, obtención, extracción y rehabilitación/cierre de minas.

### 3.1. Prospección/ exploración

En el campo de la determinación de las propiedades y características de los yacimientos minerales, conceptos como investigación minera, prospección minera o exploración minera suelen usarse indistintamente. Algunos autores diferencian exploración de prospección en lo que se refiere a su objetivo, y a partir de éste, el principio de trabajo aplicado es diferente.

En la “prospección” se localiza una anomalía<sup>20</sup> geológica con propiedades de un depósito mineral que justifique estudios posteriores de mayor precisión. Se seleccionan áreas para prospectar (entornos geológicos favorables) usando antecedentes bibliográficos e imágenes satelitales mediante prospección directa e indirecta (UPM, 2012).

- ▶ Directa (método geológico): basado en observaciones realizadas en el campo a través de un levantamiento geológico y estructural en el terreno; este estudio es la base para determinar los métodos que serán utilizados posteriormente.
- ▶ Indirecta: detección de anomalías por medio de ensayos geoquímicos y mediciones geofísicas en muestras del terreno.

---

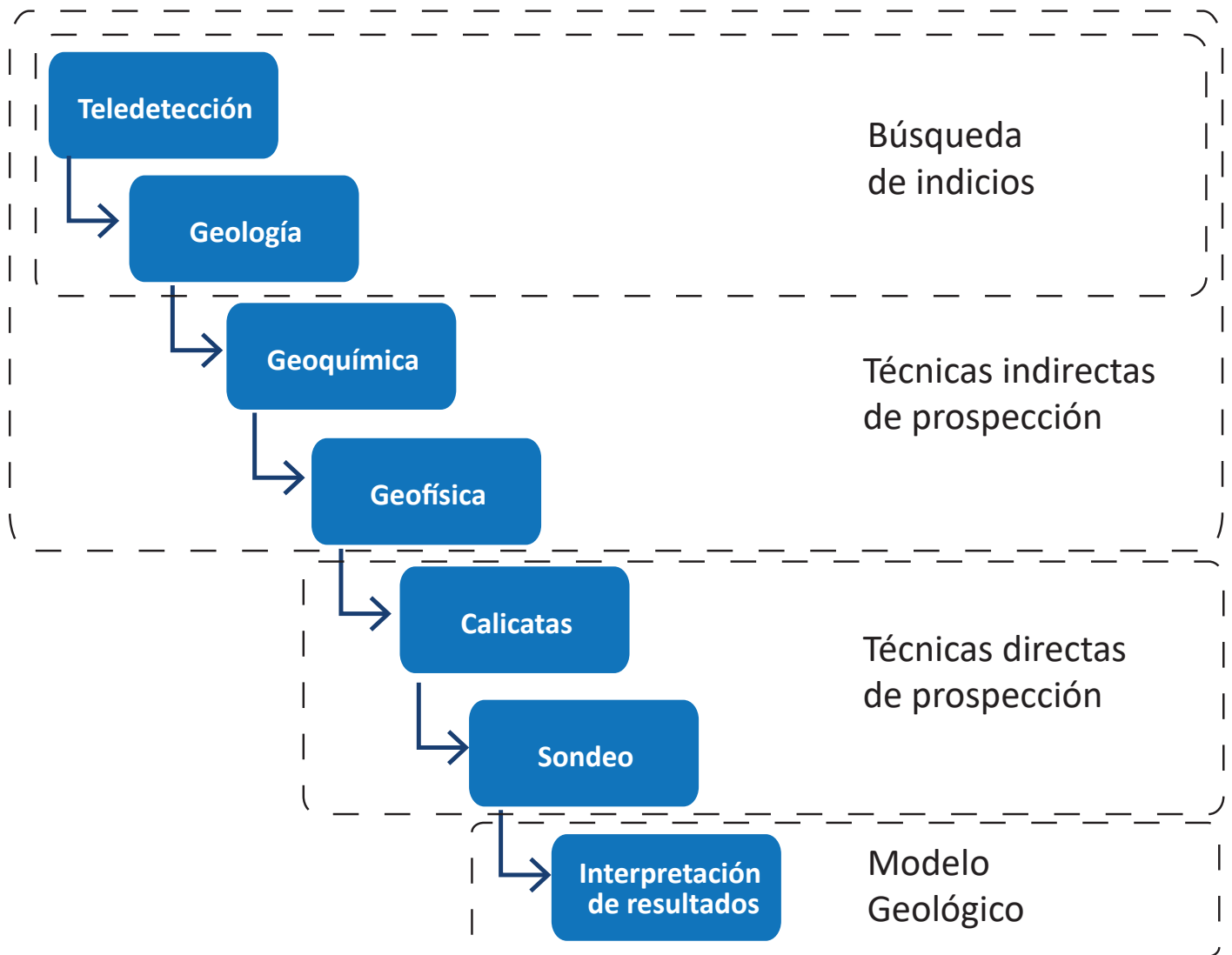
<sup>20</sup> Propiedad física de la tierra que en un volumen definido difiera apreciadamente con respecto al valor normal en un área determinada. En un caso favorable una anomalía geofísica corresponde a un depósito mineral.



Por su parte, en la “exploración” minera se define la forma y valor de un depósito mineral, entendiendo como valor la cantidad de mineral que se puede extraer de forma rentable. Para lo anterior se determina la forma del yacimiento, la calidad, el volumen y el peso específico de la sustancia mediante minuciosos análisis, ensayos y estudios, realizados sobre muestras que se extraen del cuerpo mineral.

Las técnicas se presentan en la figura 3. 2 (UPM, 2012; UCLM, 2014; UNSJ, 2015; Oyarzun, 2011):

Figura 3.2. Técnicas de prospección y exploración minera



Fuente: UPM (2012).

Dentro de la prospección y exploración minera se elige de entre las diferentes técnicas y tecnologías a aquellas que tienen mejores posibilidades para resolver un problema concreto, junto con recorridos de campo apoyados en minuciosos estudios bibliográficos y cartográficos.

### 3.1.1. Nuevas tecnologías aplicadas a la prospección y exploración

#### Teledetección y sistemas de información geográfica

La teledetección es la técnica de adquisición, procesamiento e interpretación de imágenes y datos asociados que registran el comportamiento del terreno ante energía electromagnética incidente. Por medio de la espectroscopía de imágenes es posible analizar patrones espectrales asociados a cada uno de los píxeles de una imagen, determinando dónde se presentan enlaces químicos específicos para la cartografía de patrones de fracturación. Esta señal se obtiene de equipos remotos que pueden ser instalados en aviones (tecnologías hiperespectrales), en satélites (Landsat, SPOT) o en ambos equipos como los sistemas radar.

La información obtenida mediante teledetección se gestiona de manera digital y se integra con la información georeferenciada del terreno mediante Sistemas de Información Geográfica (*Geographic Information System, GIS*).

Un intérprete de datos de teledetección identifica pistas directas o indirectas tales como: zonas estratigráficas generales, zonas de alteración y oxidación, conjuntos favorables de rocas, anillos, morfología, patrón de drenaje, pliegues, cizallas y lineamientos para guiar la exploración.

#### Técnicas geológicas

La cartografía geológica (o elaboración de un mapa geológico) es la principal técnica utilizada en la evaluación minera, ésta incluye el levantamiento estratigráfico (conocer la sucesión de materiales estratigráficos presentes en la zona), el estudio tectónico (identificación de las estructuras tectónicas, como fallas, pliegues, que afectan a los materiales de la zona), el estudio petrológico (correcta identificación de los distintos tipos de rocas), hidrogeológico (identificación de acuíferos y de sus caracteres más relevantes), entre otros. Tal cartografía se utiliza a diferentes escalas en las que es esencial la utilización de cortes geológicos basados en datos de superficie y que se extrapolan en profundidad.

#### Técnicas geofísicas

Las técnicas geofísicas a utilizar se eligen a partir de identificar a aquellas con las mejores posibilidades para resolver un problema concreto (en función de los conocimientos geológicos-mineros con que se cuente), identificando si es recomendable aplicar geofísica de exploración o de evaluación. Los métodos geofísicos más usados en la evaluación de yacimientos metálicos son siguientes:

- ▶ Método eléctrico (geoeléctrica): se fundamenta en el estudio de la conductividad (o su inverso, la resistividad) del subsuelo mediante las medidas de diferencia de potencial generadas por la inyección de una corriente eléctrica. Las dos técnicas geoeléctricas más empleadas son las tomografías eléctricas y los sondeos eléctricos verticales.
- ▶ Método electromagnético: se basan en el estudio del subsuelo a través de los cambios en las propiedades eléctricas y magnéticas de los materiales que lo componen. Los denominados electromagnéticos ligeros emplean aparatos relativamente sencillos.

llos que permiten realizar calicatas electromagnéticas de zonas grandes en relativamente poco tiempo. Los electromagnéticos profundos emplean bucles o dipolos de gran tamaño junto con antenas receptoras de campo magnético.

- ▶ Métodos potenciales: para el estudio del subsuelo emplean campos potenciales como el campo gravimétrico o el magnético. Ofrecen imágenes 2D en planta que permiten definir cambios laterales de los materiales asociados a cambios en sus propiedades físicas (densidad y susceptibilidad magnética).
- ▶ Método sísmico: consisten en el estudio de propagación de ondas elásticas en el terreno. Se causan pequeños movimientos sísmicos mediante explosiones o caída de objetos pesados y se analiza la distribución de las ondas sísmicas con sensores (geófonos) distribuidos de forma adecuada en el terreno. Mediante el análisis de las ondas sísmicas se establecen relaciones de la naturaleza de las rocas en el subsuelo. La exploración sísmica, aunque ya es una parte integral de la exploración de petróleo, rara vez se utiliza en la exploración de minerales.
- ▶ Métodos radiométricos: se basan en la detección de radioactividad emitida por el terreno, y se utilizan fundamentalmente para la prospección de yacimientos de uranio, aunque excepcionalmente se pueden utilizar como método indirecto para otros elementos o rocas. La radioactividad emitida por el terreno se puede medir sobre el propio terreno o desde el aire con ayuda de aviones o helicópteros.

Aunque los estudios geofísicos se han conocido gradualmente en los años setenta, el salto cualitativo en términos de precisión, resolución, sensibilidad, profundidad de sondeo, rendimiento sin interferencias, movilidad, automatización y pruebas en tiempo real sólo se ha logrado debido a los avances considerables de la moderna tecnología de fabricación, tecnología electrónica, informática, tecnología de materiales, tecnología de la información y tecnología espacial (Chinese Academy Sciences, 2010).

### Técnicas geoquímicas

La prospección geoquímica consiste en el análisis de muestras de sedimentos de arroyos, suelos, agua o incluso de plantas que puedan concentrar elementos químicos relacionados con una determinada mineralización. Tiene su base en que los elementos químicos que componen la corteza tienen una distribución general característica; sin embargo, cuando hay alguna concentración anómala de un determinado elemento en la zona (que puede estar producida por la presencia de un yacimiento mineral de ese elemento), esta distribución se altera. Así, las distintas variantes de esta técnica (geoquímica de suelos, de arroyos, biogeoquímica) analizan muestras de cada uno de estos tipos, siguiendo patrones ordenados, de forma que se obtenga un análisis representativo de toda una región, con objeto de identificar la(s) población(es) anómala(s) que puedan existir en ella, y diferenciarlas de posibles poblaciones anómalas que puedan ser una indicación de la existencia de mineralizaciones.

Los principales tipos de exploración geoquímica son:

- ▶ Geoquímica de rocas (*Litho-geochemical*)
- ▶ Geoquímica de redes de drenaje (*hidro-geochemical*)
- ▶ Geoquímica de suelos (*Pedo-geochemical*)
- ▶ Geoquímica bioquímica (*bio-geochemical*)
- ▶ Geoquímica geobotánica

### Técnicas de sondeo, pozos o túneles

Es el taladrado que se realiza desde la superficie hasta el yacimiento y que permite obtener muestras del subsuelo a profundidades variables. Su principal problema deriva de su representatividad, pues las muestras constituyen, en el mejor de los casos, un cilindro de roca de algunos centímetros de diámetro que puede no haberse recuperado completamente y haber cortado la mineralización en un punto excepcionalmente pobre o excepcionalmente rico. No obstante, son la información más valiosa de la cual se dispone sobre la mineralización mientras no se llegue hasta ella mediante labores mineras.

Existe una gran variedad de posibilidades en las técnicas de sondeo, por ejemplo, en cuanto al método de perforación (percusión, rotación, rotopercusión), diámetro de trabajo (desde diámetros métricos a milimétricos), rango de profundidades alcanzables (que puede llegar a ser de miles de metros), sistema de extracción del material cortado (recuperación de testigo continuo, arrastre por el agua de perforación, o por aire comprimido). Todo ello hace que la realización de sondeos mecánicos sea una etapa especialmente importante dentro del proceso de investigación minera, y requiera la toma de decisiones más detallada y compleja.

Disminuir el número de taladros, aumentar la tasa de perforación o reducir los requerimientos de energía para la perforación tendría un impacto sustancial en los costos de exploración y desarrollo de minerales.

### Técnicas de calicatas

Las calicatas son trincheras que se abren con una excavadora o pala mecánica hasta llegar a la roca mineralizada. Se emplean cuando el yacimiento está cerca de la superficie y cubierto de otros materiales que lo ocultan. Es una técnica de verificación de bajo costo que consiste en zanjar el terreno mediante pala retroexcavadora; a través de las zanjas se visualizan las rocas situadas justo debajo del suelo analizado o reconocido. Las calicatas permiten obtener muestras más representativas de lo que exista en el subsuelo a una profundidad limitada de trabajo (1-3 metros).

## 3.2. Tecnologías futuras

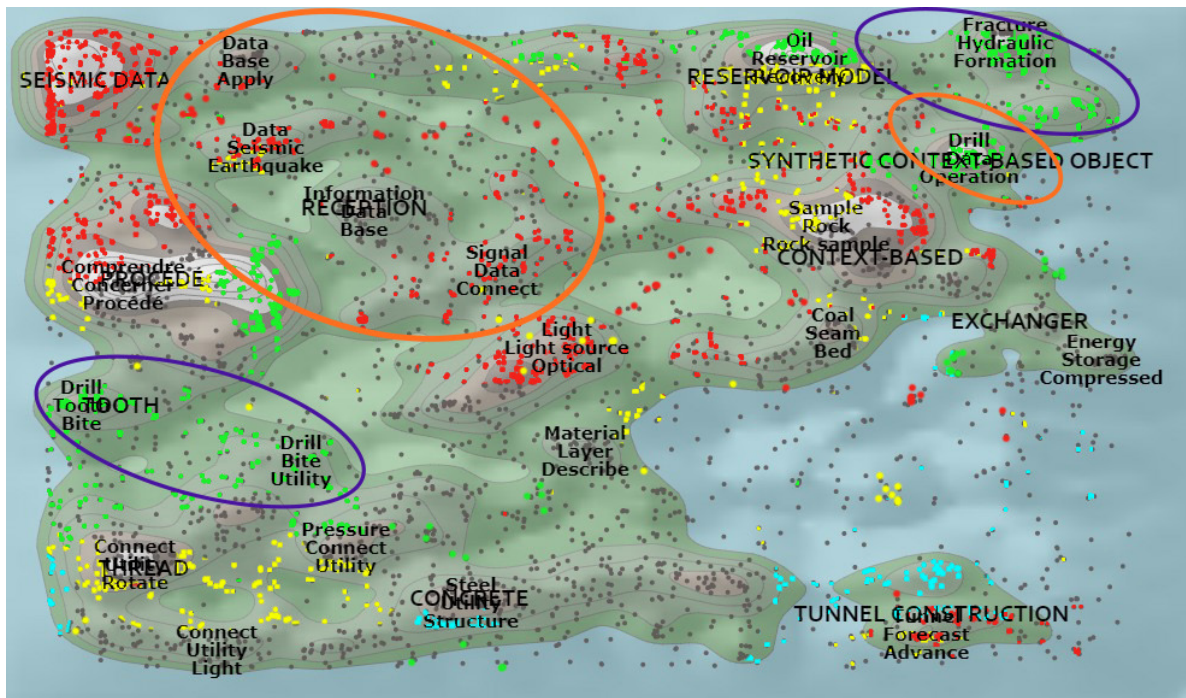
Las tendencias tecnológicas para la prospección y exploración minera cubren las actividades de teledetección, geología, métodos geofísicos, geoquímicas y procedimientos de sondeo; en las siguientes líneas se describirán brevemente las tecnologías particulares para cada área del conocimiento.

### 3.2.1. Geología

En el mapa de calor específico para el campo de la geología de minas (véase figura 3.3), se identifican, con puntos en color verde, las tecnologías de registros geofísicos como las relacionadas con el levantamiento de pozos de exploración, así como métodos y aparatos para la obtención de muestras de suelos o fluidos de pozos. En color rojo se ilustran tecnologías relacionadas con mediciones gravitacionales para prospección sismológica, procesamiento de datos sísmicos y aplicaciones de modelos sísmicos. En amarillo se presentan distintos dispositivos y componentes para escáneres geológicos móviles y fijos, métodos para determinar condiciones hidrogeológicas para la minería y sistemas de caracterización continua de suelos. Finalmente, en color azul se presentan tecnologías relacionadas con algunos equipos acompañados con software para el manejo de datos en la formación de mapas geológicos<sup>21</sup>.

21 Los registros no coloreados corresponden a tecnologías secundarias que no resulta de interés para el estudio.

Figura 3.3. Distribución de patentes relacionadas con geología de minas



Fuente: elaboración propia.

Del mapa de calor también es posible identificar, en las secciones circunscritas en color anaranjado una gran cantidad de desarrollos en manejo de metadatos, entre otras aplicaciones: la evaluación y análisis geológico, manejo de información censada en pozos, métodos sísmico de prospección/exploración y, en general, manejo (entradas y salidas) de grandes cantidades de información para el levantamiento y análisis de mapas geológicos.

También es posible identificar que las tecnologías de “registros geofísicos” (puntos en color verde) se presentan mucho más en aplicaciones como sondeo de pozos (*drill*), análisis de fluidos subterráneos (subterráneas *fluid*) y análisis en fracturas hidráulicas (*hydraulic fracture*).

Finalmente, las tecnologías de mediciones de gradientes en campos gravitacionales (registros en rojo), se enfocan evidentemente para aplicaciones de análisis sísmico y también se relacionan con *software* de manejo de datos.

De manera específica, las tecnologías más sobresalientes identificadas en el mapa de calor son:

- ▶ **Modelamiento de datos geofísicos.** Empleo de la capacidad 3D avanzada y generación de interpretaciones integradas que buscan reducir el riesgo antes de tomar la decisión de perforar. En este sentido existe una amplia gama de nuevos desarrollos de *software* para modelamiento terrestre con **técnicas complejas que convierten datos geofísicos en modelos terrestres** en 3D más útiles y accesibles para los profesionales de exploración.
- ▶ **Tecnologías para el mejor levantamiento y análisis de mapas.** Se desarrollan nuevas técnicas y metodologías de trabajo de campo, así como tecnologías que emplean drones y sistemas de “aero-transportación” para el levantamiento de datos en la formulación de mapas geológicos.

▶ **Nuevos sistemas de mayor precisión para apoyo a actividades geológicas.** Tecnologías que permiten una caracterización geológica más adecuada mejorando características como:

- Mejores modelos geohidrológicos
- Mapas geológicos de áreas más mineralizadas
- Mejor comprensión de la movilidad de los elementos en los suelos
- Métodos sísmicos poco costosos y poco profundos

▶ **Software para el manejo de metadatos.** El sector de la exploración genera y consume gran cantidad de datos geospaciales (Chinese Academy Sciences, 2010). Se identifica *software* que permiten gestionar información y proyectos de exploración y generar comprensión de los datos en mapas, secciones e interpretaciones integradas que ayudan a la evaluación y guían los programas de sondeo. También se aprecia *gran interés e inversiones en la gestión de datos* a partir de paquetes de *software* tipo *Exploration Information Management Solutions* que proporcionen mayor transparencia de los datos y toma de decisiones, y mejor acceso a los datos para los equipos de exploración globales.

### 3.2.2. Geofísica

La figura 3.4 es el mapa de calor en el que se describen las tecnologías geofísicas. Poco más del 70% de las invenciones se relaciona, específicamente, con mejoras en equipos y métodos de mediciones geofísicas como gravitacionales y detección de masa en las siguientes categorías:

- ▶ Procesamiento, análisis, interpretación y corrección de datos sísmico.
- ▶ Aplicación de modelos sísmicos.
- ▶ Determinación de propiedades físicas en la subsuperficie (impedancia, porosidad, perfiles de atenuación, entre otros) por diferentes métodos.
- ▶ Determinación de atributos sísmicos, amplitud, fase o frecuencia instantánea, fuerza de reflexión o polaridad.
- ▶ Adquisición aérea de datos y procesamiento de cubos de datos 3D.

Figura 3.4. Distribución de patentes relacionadas con geofísica



Fuente: elaboración propia.

En la imagen del mapa de calor es posible identificar cómo los elementos circunscritos en rojo (tecnologías geofísicas) se relacionan entre sí en las siguientes áreas del conocimiento: incertidumbre geofísica, modelos de campos de ondas, campos electromagnéticos, ruidos en señales, trazado de imágenes en 3D, sensado en pozos y aero-transportado, entre otros. Específicamente, las principales áreas tecnológicas identificadas en el mapa de calor son las siguientes:

- ▶ Mayor precisión de los equipos en mediciones de alta profundidad, alta resolución y tres dimensiones. La tecnología de prospección geofísica se convierte en uno de los principales medios de exploración de recursos en áreas profundas debido a la penetrabilidad intrínseca de campos geofísicos, incluyendo el eléctrico subterráneo, el magnético, el de ondas sísmicas y el de gravedad. En este sentido, se observan tendencias a las mejoras de equipos de medición que aumentan su precisión, resolución, sensibilidad, profundidad de sondeo, rendimiento sin interferencias, movilidad, automatización, pruebas en tiempo real, rendimiento libre de interferencias, entre otras características.
- ▶ Combinación de métodos de gravedad, magnéticos y eléctricos. La combinación de distintos métodos permite el desarrollo de estudios comparativos o referencia cruzada con objeto de llevar a cabo la inversión conjunta de múltiples datos basada en diversos métodos de exploración. Esta combinación de métodos físicos permite lograr respuestas cuantitativas en estimación de recursos potenciales e inferidos en etapas de exploración temprana.

### Geofísica aerotransportada

Existen diferentes avances en tecnología de prospección geofísica aerotransportada de gran superficie. Especialmente, el gradiente aeromagnético, el gradiente de gravedad aérea y las tecnologías electromagnéticas en aviación (Zhang, 2007).

### Tecnologías electromagnéticas para monitoreo profundo, tridimensionales y métodos de sondeo

Ante el desafío de descubrir nuevos recursos minerales profundos y difíciles de identificar, se encuentran en desarrollo nuevas técnicas y mejoras de equipo como geófonos digitales para la prospección sísmica y sensores magnéticos de baja frecuencia para la prospección electromagnética. Es de notar que la investigación de monitoreo profundo camina hacia desarrollos y aplicaciones con métodos de campos electromagnéticos naturales y artificiales combinados con sondeo profundo.

### 3.2.3. Geoquímica

La figura 3.5 es el mapa de calor en el que se describen las tecnologías geoquímicas. Resulta de interés mencionar que, en comparación con otras áreas del conocimiento, los desarrollos tecnológicos en geoquímica son limitados en número, no así en impacto en el sector. En el mapa se describen métodos y manejo de muestras mediante procesos geoquímicos para aplicaciones como perforación, administración de datos geoquímicos en sistemas informáticos, métodos y sistemas para caracterizar pozos profundos a partir de fragmentos de roca, entre otros.

Figura 3.5. Distribución de patentes relacionadas con geoquímica



Fuente: elaboración propia.

De manera específica, las principales áreas tecnológicas identificadas en el mapa de calor son las siguientes:

**Tecnologías para prospección profunda y depósitos ocultos.** Mejoras en métodos de prospección geoquímica con capacidad para detectar señales y recopilar información en lugares mucho más profundos. Estos métodos geoquímicos son principalmente:

- ▶ Método geoelectroquímico (*geoelectrochemical method*).
- ▶ Método de la asociación de materias orgánicas del elemento (*organic matters association form method*).
- ▶ Método de extracción enzimática.
- ▶ Método móvil de iones metálicos.



- ▶ Métodos geoquímicos de penetración profunda para la prospección metalogénica oculta.
- ▶ Nuevos métodos geoquímicos de penetración profunda de alta precisión.

### Nuevas técnicas geoquímicas para extraer información de mineralización en profundidad.

Se trata de extraer información y “huellas dactilares” geoquímicas del lecho rocoso y depósitos ocultos para clasificar la información de mineralización más eficaz para explorar depósitos ocultos y profundos. N. Calciagli presentó, en 2016, un estudio de caso de caracterizaciones geoquímicas antes de la extracción en un depósito de oro epitermal para apoyar el muestreo metalúrgico y la planificación de la mina. Es una nueva técnica geoquímica de análisis de conglomerados geoquímicos que se utilizó para apoyar el programa de muestreo metalúrgico mediante la identificación de dominios para la prueba de variabilidad. Los conglomerados geoquímicos identificados fueron utilizados para definir las zonas de óxido, sulfuro y transición, un factor crítico para el procesamiento y recuperación de minerales y una variable clave en la economía del proyecto (Calciagli, 2016).

### 3.2.4. Sondeo

La figura 3.6 es el mapa de calor donde se describen las tecnologías de sondeo. Éste se compone de métodos de explotación subterránea para minerales específicos, elementos de maquinaria y equipo necesario para pozo, métodos o aparatos especiales para la perforación (perforación con ejes, helicoidales etc.), plataformas de perforación portátiles y control de la operación de perforación por medios hidráulicos o neumáticos, entre otros.

Figura 3.6. Distribución de patentes relacionadas con tecnologías de sondeos



Fuente: elaboración propia.

En la parte central del mapa, circunscrito en color amarillo, se observa fácilmente cómo se encuentran relacionadas las tecnologías de “varillas de perforación” con el diseño de cabezas para impacto en la perforación, herramientas y tipo de sustratos en los que se hacen los pozos.

Por otro lado, enmarcado en rojo, se aprecia una aglutinación de técnicas, métodos equipos y procesos para el sondeo de pozos, entre ellos, tecnologías de sondeo profundo, *Highly directional drilling*, *Horizontal drilling*, herramientas analíticas para perforación y herramientas y accesorios para perforación como nuevos martillos de perforación, *turbo-drills*, motores de perforación en agujero y sistemas de perforación de chorro.

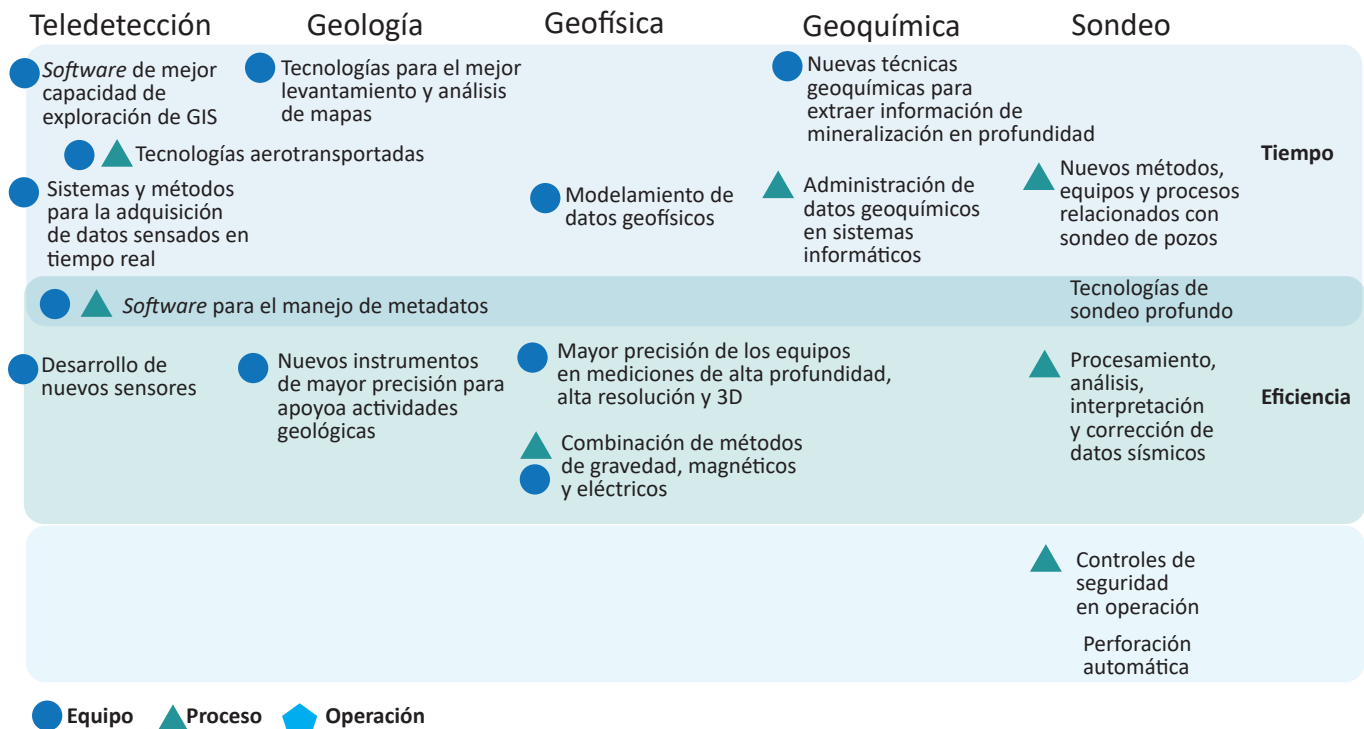


Específicamente, las principales áreas tecnológicas identificadas con teledetección de alta precisión son las siguientes:

- ▶ Sensores, sistemas y técnicas de teledetección para la exploración y evaluación de recursos minerales potenciales en combinación con la tecnología de integración múltiple de información basada en plataformas de GIS son las tendencias tecnológicas más sobresalientes para la prospección y evaluación de los recursos minerales. Los principales problemas técnicos en los que trabajan los inventores e investigadores son la medición del gradiente de gravedad aerotransportado, la del gradiente de tensión geomagnética aerotransportado, la medición electromagnética aerotransportada, así como la cartografía geoquímica de minerales.
- ▶ Algunos desarrollos sobresalientes son las tecnologías aerotransportadas de prospección geofísica y teledetección para la extracción de información de mineralización en áreas cubiertas; se trata de desarrollos especialmente en gradiómetros aerogravimétricos y sistemas de observación electromagnética transitorios aerotransportados para desarrollar una tecnología espectral (Longqing, 2016), CA2033341C, WO2002103399A1.
- ▶ La mayoría de las empresas de exploración ahora usan sistemas GIS como tecnología principal. El rápido desarrollo de la tecnología informática ha mejorado la capacidad de adquisición y manejo de datos; además proporciona una plataforma de operación integral y análisis sistemático para la integración de los datos recogidos de diversos tipos de técnicas de exploración y datos geológicos. Las tendencias tecnológicas caminan hacia plataformas que proporcionan un marco digital unificado para clasificar, analizar, verificar de manera cruzada y superponer vector de datos relativamente aislados de varios campos que no pudieron ser integrados, luego para establecer datos automatizados multivariados y visualizar el modelo analítico interpretativo (Chinese Academy Sciences, 2010).

La figura 3.8 sintetiza las tendencias en tecnologías de prospección y exploración.

Figura 3.8. Tecnologías en prospección/exploración



Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Explotación

El proceso de explotación se divide en dos etapas principales: proyecto de mina y laboreo de mina:

**El proyecto de mina** consiste en la ejecución de operaciones comprendidas entre el descubrimiento de la materia prima y el tratamiento del mineral, en esta etapa se llevan a cabo los trabajos de ingeniería y diseño, construcción y de preparación de la mina. Las principales actividades desarrolladas durante el proyecto de mina incluyen la clasificación de métodos, sistemas y procesos mineros, selección de la maquinaria y servicios fundamentales para la optimización del proceso de obtención del mineral. El proceso de planeación de la mina es una etapa crucial que repercute en la factibilidad económica del proyecto debido a que es la base de importantes inversiones.

**Laboreo de minas o tecnología de minas** es la habilitación de los métodos, sistemas y procesos mineros seleccionados en el proyecto de mina que permitirán la extracción de la materia prima necesaria para la obtención de unos productos minerales (Herrera Herbet, 2006)

#### 3.3.1. Descripción de los subprocesos y tecnologías actuales

##### Descripción de las actividades

El diseño geométrico, selección de maquinaria y selección del personal conforman las principales actividades científicas y de cálculo técnico a determinar para la realización de un proyecto de mina (Herrera Herbet, 2006), estas actividades se pueden clasificar como se observa en la figura 3.9.

Figura 3. 9. Subprocesos de la etapa de explotación



Fuente: elaboración propia.

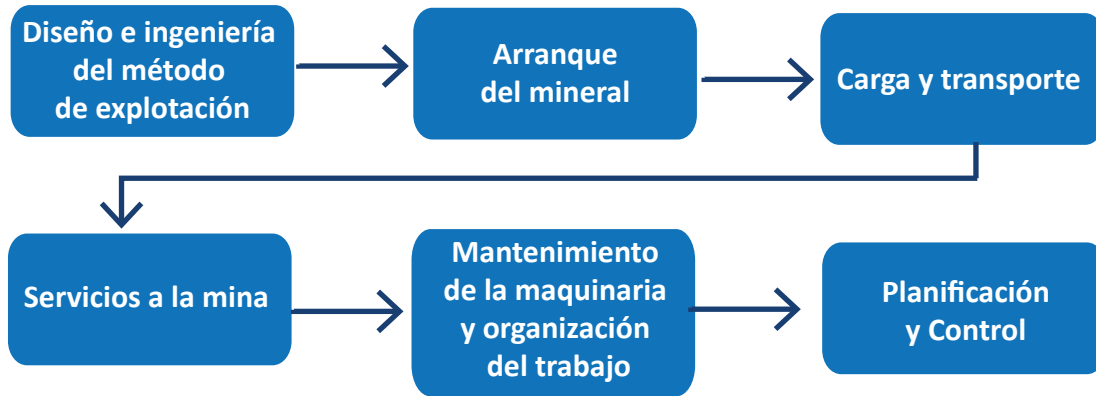
Una vez definidos los métodos, sistemas y procesos a seguir durante la etapa del proyecto de mina, los cuales se seleccionan dependiendo de la ubicación del mineral identificado y de las características de la roca, las operaciones esenciales para la explotación de los minerales son: arranque del mineral de la roca, carga y transporte.

Para acceder al mineral subterráneo se utilizan ejes, rampas y túneles verticales conocidos como derivas y rebajes, mientras que la explotación de canteras se basa en las técnicas utilizadas en obras públicas.

La explotación del mineral comienza con la voladura (explosivos y tecnologías de fragmentación). Una vez extraído el mineral es cargado y transportado a la planta de tratamiento/beneficio, por lo que el personal de la mina debe utilizar una variedad de equipos especializados para el manejo de las aguas subterráneas (deshidratación), ventilación (aireación), alumbrado, comunicaciones, etc.

De manera transversal a estas actividades, es necesario considerar el mantenimiento de la maquinaria y equipo, el mantenimiento de la mina mediante servicios de ventilación, el desagüe e iluminación que se realizarán de forma constante dentro del ciclo de producción de los minerales, así como los sistemas de seguridad de estabilidad de la mina y del personal operario en ella. A manera de resumen, se presentan las principales actividades en la figura 3.10.

Figura 3.10. Principales actividades en la etapa de explotación



Fuente: elaboración propia.

### Descripción del proceso

Después de que un depósito ha sido descubierto, explorado, delineado y evaluado, el siguiente paso es la selección del método de minado que física, económica y ambientalmente se adapte para la recuperación del mineral comercialmente valioso.

Desde el punto de vista económico, el mejor método de explotación deberá ser aquel que proporcione la mayor tasa de retorno en la inversión. Adicionalmente, el método seleccionado deberá satisfacer condiciones de máxima seguridad y permitir un ritmo óptimo de extracción bajo las condiciones geológicas particulares del depósito. Los métodos de minado deben ser elaborados con base en la geología estructural y en la mecánica de rocas prevaleciendo el concepto fundamental de estabilidad en las obras (SE, 2014).

Debido a la propia diversidad de los minerales, para los diferentes tipos de tratamiento y extracciones de los metales, existe un número muy amplio de elementos que intervienen en el proceso, no obstante, de manera general es posible agruparlos como se ilustra en la figura 3.11.

Figura 3.11. Proceso de explotación



Fuente: elaboración propia.

1. Selección del método minero.  
En la actualidad se reconocen cuatro tipos básicos de métodos de minería:
  - ▶ Minas de superficie o a cielo abierto: aplicable a minerales localizados a profundidades menores de 160 m. En ellas existe el minado de placeres y minado a tajo abierto.
  - ▶ Minas subterráneas: en estas se pueden utilizar los minados de: rebajes naturalmente soportados, rebajes artificialmente soportados, rebajes de hundimiento o una combinación de ellos.
  - ▶ Pozos de perforación: se utilizan como labores de acceso desde la superficie en las minas subterráneas. Pueden ser pozos verticales o inclinados de acuerdo a sus funciones: para la extracción del mineral del interior de la mina, para la entrada y salida del personal y acceso de maquinaria y materiales, como conducción para la ventilación (De la Cruz Irizar, 1994).
  - ▶ Minería submarina o de dragado: la minería oceánica es un método reciente. En la actualidad se realiza en las plataformas continentales, en aguas poco profundas. Por medio del dragado se recuperan sedimentos poco compactos, empleando dragas (tubos de succión con cabezales de corte situados en la punta).
2. Selección del sistema de explotación (arranque de minerales, extracción y transporte).
  - ▶ Continuo
  - ▶ Discontinuo (procedimientos cíclicos, por ejemplo, voladura con explosivos)
  - ▶ Mixto
3. Preparación, desmonte previo o infraestructura: necesario para el inicio de operaciones.
4. Definición de sistemas de arranque del mineral.
  - ▶ Mecánico / directo
  - ▶ Perforación, voladura y explosivos
5. Definir los procesos mineros para transportar el mineral extraído a la planta de tratamiento/beneficio con equipo y maquinaria especializada.
  - ▶ Carga y Transporte
    - Equipo de trituración (estacionaria, semi-móvil, móvil)
    - Transporte (semi-móvil, interior o exterior)
  - ▶ Vertido y almacenamiento
6. Definir servicios para la mina.
  - ▶ Desagüe, ventilación, mantenimiento de la mina y maquinaria, entubación, iluminación, etc.

### Tecnologías actuales de procesos

Las tecnologías de proceso en la minería se relacionan con aquellos desarrollos enfocados a mejorar continuamente los procesos productivos de las empresas mineras. Entre las nuevas tecnologías destaca el uso de tecnologías de la información (TI), que se adaptan a exigentes controles de calidad y pueden mejorar la seguridad, manejo responsable de agua, ahorro de energía y la gestión sobre los activos, aumentando el valor económico de las minas. Dentro de las tecnologías actuales se encuentra aplicaciones informáticas para el diseño de minas, gestión de procesos mineros y la simulación de procesos.

Las aplicaciones informáticas de procesamiento de datos geológicos y de diseño de la mina se han convertido en una gran ayuda en la industria minera.

Los sistemas avanzados de control de procesos permiten encontrar los puntos óptimos para una operación estable y lograr una mejor producción y calidad.

La simulación de procesos se ha utilizado en la industria minera por más de 3 décadas y es ampliamente aceptada como una herramienta para los ingenieros de procesos en empresas mineras y consultoras que implica la construcción de un modelo, en un área en específica o procesos integrales dentro de la mina. El modelado puede ser utilizado para una serie de propósitos, tales como (Adams, 2016):

- ▶ Diseñar estrategias de control y del proceso de pruebas.
- ▶ Capacitar a los operadores de plantas tanto en las operaciones existentes y nuevos.
- ▶ Predecir el efecto de los cambios en el mineral de alimentación en la planta existente.
- ▶ Descongestionar la planta.
- ▶ Caracterizar el comportamiento físico de los sólidos de proceso o líquidos.

### Tecnologías actuales de seguridad

Todas las minas presentan problemas de seguridad, pero se considera que las subterráneas son las más peligrosas, por lo general, las minas de roca blanda son más peligrosas que las de roca dura. Las causas principales de accidentes en la mayoría de las minas son los derrumbamientos de grandes rocas de las paredes de la mina. Este tipo de accidentes también incluye las caídas de rocas desde los mecanismos de transporte. La segunda causa más frecuente de accidentes en las minas es la maquinaria en movimiento. Otros riesgos son los explosivos, las inundaciones y las explosiones debidas a gases desprendidos por las rocas (Castro, 2008).

Las nuevas tecnologías de seguridad se basan en dispositivos, sensores, *software* y sistemas electrónicos, a continuación, se describen las principales en la etapa de explotación.

**Maquinaria.** Los adelantos en electrónica y telecomunicaciones facilitan hoy la operación de equipos a distancia. A través de cámaras de televisión y pantallas de control, es posible dirigir y operar los equipos a distancia. El uso de este tipo de maquinaria controlada a distancia para la extracción, está reduciendo los riesgos para los mineros.

Los actuales desarrollos en maquinaria cuentan con sistemas de seguridad en escaleras de acceso mecanizado para reducir el riesgo de tropiezos y caídas, así como sistemas de cámara integrados que proporciona una vista panorámica a conductores.

Los sistemas de alerta de proximidad móvil funcionan como alertas y sistemas de prevención para los empleados mediante emisiones de alerta ante posibles colisiones, exceso de velocidad o vuelcos. También ayudan a mejorar el conocimiento del tráfico de los conductores, especialmente en los puntos ciegos alrededor de su vehículo.

**Personal.** Los sistemas de permiso de trabajo constituyen una norma de seguridad ampliamente reconocida en la industria de la minería como medio de seguimiento de autorizaciones y competencias de los empleados, aspecto clave de la prevención de incidentes es la gestión del personal de trabajo.

En cuanto al panorama de identificación por radiofrecuencia (RFID), existen aplicaciones directas para rastreo de personal, equipo y algunos sistemas para rastreo y detección de minerales (Maqueo, 2015).

Destaca también la incorporación de tecnologías electrónicas avanzadas y computadoras en indumentaria y accesorios, las cuales se relacionan con la libertad de uso, movilidad y seguridad que proporcionan, como por ejemplo chalecos y cascos, que incorporan tecno-



logías inalámbricas, tecnologías láser, iluminación, sensores de detección de cortocircuitos, protección contra humedad y sistemas de protección anti golpes.

**Sensores de gas.** Un riesgo constante en la industria minera es la exposición a gases tóxicos provenientes del proceso productivo, debido a esto, es necesario contar con herramientas que permitan una detección oportuna. La tecnología de estos equipos ha mostrado una importante evolución con el uso de celdas sensoras de gases, sin embargo, se usan en particular tres tecnologías de sensores debido a sus excelentes propiedades: electroquímica, catalítica y medición infrarroja.

Los sistemas de control atmosférico (AMS) son una red computarizada capaz de medir con precisión las condiciones atmosféricas en una mina subterránea. Los AMS transmiten mediciones de ciertos gases (metano, dióxido de carbono, oxígeno) durante un trayecto en tiempo real; proporcionan alertas y señales de alarma para que los mineros puedan ser notificados en caso de alguna emergencia.

**Perforación y voladura.** La tecnología del proceso de voladura de roca es el proceso de rotura de un material por el uso de una cantidad calculada de explosivos de modo que se rompe un volumen predeterminado de material. Actualmente los explosivos más utilizados en la voladura son ANFO (nitrato de amonio de aceite más combustible), suspensiones, emulsiones (Phifer, 2012) nitrato de amonio, nitroglicerina, trinitrotolueno (TNT), entre otros (Halder, 2013). Existen avances constantes en explosivos, detonantes y técnicas para retrasar, así como en la comprensión de la mecánica de rotura de la roca con explosivos.

El método de voladura controlada es una técnica de rotura de rocas que tiene la finalidad de controlar las vibraciones del suelo. Estas técnicas son de uso más reciente y las más conocidas son la de Pre-corte, Trim (Cushion) y Smooth (Phifer, 2012).

En zonas muy cerradas y sensibles en la mina, actualmente, se realiza voladura sin explosivos. Se requiere gran cantidad de productos químicos para una gran perforación.

Además de controlar y monitorear las vibraciones generadas por la voladura de rocas, las empresas se apoyan en el desarrollo de la tecnología para reducir al máximo este efecto, tal es el caso de los sistemas electrónicos de voladuras, que permiten una precisión mayor y un *timing*<sup>22</sup> significativamente más flexible que los detonadores tradicionales pirotécnicos, además, un mejor control energético. Los sistemas electrónicos de voladuras posibilitan mejorar la fragmentación, formación de pilares, control de vibraciones, mejoran las condiciones de las paredes o caras y reducir el sobre quiebre (Panorama Minero, 2013).

**Control de polvo.** El control del polvo también es un gran desafío para la minería, ya que una gran cantidad de material particulado fino compromete la salud de los operadores, disminuye el desempeño de los equipos y afecta la productividad de las operaciones mineras (Conserjería del Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2000) En este sentido, los supresores de polvo funcionan modificando las propiedades físicas de la superficie, para que las partículas y material del suelo sean más pesadas y se evite la contaminación por esta vía, mejorando la calidad del aire y la visibilidad del camino. La técnica para esparcir los supresores de polvo consiste en agregar una sustancia líquida (en su mayoría polímeros o aceites), la cual, mezclada con agua, produce una costra que impide que el viento levante partículas de polvo desde la superficie, evitando la suspensión de material particulado.

<sup>22</sup> *Timing* o intervalos de iniciación de las cargas, refiere a la secuencia ordenada e la que deben ser disparados los taladros que contienen los explosivos

## Tecnologías actuales de maquinaria

En las minas a cielo abierto y subterráneas se ha tenido un gran avance en máquinas impulsadas por diésel, aire comprimido o una fuente eléctrica. Las maquinarias de minas en términos generales pueden clasificarse en función del tipo de operaciones: la perforación, recolección, carga y transporte (Haldar, 2013).

Diferentes tecnologías están ayudando a mejorar la productividad y la eficacia operativa y a conseguir importantes ahorros en el consumo de energía. Así, por ejemplo, la minería tele-robotizada, es decir, el uso de maquinaria robótica controlada a distancia para extraer minerales está reduciendo los riesgos para los mineros. De igual forma, se emplean robots para inspeccionar equipos con el fin de mejorar la eficacia de los servicios de mantenimiento, se utilizan camiones de transporte completamente autónomos; se implementan nuevas tecnologías digitales que permiten alcanzar mayores niveles de integración y automatización de operaciones de procesamiento y gestionarlas de forma remota, entre otras (Báez, 2015).

Los camiones de gran porte, que llegan a soportar cargas de hasta 300 toneladas, son cada vez más seguros para los operadores, facilitan su trabajo, ahorran combustible y colaboran con la productividad de la mina.

Actualmente los sistemas de alerta de proximidad son instalados en casi todos los vehículos móviles, funcionan como alertas de tráfico y sistemas de prevención de colisiones, cuentan con sistemas de audio e indicadores visuales de posibles colisiones, además se brinda al operario conocimiento del tráfico, especialmente en puntos ciegos (Mining-Technology, 2011).

En cuanto a la maquinaria de tipo rodante: escrepas, chancadoras de impacto horizontal, bombas de desplazamiento de fluidos y equipos de proyección (*shotcrete*), entre otros, tienen como aporte tecnológico reciente la incorporación de localización satelital GPS. Asimismo, existen unidades electrónicas de medición de eficiencia que, conectadas a un procesador, permiten medir las condiciones del equipo, rendimiento de la jornada y eficiencia respecto de sus pares (Mercado, 2014).

Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará el material. Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminución en las plantas metalúrgicas (Seguridad Minera, 2016).

**Sistemas Automatizados.** Los sistemas usados para la automatización pueden llegar a integrar varios dispositivos para que toda la planta opere en un solo entorno. Un aspecto decisivo para introducir soluciones tecnológicas cada vez más avanzadas en las minas es tener al personal capacitado para poder manejarlas.

### 3.3.2. Tecnologías futuras

#### Sistemas y dispositivos de seguridad

En cuanto a minería metálica, dejando de lado elementos de extracción de combustibles y minerales orgánicos, se generó el siguiente mapa de calor en el que se agrupan registros relacionados con **sistemas y dispositivos de seguridad** de la minería en función de su “novedad y uso”, cada uno de los documentos se representa como un punto. Es posible visualizar áreas de aglomeración de invenciones relacionadas, desde soportes que brinden estabilidad a la mina, hasta seguridad del personal operario, incluyendo también el desarrollo de maquinaria enfocada a la prevención de accidentes. La seguridad en la mina es una de las principales áreas de investigación y es transversal al proceso productivo de explotación.

Las principales líneas de desarrollo tecnológico identificadas son:

- ▶ Equipo de seguridad del personal (indumentaria y vestimenta)
- ▶ Sistemas de comunicación (dispositivos inalámbricos)
- ▶ Sistemas de monitoreo (RFID y monitoreo de condición del personal)
- ▶ Soporte de la mina (métodos de pilares y métodos de hundimiento)
- ▶ Maquinaria (robótica controlada a distancia y sistemas automatizados)

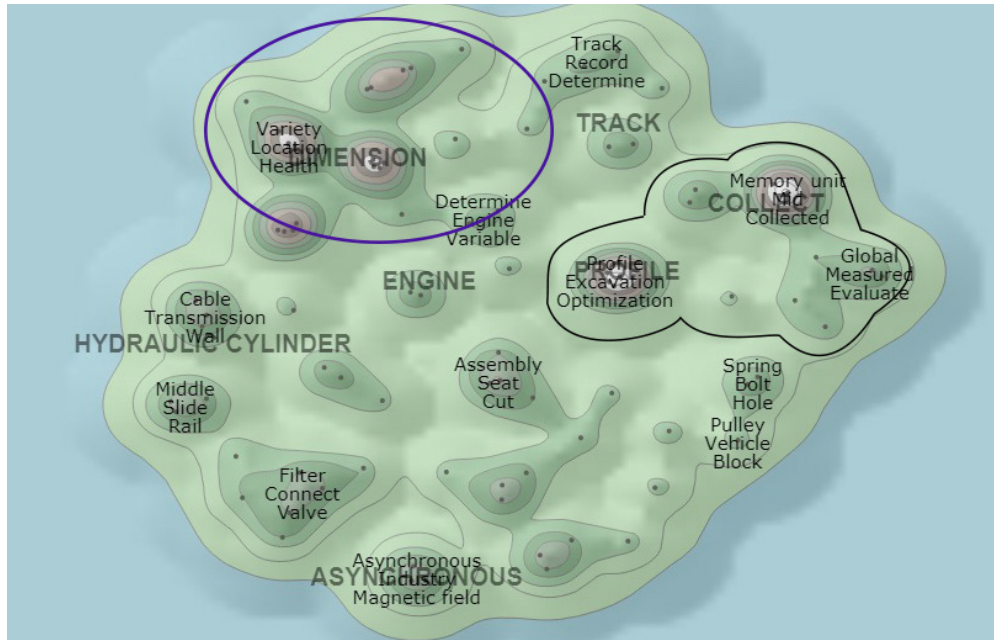
El mapa de patentes (véase figura 3.12) permite identificar varias de las líneas de desarrollo tecnológico: por ejemplo, dentro de la línea negra se encuentran las tecnologías de “equipo de seguridad para personal”, principalmente cascos de seguridad, sistemas de comunicación electrónicos e inalámbricos y sensores para el monitoreo y seguimiento del personal y de operaciones.

Por otra parte, en el tema de seguridad también destacan sistemas de soporte de las minas, sobre todo para minas con superficies blandas, de ahí la importancia de métodos y procedimientos para la supervisión de pilares, métodos de instalación de soportes, así como métodos seguros de perforación de rocas. Esta línea de desarrollos (elipse roja) se relaciona en menor grado con las tecnologías de seguridad del personal, sin embargo, se integran en mayor proporción con los sistemas verticales.





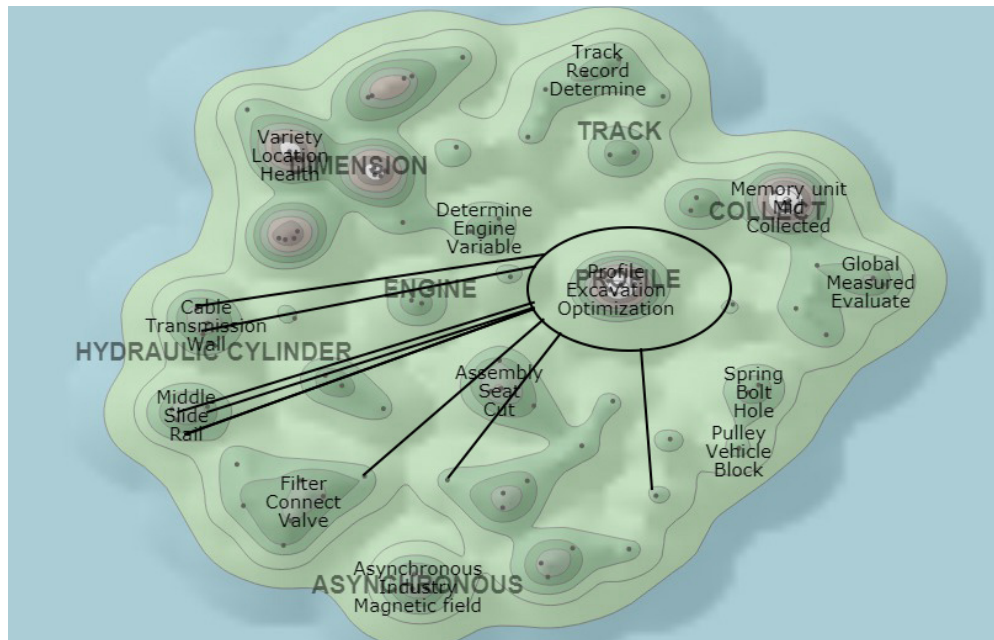
Figura 3.14. Distribución de patentes relacionadas con maquinaria y sus complementos



Fuente: elaboración propia.

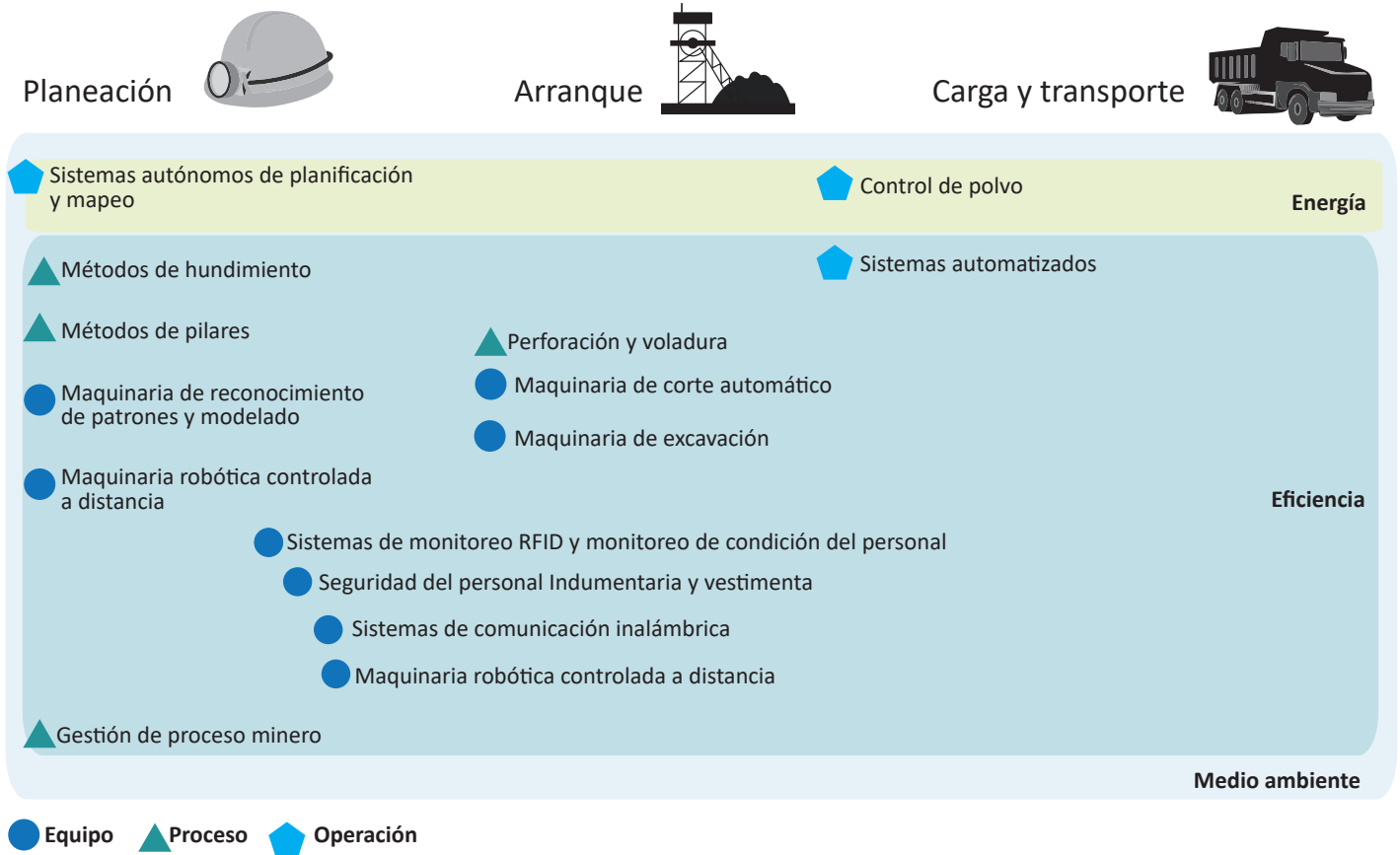
Si bien esas dos tendencias representan el mayor número de patentes recuperadas, existe mayor relación entre las maquinarias de excavación y los sistemas hidráulicos y electrohidráulicos, como se puede observar en la figura 3.15. Esto se debe a que no existe un gran número de desarrollos que integren ambos tipos de tecnologías, en cambio, son sistemas o dispositivos que se complementan durante el proceso productivo o se adaptan a la maquinaria ya existente. La figura 3.16 sintetiza las tendencias en maquinaria de minería.

Figura 3.15. Distribución de patentes relacionadas con maquinaria y sus complementos. Principal vinculación



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.16. Tecnologías en procesos de explotación



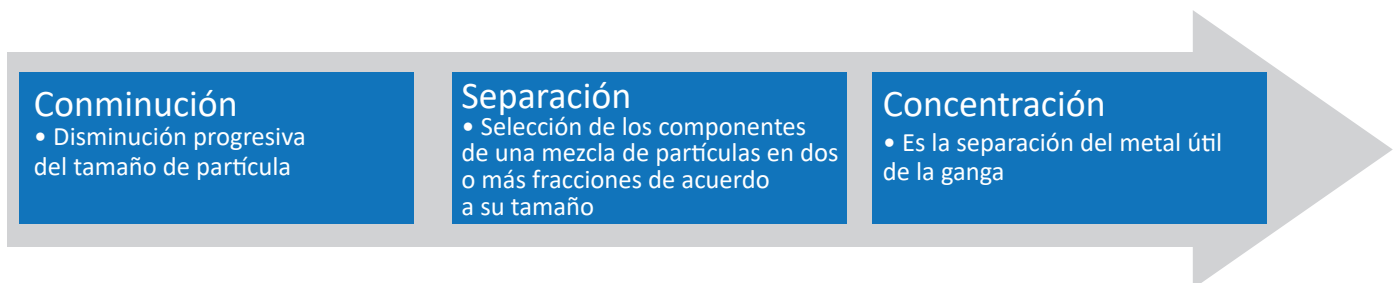
Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Obtención de minerales metálicos

#### Beneficio

El beneficio de minerales constituye un conjunto de procesos físicos mediante el cual se separa la mena de la ganga, comprende los procesos de conminución, separación y concentración, su principal objetivo es liberar al metal de interés de los compuestos que se consideran de desecho sin modificar el estado químico de los minerales.

Figura 3.17. Subprocesos del beneficio de minerales



Fuente: elaboración propia.

Este proceso de separación reduce considerablemente la cantidad de material que debe ser manipulada en las plantas, así como la cantidad de energía y reactivos para la obtención del metal puro, por lo que el beneficio es crítico para lograr procesos de obtención eficientes, sin embargo, las operaciones realizadas presentan principalmente las siguientes problemáticas:

- ▶ Alto consumo energético.
- ▶ Alto consumo de agua.
- ▶ Diferencia o variación en la composición del mineral, lo que resulta en la necesidad de implementar procesos variados.

En función de lo anterior, los avances tecnológicos para el proceso de beneficio se han enfocado en reducir tanto el consumo de energía empleado principalmente en la conminución como el consumo neto de agua a fin de disminuir el impacto ambiental, así como, el desarrollo de procesos más eficientes. Otro aspecto importante que se ha considerado transversal a todas las operaciones unitarias es la seguridad del personal que opera en cada subproceso, por lo que se ha incrementado notablemente el uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) para el monitoreo y automatización. Existen diversas técnicas para cada subproceso del beneficio de acuerdo al tipo de mineral que se desea concentrar, no obstante, en el presente documento se centrará en las principales tecnologías desarrolladas para oro y plata por ser los minerales de mayor interés para el estado de Zacatecas.

A continuación, se describen, de forma general, las operaciones unitarias del proceso de beneficio y más adelante se detallarán las tecnologías empleadas actualmente, así como las tendencias tecnológicas.

**Conminución.** Es el proceso para la reducción progresiva del tamaño de partículas en los minerales, este proceso inicia con la explosión dentro de la mina para la extracción de menas y continúa en la planta de beneficio a través de la trituración y molienda. Los objetivos principales de la conminución son (Alcalá, Flores y Beltrán, s.f.):

- ▶ Facilitar el transporte de los materiales de la mina a la planta.
- ▶ Liberación del mineral valioso de la ganga antes de las operaciones de concentración.
- ▶ Incrementar la superficie específica de las partículas, por ejemplo, para acelerar la velocidad de reacción en los procesos de lixiviación, flotación, etc.

La trituración generalmente es una operación realizada en seco y se realiza en dos o tres etapas de acuerdo con el tamaño de partícula necesario para la liberación del mineral, estas fases son nombradas como primaria y secundaria, en algunos casos se puede requerir un proceso adicional dependiendo el tipo de material (Cortés y Guillén, 2010).

La molienda es la última etapa del proceso de conminución, durante ella se reduce el tamaño de las partículas por una combinación de mecanismos de quebrado de impacto, astillado y abrasión, ya sea en seco o en suspensión acuosa (Cortés y Guillén, 2010; Haldar, 2011).

**Separación.** Es la distinción de los componentes de una mezcla de partículas en dos o más fracciones de acuerdo con su tamaño mediante el uso de diferentes técnicas como tamizado y clasificación. Las partículas gruesas son separadas por tamizado a través de mallas que son colocadas en las unidades de trituración y molienda en las etapas de alimentación y descarga.



Las partículas que se consideran demasiado finas para ser separadas eficientemente por tamizado se separan por técnicas de clasificación (Ministerio de Minas y Energía, 2002; Haldar, 2011). El objetivo principal de la separación es ingresar partículas de tamaño homogéneo al proceso de concentración, donde la extensión de la superficie de contacto es importante para aprovechar las propiedades fisicoquímicas de los materiales con el propósito de lograr procesos eficientes de concentración de los minerales que no posean riqueza alguna y que generan costos de manejo y tratamiento, así como eliminar aquellos que pudieran presentar consecuencias negativas en el proceso de extracción metalúrgica siguiente como la pirita, arenas de cuarzo y materia orgánica.

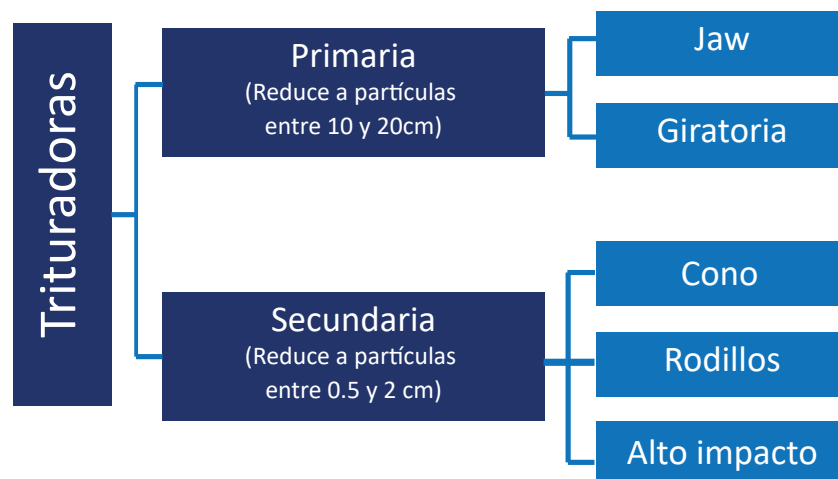
**Concentración.** Este proceso se realiza a través de aprovechar las propiedades físicas y químicas de los minerales o metales para enriquecer la extracción del mineral, reuniendo la mayor cantidad de mineral en el menor volumen posible; las principales técnicas son: gravedad, medios magnéticos, eléctricos, medios densos, lixiviación y flotación, entre otras (Ministerio de Minas y Energía, 2002; Haldar, 2011).

### 3.4.1. Tecnologías utilizadas actualmente

Los avances en los procesos unitarios del beneficio se han centrado en tecnologías que incrementan la eficiencia del proceso disminuyendo el consumo de energía en la liberación del mineral de interés; mejoran la seguridad personal de los operadores, y reducen el impacto ambiental de la minería en general.

Para efectuar la **conminución** se emplean trituradoras o chancadoras y molinos de diversas configuraciones o circuitos que permiten efectuar el trabajo de desintegración en la preparación de rocas y minerales, cuya selección dependerá del esfuerzo que se requiere para lograr el tamaño de partícula adecuado. Los equipos más comunes utilizados para la trituración se pueden clasificar de diversas formas, a continuación se presentan los principales equipos empleados de acuerdo a la etapa de desintegración (Haldar, 2011; Ministerio de Minas y Energía, 2002).

Figura 3.18. Equipos más comunes usados para trituración de acuerdo a la etapa de desintegración

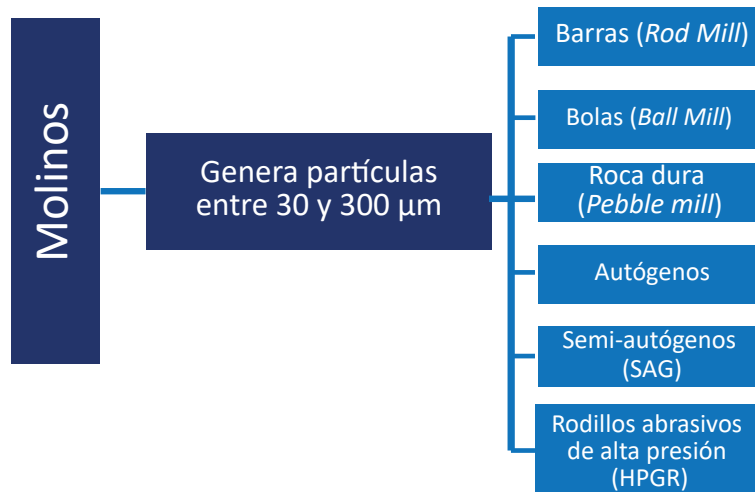


Fuente: Haldar (2011).

Si la reducción de tamaño no es suficiente después de la trituración secundaria debido a la dureza del mineral o en casos especiales en los que es importante minimizar la producción de finos, se recomienda el triturado terciario utilizando trituradoras secundarias en configuraciones diferentes.

Para la operación de molienda los equipos usados son molinos de diversos tipos cuya diferencia está en la relación de diámetro a la longitud del cilindro y el tipo de medios de molienda empleados. Los medios de molienda pueden ser bolas de acero, barras de acero, piedras de roca dura o el propio mineral (Haldar, 2011).

Figura 3.19. Equipos más comunes usados de acuerdo a los medios de molienda



Fuente: Haldar (2011) y Mosher (2016).

En lo referente a maquinaria usada en el proceso de conminución, se ha producido un gran avance a través de mejora en equipos de fragmentación, la simulación y el control, como la prensa de rodillos y los molinos por agitación (*Isa Mill*), que buscan incrementar la capacidad de tratamiento y disminuir el consumo energético.

Las técnicas más empleadas para la reducción de tamaño son la trituración semiautógena (SAG, por sus siglas en inglés) y los rodillos abrasivos de alta presión (HPGR, por sus siglas en inglés). No obstante, actualmente existe una fuerte tendencia al desarrollo de una minería inteligente, por lo que hay un gran número de investigaciones enfocadas a la mejora en la liberación del mineral a partir de las teorías de impacto y ruptura de materiales (Wang, Shi y Manlapig, 2012).

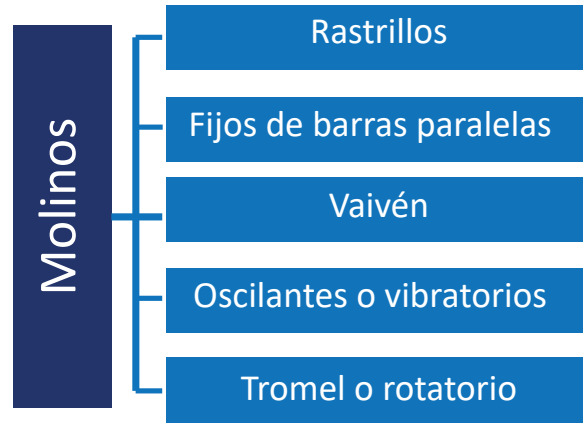
En este sentido las tecnologías empleadas actualmente para los procesos de conminución se basan en:

- ▶ Estrategias de desarrollo para la desintegración de materiales por pulsos eléctricos, microondas y control de la molienda autógena usando análisis de imágenes.
- ▶ Simulación y control avanzado del tratamiento en trituradoras giratorias de cono.
- ▶ Modelación geometalúrgica en el circuito de la molienda en Collahuasi.
- ▶ Influencia de la granulometría de alimentación en el proceso de conminución en trituradoras de alta presión.

En cuanto a los subprocesos de separación, en la industria minera se emplean técnicas de tamizado y clasificación; la primera consiste en insertar tamices y/o mallas en los circuitos de trituración y molienda durante la alimentación o drenaje de los equipos (Haldar, 2011; Ministerio de Minas y Energía, 2002).

Esta operación sirve para estandarizar el tamaño de partícula que incrementa el rendimiento de procesos subsecuentes, los equipos empleados dependen del estado físico de la mezcla a separar, de la densidad de materiales y del tamaño de partícula (Ministerio de Minas y Energía, 2002). Respecto a la operación de tamizado existen mallas con y sin vibración, siendo las primeras las más empleadas y puede, a su vez, ser cilíndricas o planas.

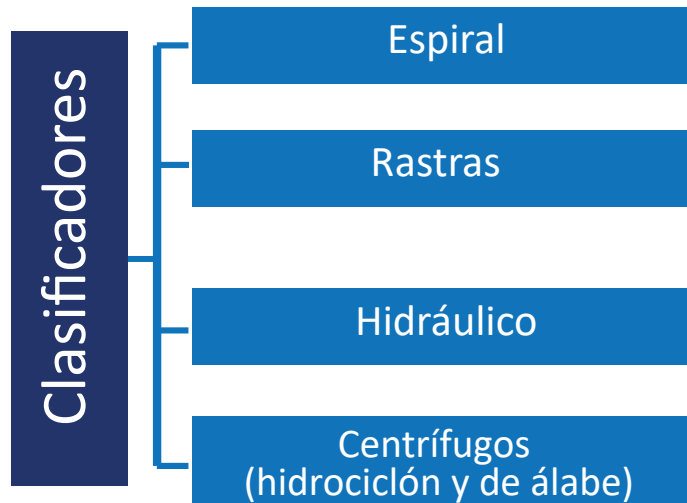
Figura 3.20. Tipos de tamices empleados en el proceso de separación



Fuente: Haldar (2011) y Ministerio de Minas y Energía (2002).

Respecto a los equipos de clasificación se dividen en las siguientes categorías (Ministerio de Minas y Energía, 2002):

Figura 3.21. Categorías de clasificadores



Fuente: Haldar (2011) y Ministerio de Minas y Energía (2002).

Posterior a estos procesos, y debido a la naturaleza y composición de los minerales, regularmente se emplea un proceso de concentración, esta operación puede ser realizada por diversas técnicas a través de aprovechar las propiedades físicas y químicas de los componentes del mineral para lograr separar y concentrar el metal de interés. Las tecnologías empleadas actualmente se dividen en los grupos a continuación enunciados (Bustamante Rua, Gaviria Cartagena y Restrepo Baena, 2008; Haldrar, 2011):

- ▶ Métodos de aprovechamiento de propiedades físicas o volumétricas de las sustancias minerales.
- ▶ Métodos que usan propiedades físico-químicas de superficie.

Con el paso del tiempo los minerales extraídos presentan composiciones más variadas, complejas y de menor ley. La tecnología más empleada para realizar el proceso de concentración de forma eficiente es la **flotación**, es por esto que la investigación y análisis de tendencias futuras presentado más adelante se centra en el estudio de dicha técnica, la cual consiste en aprovechar las características hidrofóbicas de los materiales que componen la mena. Existen dos técnicas principales de flotación conocidas como: flotación por espuma y en columna.

Para la recuperación de oro y plata se emplea la flotación por espuma principalmente la cual es asistida con inyección de burbujas de aire. Las partículas que presentan rechazo al agua se pegarán a las burbujas de aire y subirán con éstas a la superficie de la pulpa; las partículas hidrofílicas se mojarán y caerán al fondo de la máquina de flotación, obteniéndose de este modo dos fracciones: un concentrado que se recupera en la espuma y las colas que se eliminan por la parte inferior de la máquina.

### 3.4.2. Tecnologías futuras

El beneficio de los minerales comprende toda la serie de procesamientos que se pueden realizar sobre el mineral extraído para obtener productos útiles o valiosos. Los ciclos de operaciones, procesos y equipos empleados en cada procedimiento que se requiere para obtener el producto final dependen del mineral explotado (Ministerio de Minas y Energía, 2002).

#### Conminución

A lo largo de este proceso, la energía eléctrica y el agua son insumos muy determinantes de los costos (Programa Nacional de Minería Alta Ley, 2016), es por esto que el desarrollo de tecnologías futuras sigue previendo el uso de tratamientos previos o simultáneos en este proceso, a través de los cuales se pueden atender estas necesidades; asimismo, se buscan métodos selectivos que incrementen la eficiencia de los procesos.

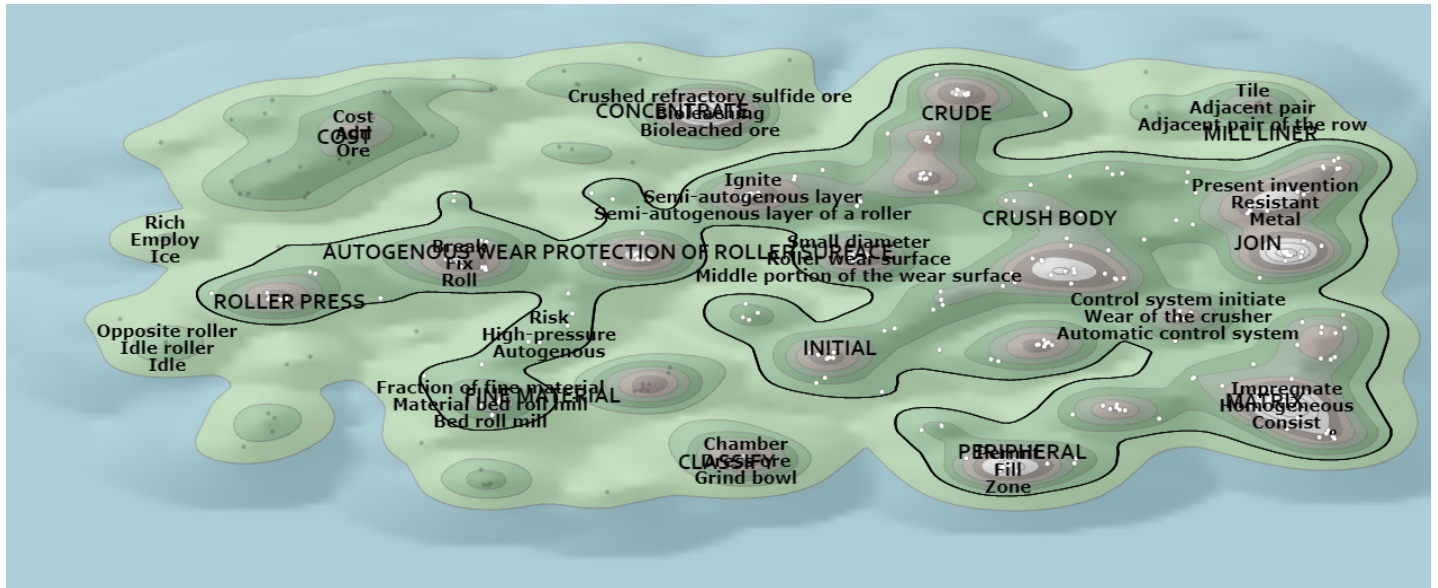
Las principales tendencias tecnológicas aplicadas al tema de conminución son:

- ▶ Desarrollo de tecnologías para liberación selectiva
- ▶ Uso de recubrimientos para separación y conminución
- ▶ Seguridad personal

En la figura 3.22 se muestran los temas sobre los cuales se ha centrado el desarrollo tecnológico en el proceso de conminución, ordenados por tema de aplicación; las elevaciones en los círculos concéntricos representan la frecuencia con la que cada tema ha sido abordado en la literatura consultada.

En la curva resaltada se observa que el desarrollo tecnológico tiene un fuerte enfoque en la mejora de sistemas de fragmentación autógenos, por lo que gran parte de los resultados localizados en patentes se encaminan al uso de nuevos materiales y configuraciones de rodillos, barras y bolas en los equipos para disminuir la energía invertida durante la liberación del metal.

Figura 3.22. Distribución de patentes relacionadas con la conminución

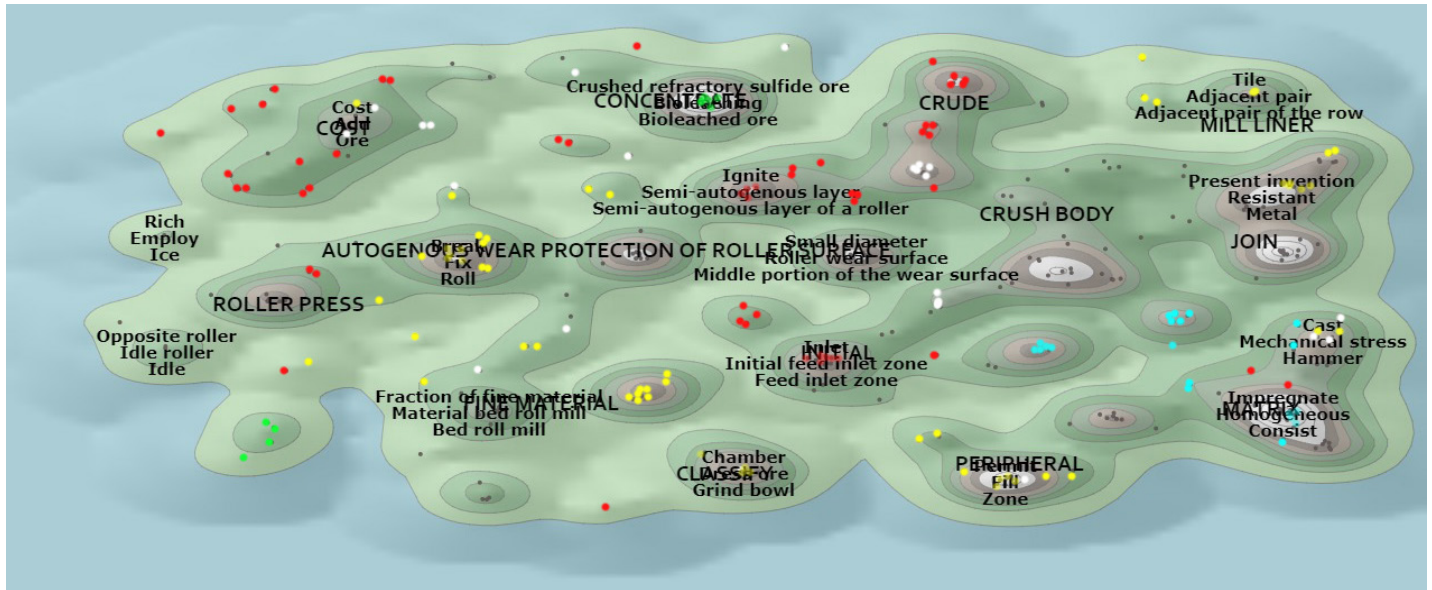


Fuente: elaboración propia.

Un punto crucial en el desarrollo de nuevos equipos radica en el logro de partículas de tamaño homogéneo, por lo que dentro de los resultados obtenidos fue posible identificar que existe una tendencia importante para la implementación de recubrimientos en los sistemas de separación ubicados en alimentadores y evacuadores de los trituradores y molinos. En el diagrama mostrado posteriormente, esta tendencia se refleja en los puntos resaltados en color azul, los cuales a su vez se encuentran directamente relacionados con el diseño de procesos continuos y el uso de tecnologías de la comunicación para la detección de dimensiones de partícula y el desarrollo de *software* que permita procesos automatizados.

También se identificó una tendencia importante sobre el procesamiento de minerales refractarios, los registros relacionados se resaltan en color verde; cabe mencionar que los documentos ahí clasificados presentan procesos asistidos de extracción como lixiviación, biolixiviación y flotación, y el objetivo final recae en la disminución de costos y energía para la liberación de partículas metálicas finas y ultrafinas.

Figura 3.23. Distribución de patentes relacionadas con la conminución de acuerdo a su uso



Fuente: elaboración propia.

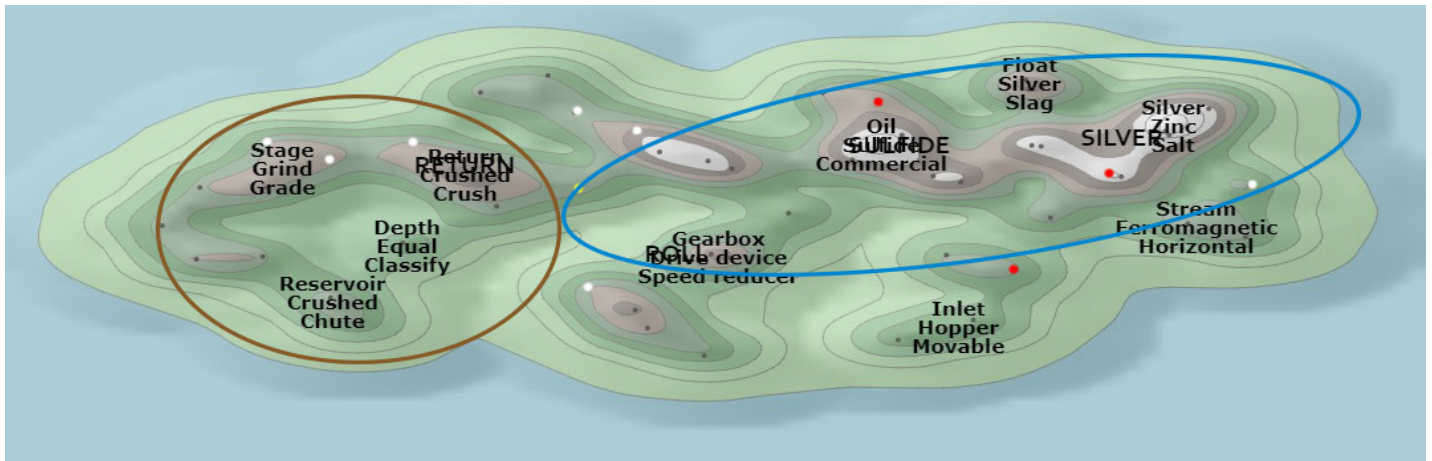
### Separación y concentración

A medida que las leyes minerales disminuyen, la necesidad por tratar materiales de mayor volumen para lograr una misma producción aumenta y, adicionalmente, ocurre el problema de una mayor complejidad mineralógica y una diseminación más fina del mineral valioso, por lo que las técnicas para la recuperación presentan evoluciones en diversas áreas. De acuerdo con la investigación realizada, los principales tópicos donde se han identificado tendencias tecnológicas para las operaciones de separación y concentración de minerales metálicos son:

- ▶ Procesos híbridos, diseño de circuitos de procesamiento de minerales, así como mejoras en equipos y procesos tradicionales.
- ▶ Procesos asistidos por biotecnología y ondas de diversas frecuencias.
- ▶ Desarrollo y adaptación de técnicas para la recuperación de minerales refractarios.

En lo referente a flotación, la figura 3.24 muestra la distribución general de invenciones identificadas, en ella se aprecian dos áreas de interés circunscritas con diferentes colores. Es importante señalar que no son tópicos independientes, ambas secciones tienen como fin lograr procesos híbridos, diseño de circuitos de procesamiento de minerales, así como mejoras en equipos y procesos tradicionales.

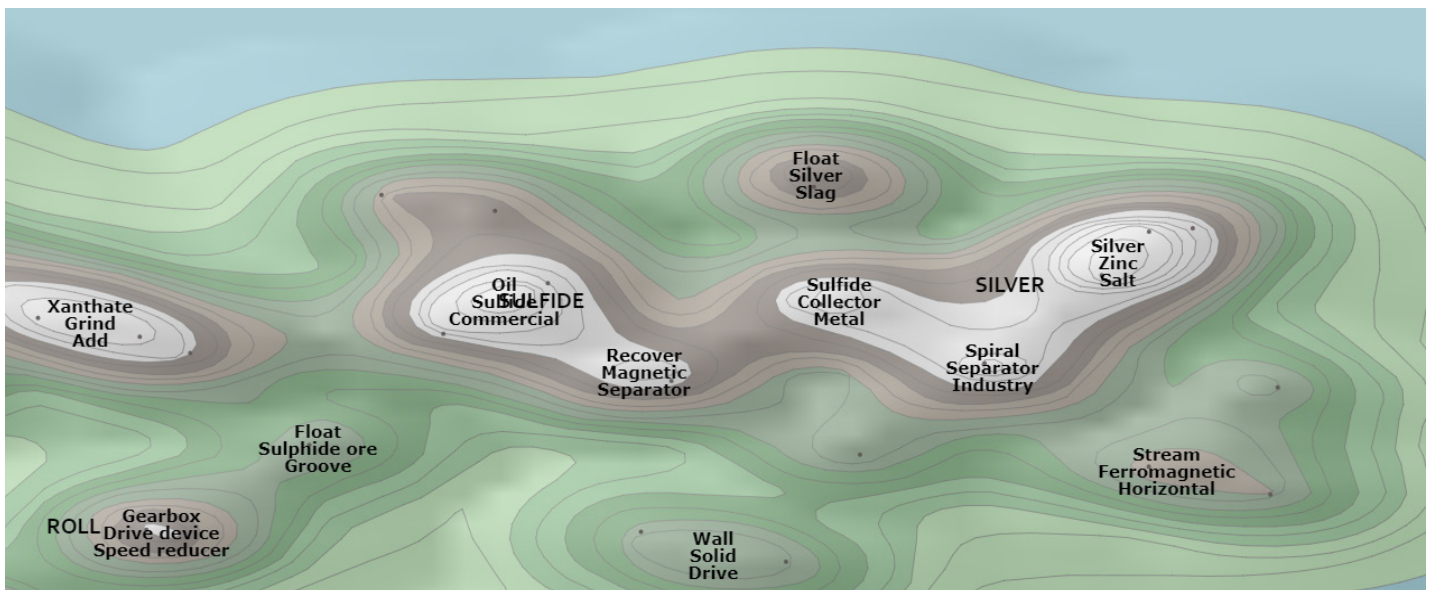
Figura 3.24. Distribución de patentes relacionadas con la flotación de acuerdo con su uso



Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.25 se realizó un acercamiento de la zona delimitada en color azul, donde se observa una incidencia importante en los registros referentes al uso de colectores y modificadores durante el proceso de flotación por espuma, principalmente aquellos compuestos con xantato, sulfuro y sales. El uso de compuestos, de acuerdo con los registros, se emplea principalmente para la recuperación selectiva de partículas finas y ultrafinas de cobre, zinc, plata y oro. También dentro de este grupo de patentes se presenta el arreglo y mejoramiento de equipo relacionado con los procesos de separación magnética.

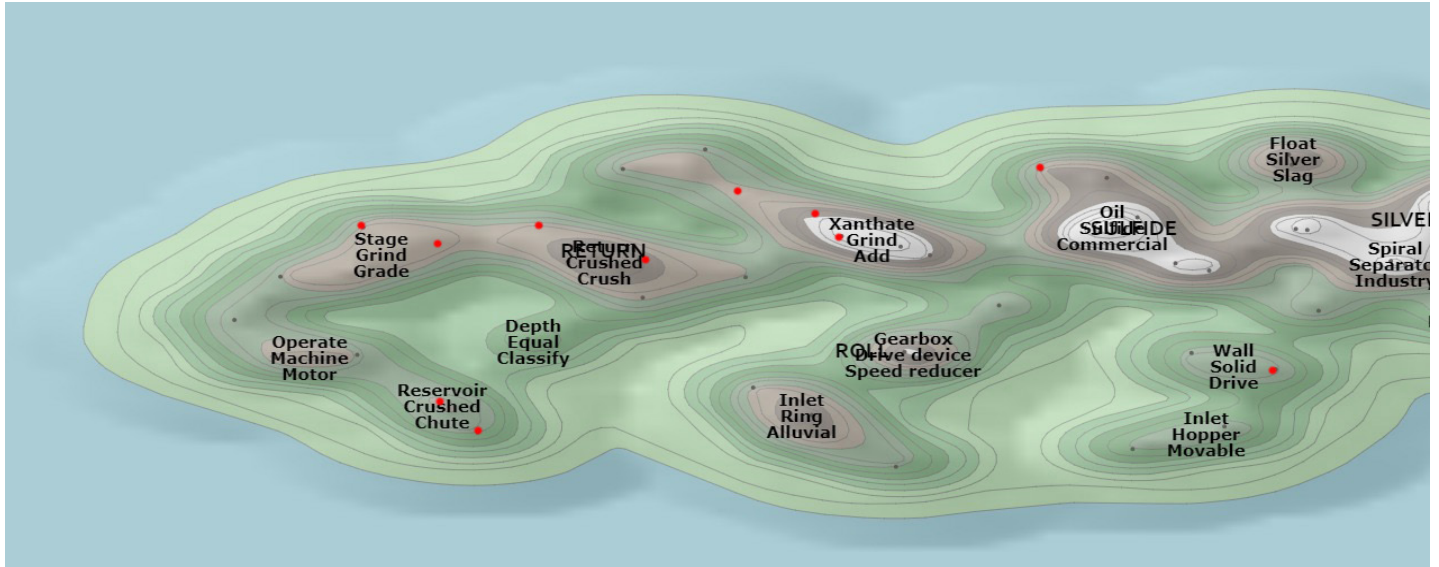
Figura 3.25. Distribución de patentes relacionadas con la flotación de acuerdo a su uso (acercamiento sección azul)



Fuente: elaboración propia.

Respecto a la zona resaltada en color café en la figura 3.26, se observan relieves importantes en aquellas solicitudes de patente relacionadas a configuraciones de circuitos que incluyen la molienda, ya que, como se mencionó, el tamaño de partícula resulta factor crítico para incrementar la eficiencia del sistema de concentración, asimismo se protegen configuraciones en circuitos que contemplan principalmente el intercalamiento de operaciones de flotación, separación y re-molienda. Es importante destacar que, dentro de las configuraciones propuestas, hay un gran número de registros que buscan la recirculación de agua.

Figura 3.26. Distribución de patentes relacionadas con la flotación de acuerdo con su uso (acercamiento sección café)

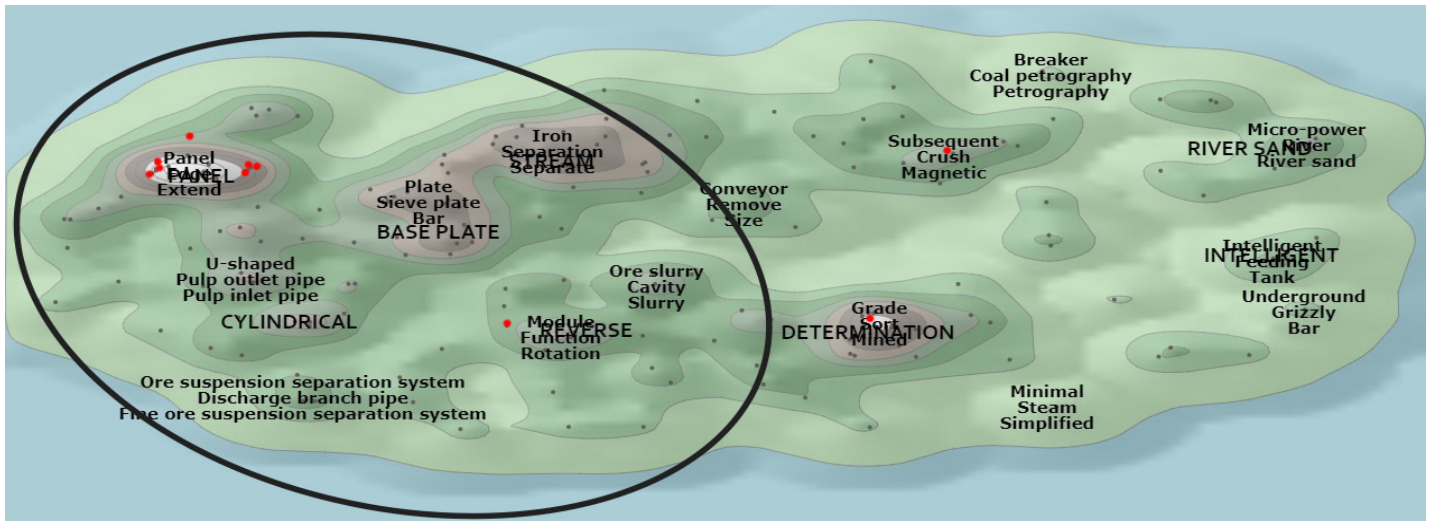


Fuente: elaboración propia.

Respecto a la operación de separación, en la sección delineada de color negro de la figura 3.27 se concentran gran parte de las mejoras en los sistemas de separación son referidas a la aplicación de nuevos materiales en las pantallas de cilindros y planchas separadoras, donde se protegen sistemas para recubrir superficies, aplicación de materiales de alta dureza y configuración de circuitos, así como la formación de camas para los procesos de alta presión.



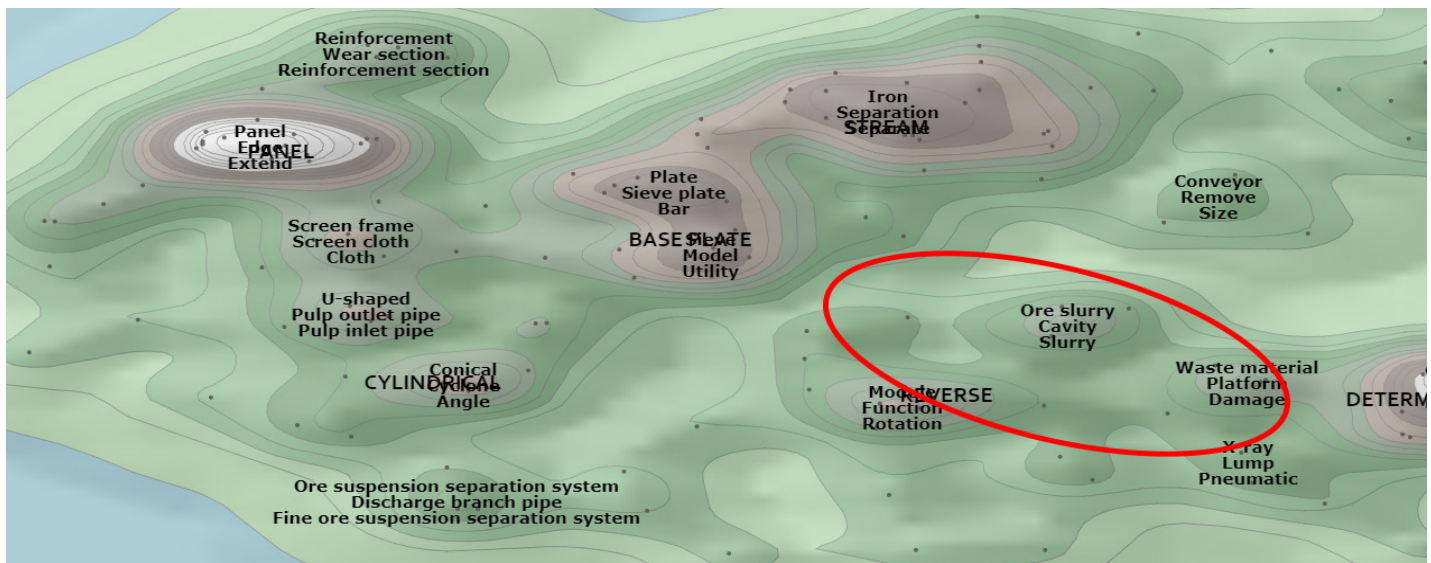
Figura 3.27. Distribución de patentes relacionadas con la separación de acuerdo con su uso



Fuente: elaboración propia.

En este sentido, derivado de la elevada complejidad de los minerales actuales, las empresas han buscado solucionar, puntualmente, esta problemática, por lo que se han mejorado equipos para la separación introduciendo cubiertas de materiales que permitan tener una selección más específica, así como, el uso de sistemas de asistencia que mejoren las eficiencias de los mismos, como la generación de campos electromagnéticos, eléctricos y la aplicación de compuestos que generen suspensiones para la posterior aplicación tradicional de hidrociclones.

Figura 3.28. Distribución de patentes relacionadas con la separación de acuerdo a su uso (sección resaltada en negro)



Fuente: elaboración propia.

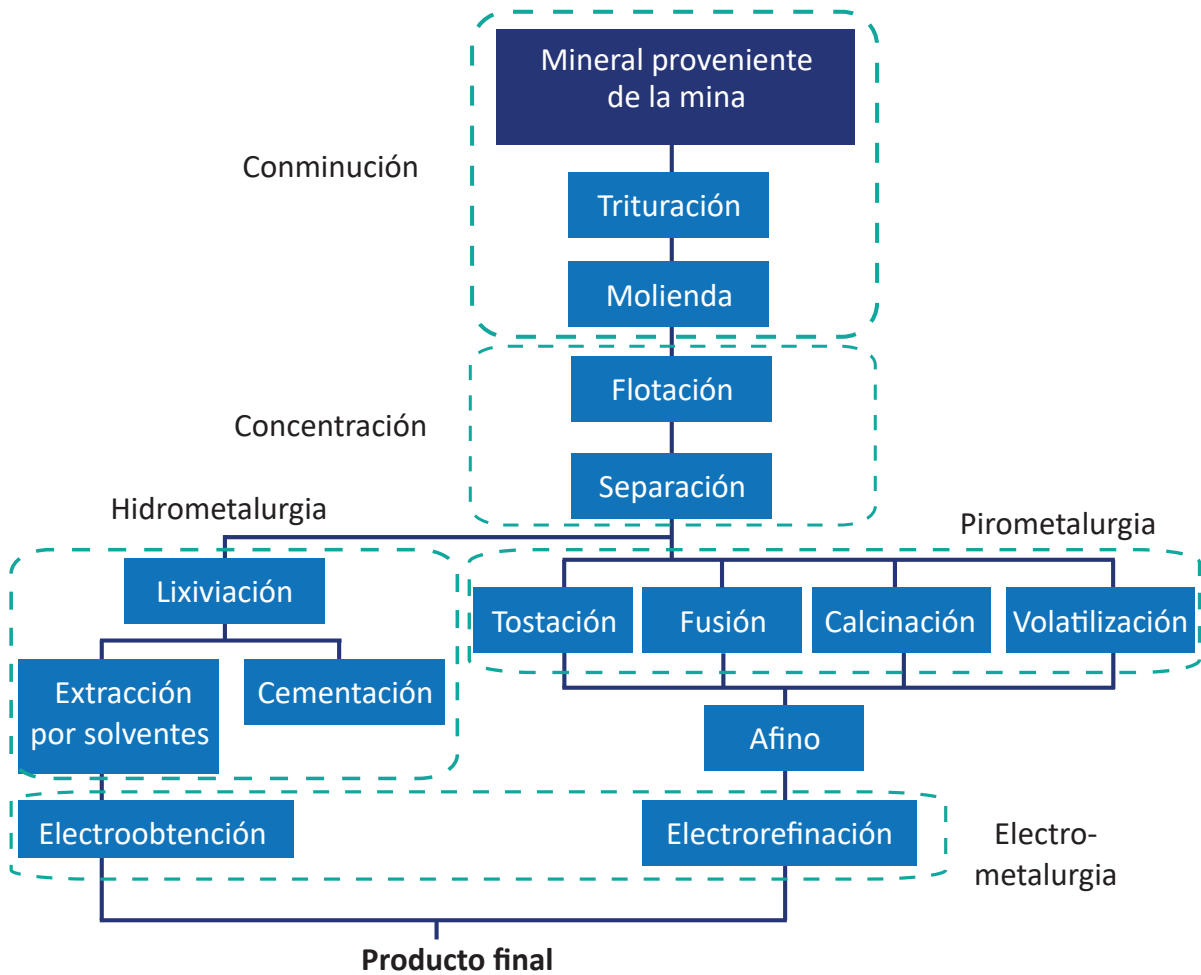
También se han localizado modelos de utilidad (círculo rojo) que se relacionan con el tratamiento de colas de desecho generadas a lo largo del proceso de minería para la recuperación de las partículas ultrafinas. En resumen, las tendencias tecnológicas identificadas son:

- ▶ Procesos híbridos, diseño de circuitos y mejoras en equipos y procesos tradicionales.
- ▶ Procesos asistidos por biotecnología y ondas de diversas frecuencias.
- ▶ Desarrollo y adaptación de técnicas para la recuperación de minerales refractarios.

### 3.5. Extracción

La obtención de los minerales se puede clasificar en dos grandes procesos: los físicos (beneficio), que se realizan en la etapa previa a la extracción como tal, y los químicos (extracción), que involucran tres grandes ramas de la metalurgia: hidrometalurgia, pirometalurgia y electrometalurgia. En la figura 3.29 se resumen los procesos existentes para la obtención de los minerales; normalmente sólo se utilizan algunos de ellos, en función del tipo de mineral que se quiere obtener.

Figura 3.29. Procesos de extracción de minerales



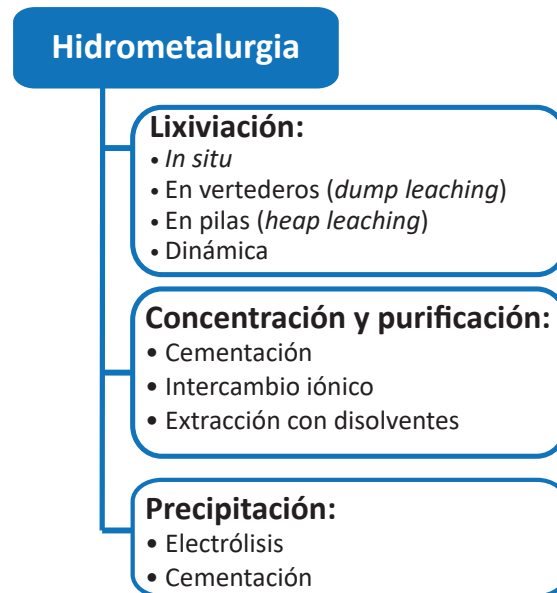
Fuente: elaboración propia.

### 3.5.1. Descripción de los subprocesos

#### Hidrometalurgia

La hidrometalurgia es la rama de la metalurgia que estudia los procesos extractivos que ocurren en medio acuoso y que permiten recuperar y obtener metales. Se subdivide en tres ramas: lixiviación, concentración y purificación y precipitación (véase figura 3.30) (USACH, 2007).

Figura 3.30. Hidrometalurgia



Fuente: elaboración propia.

**Lixiviación.** Es una operación unitaria que consiste en disolver parcial o totalmente un sólido con el fin de recuperar algunas especies metálicas contenidas en él. Existen diversos tipos y sistemas de lixiviación (UASCH, s.f.). Una primera clasificación es de acuerdo con el tipo de reactivos o agentes lixiviantes utilizados. En ese sentido, se tiene la lixiviación ácida, básica, neutra o en medio oxidante, reductor o acomplejante (Ruiz, 2013).

Otro tipo de clasificación es de acuerdo con el sistema utilizado (Peralta, 2009):

- ▶ Lixiviación en sitio (*o in situ*)
- ▶ Lixiviación en vertederos (*dump leaching*)
- ▶ Lixiviación en pilas (*heap leaching*)
- ▶ Lixiviación dinámica (*dynamic leaching*)

**Concentración y purificación.** Después de que el metal se extrae y queda en el licor de lixiviación, se concentra para seguir incrementando su pureza y obtener el producto final de valor agregado. Esta etapa incluye la extracción por disolventes, intercambio iónico y cementación, principalmente (Fragoza, 1999).

**Precipitación.** Después de la separación sólido-líquido las soluciones de lixiviación (conteniendo un mínimo de partículas sólidas), son purificadas y a veces concentradas antes de realizar la operación final de precipitación del metal de interés. La purificación se realiza

para eliminar de la solución metales secundarios que hayan sido codisueltos en la lixiviación y que interfieren con la etapa de precipitación del metal y/o contaminan el producto final (Ruiz, 2013). La electrólisis y la cementación son los principales procesos de precipitación existentes.

### Electrometalurgia

Es la rama de la metalurgia que trata de la extracción y refinación de metales por el uso de corriente eléctrica, conocida como proceso electrolítico. Son dos los principales procesos que la integran: electroobtención y electrorefinación (USACH, 2003).

**Electroobtención.** La precipitación por reducción electrolítica, comúnmente conocida como electroobtención o electrodeposición (EW, por sus siglas en inglés), permite recuperar metales en disolución. Su característica principal radica en que el metal ya está en la solución y solamente se trata de recuperarlo depositándolo en el cátodo (Domic, 2001).

**Electrorefinación.** La electrorefinación constituye un paso obligado de refinación para proceder a la comercialización final de numerosos metales. Su característica principal radica en que el metal llega como ánodo (soluble) y se disuelve electrolíticamente, mientras en el cátodo se deposita el metal refinado en forma simultánea. Las impurezas quedan disueltas en el electrolito (Domic, 2001).

### Pirometalurgia

La extracción de metales por pirometalurgia se lleva a cabo mediante operaciones por vía seca que se realizan a altas temperaturas entre productos en estado sólido, líquido o gaseoso. Tiene por objeto descomponer un compuesto (carbonato, sulfato, hidróxido, etc.) en sus óxidos, se efectúa en un horno con calor y exceso de oxígeno (Servicio Nacional de Aprendizaje y Centro Nacional Minero, 2002). Los metales extraídos por esta vía son cobre, plomo y hierro, entre otros.

Los procedimientos pirometalúrgicos para la extracción del metal se dividen básicamente en tres grupos de métodos de reducción: óxidos metálicos, haluros metálicos, sulfuros metálicos (Muñoz Portero, s.f.). Las principales operaciones que se emplean en este proceso son calcinación, tostación, fusión y volatilización (véase figura 3.31).

Figura 3.31. Principales subprocesos de pirometalurgia



Fuente: elaboración propia.

Los procesos pirometalúrgicos, a diferencia de la lixiviación, presentan altas velocidades de reacción, lo que implica menor tiempo de residencia de los materiales en el reactor y, en consecuencia, procesos de producción masivos. Al incrementar la temperatura de los minerales sulfurados son capaces de proveer una cantidad apreciable de calor por la reacción de oxidación del azufre, por lo que, con frecuencia este calor es usado para remplazar el uso de combustible.

Otro beneficio de este proceso es que los metales preciosos son miscibles en estado líquido ya que en sistemas fundidos se produce en forma natural una marcada inmiscibilidad entre la fase escoria y la fase metálica (sulfuros o metal). Ello permite realizar una concentración natural del metal.

A partir de tales características es posible comprender que este proceso puede presentar bajos requerimientos energéticos, uso de materiales reductores de bajo costo, la fácil remoción de escoria y alta recuperación de metales preciosos; no obstante, la recuperación y tratamiento de los gases generados es de alto costo, además de ser altamente nocivos.

### 3.5.2. Tecnologías actualmente en uso

#### Hidrometalurgia

Las tecnologías empleadas en la actualidad en hidrometalurgia datan de finales del siglo XIX, época en la cual se inventaron dos procesos de gran relevancia mundial: el de cianuración para minerales de oro, que consiste en la disolución del oro contenido en minerales de bajas leyes con una solución de cianuro de sodio, seguido de precipitación por cementación, utilizando zinc como precipitante y el proceso para la producción de  $Al(OH)_3$  mediante la lixiviación alcalina en caliente de minerales de bauxita (Habashi, 2008).

Por otro lado, la recuperación de zinc se efectuó durante mucho tiempo mediante tostado de esfalerita, así como llevando a cabo su cementación con chatarra de hierro. Sin embargo, la tecnología actual de producción de este mineral fue inventada en la década de 1980 e involucra la lixiviación a presión del concentrado del mineral, para luego obtenerlo mediante electrólisis de la solución. El mismo proceso se utiliza en la producción de bauxita (Habashi, 2008; Fragoza, 1999).

El ejemplo más claro de uso de la lixiviación ocurre en la recuperación de oro y plata, que se realiza mediante lixiviación con cianuro y se utiliza normalmente un sistema de lixiviación en pilas (*heap leaching*). Debido a la alta toxicidad del agente lixivante, los esfuerzos se han encaminado a encontrar otro tipo de agentes que sean menos agresivos con el medio ambiente, y se ha encontrado que disolventes como el tiosulfato de sodio, tiourea, bromuros, entre otros, también son eficientes, pero todavía presentan desventajas frente al uso del cianuro, tales como el costo elevado, el alto consumo del reactivo o la corrosión que provoca en los equipos (Sandoval, 2013). El reto tecnológico en este rubro es encontrar más agentes lixiviantes amigables con el medio ambiente, sin las desventajas que presentan los que se están utilizando actualmente.

Siguiendo en la línea del cuidado del medio ambiente, la biotecnología es una rama que en los últimos años ha estado formando parte importante de los procesos hidrometalúrgicos. Los microorganismos, bacterias, algas y hongos se han estado utilizando como agentes lixiviantes en los tratamientos de cobre, zinc, plomo, arsénico, antimonio, níquel o cobalto. En este caso el proceso se conoce como biolixiviación.

Después de lixiviar el material, es necesario recuperar el metal disuelto en el licor lixiviado. Para lograrlo, anteriormente se utilizaba el proceso Merrill-Crowe, que consiste en la cementación con polvo de zinc; no obstante, recientemente se han realizado mejoras que utilizan carbón activado en el proceso, como las tecnologías CIP (carbono molido o en pulpa), CIL (carbono en lixiviación) y CIC (carbono en columnas), las cuales son muy efectivas, pues el carbono adsorbe muy bien en sus poros el oro de la solución (UASCH, 2016; SGS, 2016).

El proceso de intercambio iónico ha sido utilizado para la extracción de uranio y la recuperación de oro, cobre, níquel, tierras raras y metales raros (Fragoza, 1999).

Finalmente, en cuanto a purificación de metales utilizando extracción por solventes, se sabe que ésta es muy empleada en la industria nuclear, en la separación de zirconio y hafnio de diversas soluciones, así como en la recuperación de uranio, vanadio, tungsteno y zinc. También resulta efectiva en la recuperación de cobre de soluciones de lixiviación ácidas, para el cual se han desarrollado reactivos altamente selectivos (Zhao y Wu, 1997; Fragoza, 1999).

### Electrometalurgia

El cobre, uno de los minerales de mayor importancia en la vida cotidiana, fue obtenido en la antigüedad por procesos de fusión; en la actualidad se extrae dependiendo las sustancias con la que se encuentre asociado, ya sea minerales oxidados o minerales sulfurados. En el caso de los minerales oxidados, el proceso productivo implica someter el material a una solución de lixiviación, que producirá soluciones de sulfato de cobre, las cuales son sometidas a un proceso de extracción con solventes y posteriormente a un sistema de electro obtención cuyo resultado final son los cátodos de cobre con 99.99% de pureza (Codelco, 2014).

De lo anterior se concluye que no hay una metodología única y totalmente eficiente respecto a la recuperación de minerales, por lo que lo más común es utilizar dos o más operaciones con el fin de lograr la pureza más elevada posible. La investigación entonces debe orientarse a la optimización de los parámetros de operación de los diferentes procesos.

### Pirometalurgia

Cuando la complejidad del mineral es baja, se emplea la técnica de fusión directa, es decir, el mineral se funde, se recupera el metal en forma líquida y luego se refina o purifica, quedando así listo para su utilización en la industria. Sin embargo, cuando el metal a recuperar se encuentra combinado en forma de sulfuro principalmente o de carbonato, es necesario el proceso previo de tostación o calcinación según sea el caso para volverlo fácilmente soluble (Servicio Nacional de Aprendizaje y Centro Nacional Minero, 2002).

Los procesos de fusión en general se clasifican como fusión en el baño (*bath smelting*) y fusión *flash*. En el primer grupo están aquellos en los que el concentrado se funde agregándolo o inyectándolo a un baño fundido, mientras que en el segundo el concentrado se suspende en gas oxidante, ocurriendo fusión y conversión parcial al mismo tiempo.

Dentro los avances tecnológicos para este proceso se puede mencionar la sustitución de los hornos reverbero por hornos de fusión continua (*flash smelting*) o baño fundido (reactor Teniente), los cuales tienen la ventaja de reducir el consumo de combustible al aprovechar el calor producido por la oxidación de elementos como hierro y azufre contenido en algunos concentrados y reducir los niveles de emisión al permitir captar eficientemente









Figura 3.35. Distribución de patentes relacionadas con en la disminución del consumo energético en los procesos hidrometalúrgicos



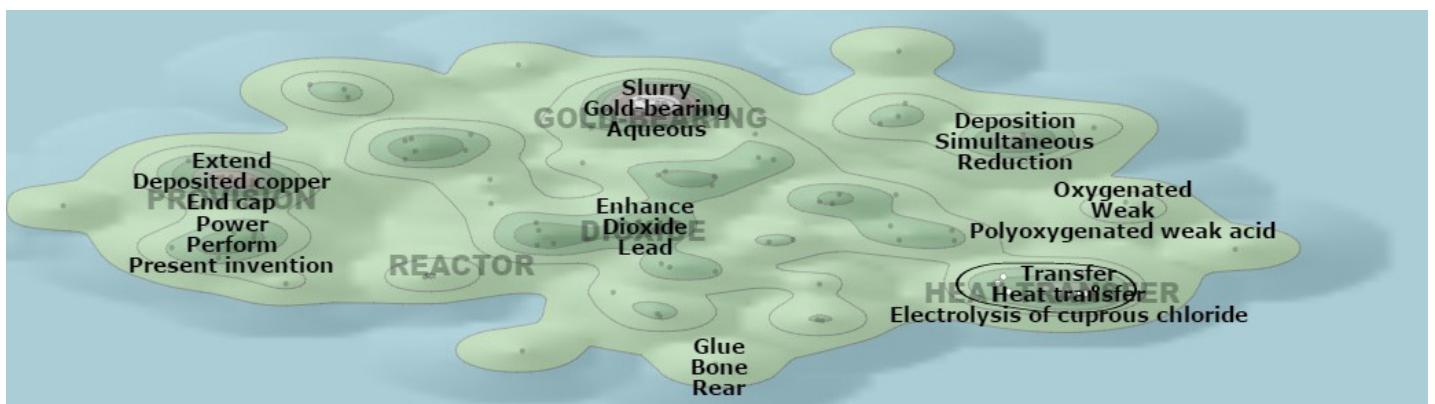
Fuente: elaboración propia.

Para este caso se han identificado tendencias tecnológicas de equipo que permiten ahorrar energía mediante el aprovechamiento de la generada durante las reacciones químicas que son parte de los procesos hidrometalúrgicos; además de tecnologías de proceso, en las cuales se incorporan fuentes externas renovables, tal como la energía solar.

### Electrometalurgia

A partir de los resultados de la búsqueda de patentes, para la sección de electrometalurgia se construyó un mapa de calor que agrupa las coincidencias de los registros encontrados en función de uso y novedad, el cual se muestra a continuación.

Figura 3.36. Distribución de patentes relacionadas con innovaciones en los procesos electrometalúrgicos



Fuente: elaboración propia.

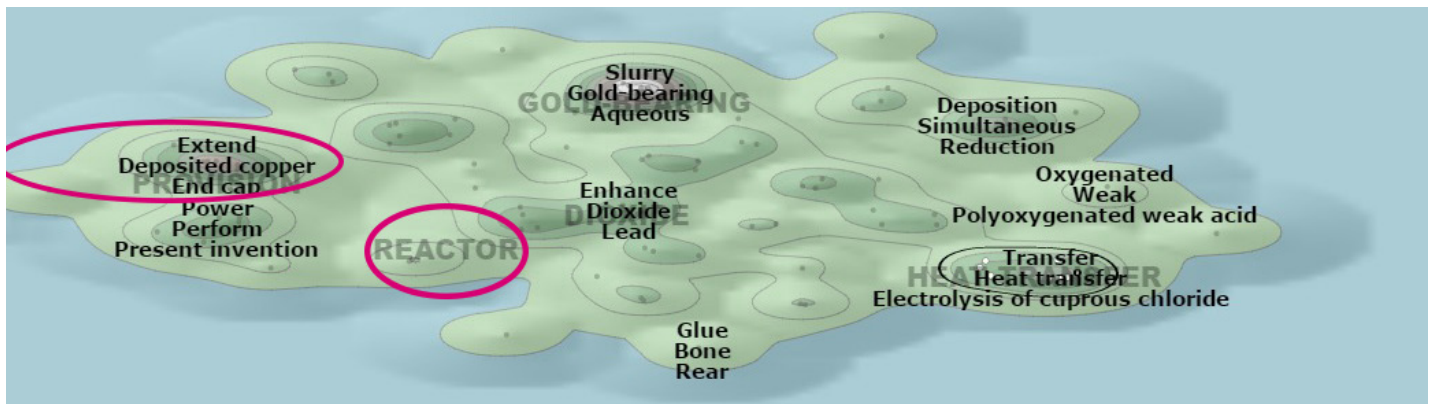
En el mapa se observan las principales líneas de tendencia:

- ▶ Tecnologías de equipo.
- ▶ Tecnologías de proceso enfocadas en el incremento de la eficiencia y la disminución en el consumo energético.

En este caso existen más invenciones de equipo, a diferencia de la sección de hidrometalurgia, donde la mayoría de las tendencias se enfocaron en tecnologías de proceso. Además, la mayoría se aplica a la minería del cobre, pues como se describió, éste se obtiene generalmente por procesos electrolíticos. A pesar de esto, todas las tecnologías de alguna manera se centran en el incremento de la eficiencia de los procesos, a través de la mejora en la calidad del mineral obtenido; para lograrlo, en muchos de los casos se recurre a la aplicación de nuevos sistemas electrolíticos.

**Tecnologías de equipo.** La creciente demanda de procesos más eficientes y que permitan obtener minerales más puros, sin descartar los factores económico y ambiental, provoca que las tecnologías busquen cumplir con tal exigencia. Por ello las tendencias en esta etapa de la cadena de valor de la minería se enfocan en: a) desarrollar equipo que permita la obtención de minerales con mayor pureza, de una manera más práctica y simple, aprovechando al máximo la energía consumida, y b) en el uso de celdas electrolíticas con cátodos en forma cilíndrica en lugar de la forma convencional plana (la cual mejora la velocidad de difusión), fabricadas de materiales resistentes a la corrosión provocada por electrolitos químicamente agresivos y que permitan la obtención de partículas sólidas del mineral a un determinado tamaño. En la figura 3.37 se puede observar, encerradas en un círculo rosa, aquellas invenciones que se ligan a lo anterior.

Figura 3.37. Distribución de patentes relacionadas con equipo en los procesos electrometalúrgicos



Fuente: elaboración propia.

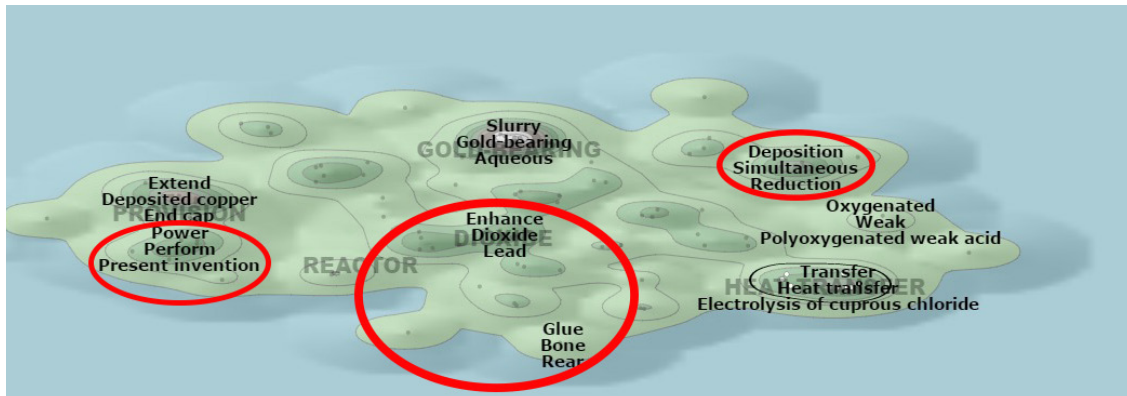
**Tecnologías de Proceso.** En los procesos electrometalúrgicos, los aditivos usados en los baños electrolíticos representan un factor importante a considerar, dado que permiten controlar, entre otros aspectos, la eficiencia del proceso y la calidad del metal obtenido. Estas sustancias ayudan a mejorar las propiedades morfológicas del electro depósito (rugosidad, brillo, porosidad), las cuales dependen mucho de la forma que adquiera el mineral, y que al final repercuten en la calidad que tendrá éste (Mahmud, 2017). En la actualidad se está experimentando con distintos tipos de aditivos, como los que se mencionarán más adelante.

Por otro lado, el factor energético también es sumamente importante en la referida etapa, pues éste representa uno de los costos más relevantes (principalmente energía eléctrica), por lo que los esfuerzos de investigación se orientan a disminuir su consumo, sin dejar de lado el incremento de eficiencia en los procesos. En la figura 3.38 se señalan en rojo los registros encontrados enfocados en lo anterior.

Las tecnologías de proceso, en la etapa electrometalúrgica, se centran tanto en el incremento en la eficiencia de recuperación del mineral, como en el ahorro energético. Ejemplo de lo anterior son:

- ▶ La incorporación de sustancias (aditivos) en el electrolito que permitan mejorar las características físicas y la calidad del metal recuperado.
- ▶ La implementación de equipo que favorezca el aprovechamiento óptimo de la energía del proceso de deposición anódica en el de deposición catódica, sin requerir de suministros adicionales del recurso.
- ▶ El uso de líquidos refrigerantes dentro de las barras conductoras para mejorar su conductividad y así evitar las pérdidas de energía y finalmente.
- ▶ El uso de un aditivo de arsénico, en conjunto con disolventes de fosfato de tri-n-butilo y alcohol etílico, para hacer más eficiente el proceso de purificación del cobre, mediante la eliminación de la necesidad de una segunda etapa de electrodeposición o posteriores procesos pirometalúrgicos, los cuales implican mayor gasto de energía.

Figura 3.38. Distribución de patentes relacionadas con tecnologías de proceso en electrometalurgia



Fuente: elaboración propia.

La automatización también tiene una fuerte presencia en esta etapa de la cadena de valor, pues la tendencia es el uso de tecnología robótica para el manejo de electrodos. Los robots disponen de sistemas expertos y sensores complementarios que les permiten discriminar la calidad de cátodos para su clasificación automatizada, además de un efectivo sistema de comunicación, pues pueden coordinarse con las máquinas despegadoras automáticas ya existentes. El objetivo principal de estos sistemas es evitar a los operarios la difícil, y potencialmente peligrosa, tarea de mover las enormes y pesadas placas, además de reducir tiempos de operación (Codelco, 2017; Robinson *et ál.*, 2012; Phan, 2007).

Otra importante área de interés para la electrometalurgia es el abatimiento de la neblina ácida que se forma, en el proceso de electro obtención, en las naves de cosecha de cátodos. Los diseños de las celdas ahora incluyen normalmente la adición de agentes modificadores de la tensión superficial, capuchas y bolsas o faldas anódicas para reducir la producción de la neblina. También se considera la automatización para eliminar operadores del ambiente que la contenga (Robinson *et ál.*, 2013).

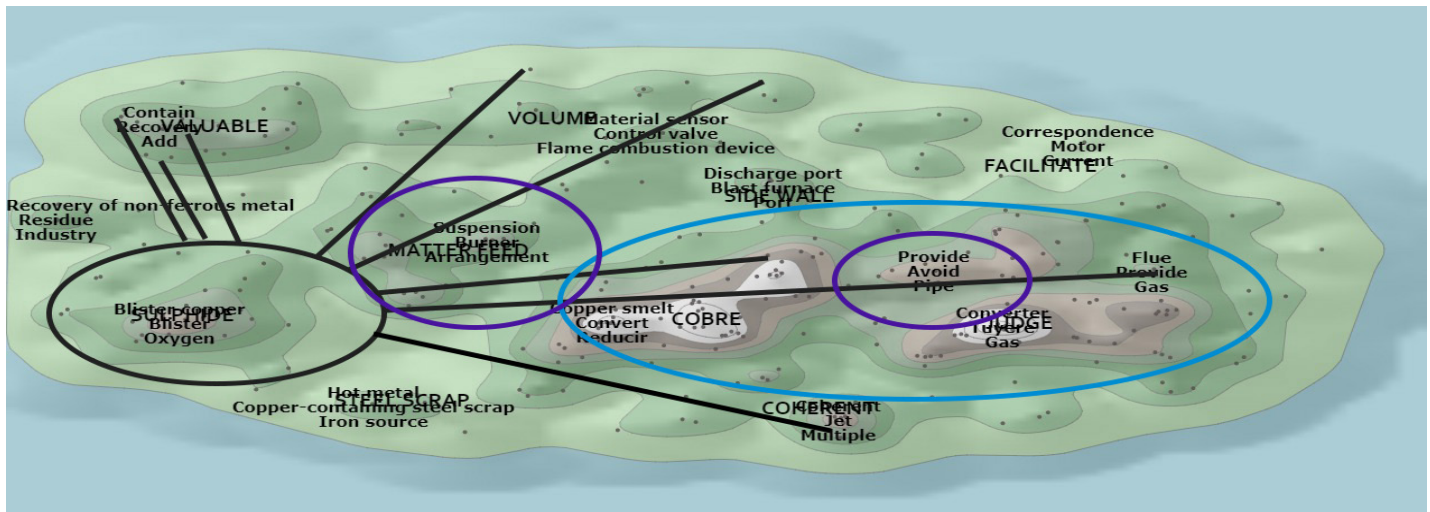
## Pirometalurgia

Como resultado de la investigación realizada para establecer las tendencias tecnológicas para el proceso de pirometalurgia del cobre, se identificó que existe la necesidad de realizar procesos más eficientes debido a la disminución progresiva de las leyes minerales y a la alta concentración de arsénico, bismuto y antimonio en los depósitos de cobre mineral. También el desarrollo de tecnologías se ha centrado en la mejora de equipos principales y secundarios empleados durante el proceso de fusión con el objetivo de generar el menor número de emisiones posibles, así como, procurar operaciones de alta eficiencia (Safarzadeh y Miller, 2016).

En la figura 3.39 se presenta la distribución de los registros identificados en la búsqueda de patentes de acuerdo a su aplicación y uso, donde es posible observar que las áreas de interés se enfocan en: la conversión del eje de cobre para elevar la pureza del metal concentrado y la implantación de procesos continuos (azul). Asimismo, se debe resaltar que dentro de esta área existen registros enfocados al desarrollo de puertos de descarga y tuberías que garanticen impermeabilidad para la emisión de arsénico principalmente (morado).

También se identificaron tendencias en el arreglo de los reactores y circuitos de tratamiento, así como, la incorporación de procedimientos de oxigenación que permitan la obtención de blisters de forma más eficiente, lo que asegura materiales de entre 96 y 98% de pureza (negro). Este foco tecnológico se considera de especial relevancia por presentar relación directa con las diversas áreas identificadas, ya que, como se había mencionado en el inicio de esta sección, gran parte de los desarrollos tecnológicos se encaminan a la mejora de los procesos que aseguren una concentración eficiente del metal.

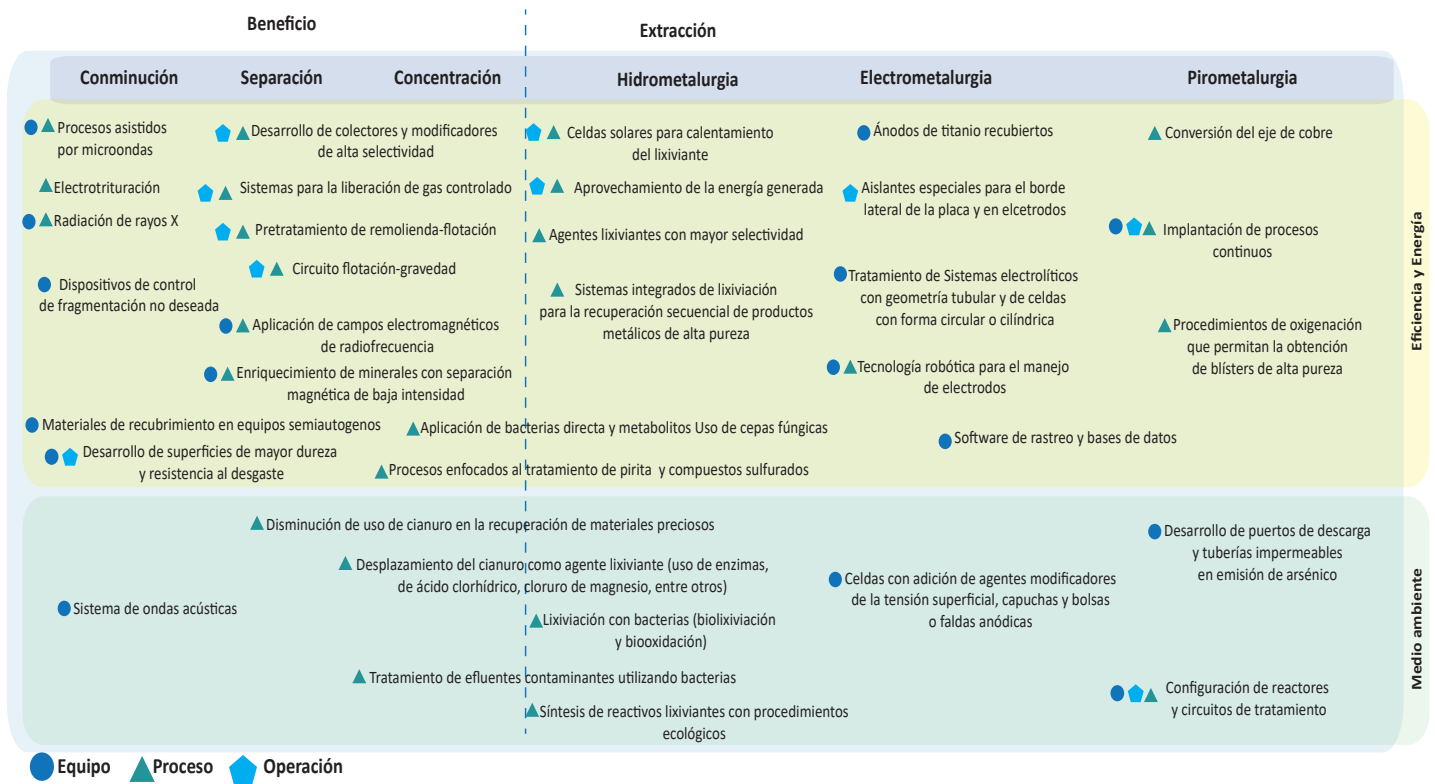
Figura 3.39. Distribución de resultados identificados en patentes referidas a pirometalurgia



Fuente: elaboración propia.

La figura 3.40 ofrece una síntesis de las tendencias tecnológicas para las etapas de beneficio y extracción.

Figura 3.40. Tecnologías en las etapas de beneficio y extracción



Fuente: elaboración propia.

### 3.6 Cierre de minas

El cierre de minas incluye todas las tecnologías que se requieren para alcanzar la seguridad física y la protección ambiental, a largo plazo, en los alrededores de la instalación minera. Es un tema amplio y variado que comprende el ambiente físico y los aspectos operativos de la mina; no obstante, este apartado aborda la gama de tecnologías de cierre de minas de forma general y habrá que considerar que la aplicación de las técnicas descritas se ajusta en función de las condiciones climáticas, geológicas, hidrológicas, ambientales, económicas y sociales particulares de cada mina. Los requerimientos de cierre deben ser desarrollados específicamente para cada yacimiento y sus objetivos generales deben incluir la protección de los recursos del aire y del agua, así como determinar un uso beneficioso de la tierra una vez concluidas las operaciones mineras (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.).

Los objetivos principales que deben perseguirse al cierre de una mina son:

- ▶ La protección de la salud humana y el medio ambiente mediante el mantenimiento de la estabilidad física y química.
- ▶ Un uso beneficioso de la tierra una vez concluyan las operaciones mineras (por ejemplo, hábitat para la fauna silvestre, campos de pastoreo, recreación, o futura exploración y explotación minera).

La **estabilidad física** implica la estabilidad de taludes, con lo que se protege de derrumbes catastróficos tanto a las áreas locales como aquéllas ubicadas aguas abajo. Sin embargo, también se refiere a la estabilidad contra la erosión eólica y del agua, y, por lo tanto, el transporte desde la instalación de polvo o sedimentos que pudieran tener un impacto dañino sobre la salud humana y el medio ambiente. Resulta necesario mantener la estabilidad de taludes de los tajos, botaderos de desechos o depósitos de relaves, a menos que el acceso a las áreas se encuentre permanentemente limitado (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.).

La **estabilidad química** se refiere a la contención de sustancias químicas contaminantes y a evitar que éstas sean introducidas al medio ambiente. La estabilidad química puede establecerse mediante el control de la fuente emisora, el control de migración o el tratamiento (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.).

El control de la fuente ha demostrado ser el medio óptimo para alcanzar la estabilidad química. Éste se logra evitando la descarga de sustancias contaminantes, para lo que se elimina la fuente o uno o más componentes que pueden conducir a la formación de contaminantes. No obstante ello, el control de fuentes no es siempre posible. El control de la migración, que también puede usarse para mantener la estabilidad química una vez formadas las sustancias contaminantes, implica controlar la migración de soluciones de lixiviación hacia el medio ambiente. Esto puede conseguirse mediante la encapsulación superficial y subterránea, construyendo cubiertas de baja permeabilidad, revestimientos y muros de contención de rezumaderos, todos especialmente diseñados. La interceptación y el tratamiento de sustancias lixiviadas contaminantes, una vez generadas y descargadas, es otra alternativa común (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.).

El uso del tratamiento no se recomienda para el cierre de minas porque implica mantenimiento perpetuo, así como la generación y disposición de lodo. El tratamiento puede ser activo como los tratamientos químicos, o pasivo como los pantanos especialmente construidos.

En el siguiente apartado se presentan las tecnologías comúnmente empleadas durante el cierre de minas; no obstante, debido al gran número de aspectos a considerar para la ejecución de esta actividad, la investigación para establecer las tendencias tecnológicas se focaliza en remediación de agua y suelo, con especial atención a la prevención o mitigación de drenaje ácido.

### 3.6.1. Tecnologías actuales

Las características físicas de los desechos mineros, de las estructuras de las minas y las minas de tajo abierto o subterráneas son importantes para determinar la resistencia a la erosión del viento y del agua; las cantidades de rezumaderos o drenajes y el ángulo de inclinación de taludes estables permanentes. Las características físicas incluyen (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.):

- ▶ Resistencia a la erosión eólica y del agua
- ▶ Cantidad de rezumaderos o drenajes
- ▶ Taludes estables

Estas características físicas generalmente se determinan durante la etapa de planificación de una operación minera. Tal información se usa para la evaluación de materiales de construcción y el diseño de instalaciones. Durante esta fase de planificación también es

decisivo predecir el comportamiento, a largo plazo, de estos materiales a fin de «planificar para el cierre».

Las medidas de cierre referidas a la estabilidad física deben tomar en cuenta el deterioro de los componentes que permanecen en una mina después del cese de las operaciones. Estos pueden estar formados por tierra y roca o materiales fabricados por el hombre como concreto o acero. Debería evaluarse el deterioro potencial de estructuras por acción de las fuerzas perpetuas (estabilidad estática) y acontecimientos dinámicos (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.).

Las características químicas asociadas con desechos de minas, reactivos para el tratamiento del mineral, técnicas de procesamiento y drenaje de minas juegan un papel significativo para determinar la estrategia de cierre (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.). En general, las medidas para el control de las reacciones químicas y el tratamiento del drenaje deben ser específicas para cada yacimiento y tipo de sustancia contaminante.

Dentro de las estrategias para la contención de este tipo de problemas se encuentra la tecnología para el control de la estabilidad química, cuyo objetivo es disminuir costos asociados al cierre de minas. En la actualidad existen tres etapas generalmente aceptadas en el control (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.):

- ▶ Control de la generación de sustancias contaminantes
- ▶ Control de la migración de sustancias contaminantes
- ▶ Recolección y tratamiento del drenaje contaminado

Adicional a los procesos de control, se requiere la implementación de técnicas de cierre, actualmente las más empleadas son:

- ▶ **Inacción.** Se aplica con frecuencia a unidades de manejo de desechos de minas que contienen desechos secos y están ubicadas en climas áridos.
- ▶ **Controles institucionales.** Se refiere a medidas para restringir el acceso a la unidad de desechos de mina, tajo abierto o mina subterránea, o cualquier cuerpo de agua que pudieran haber sido contaminados por desechos. Los controles institucionales podrían ser apropiados como tecnologías de cierre provisionales que dan tiempo para implementar el plan de cierre permanente, o para recuperar descargas de componentes de desecho que pudieran haberse producido. Estos controles pueden ser:
  - Restricción al acceso, usando cercas y/o postes con letreros de advertencia.
  - Restricciones al uso de la tierra, mediante notas en los títulos de propiedad que no permitan determinados usos de la tierra.
  - Regulaciones orientadas a restringir el uso del agua subterránea en áreas donde los usos beneficiosos han sido afectados de manera adversa por estas actividades.
- ▶ **Acondicionamiento o tratamiento.** Esta tecnología se usa cuando las características físicas o químicas de los desechos, las soluciones de lixiviación y el agua receptora deben ser alteradas para lograr un cierre efectivo en términos de costos.
- ▶ **Encapsulamiento.** El uso del encapsulamiento busca reducir o eliminar el transporte de fluidos a través de los desechos, donde estos fluidos producen una solución de lixiviación que representa una amenaza para la calidad del agua.

Las opciones potenciales para el tratamiento químico de los desechos líquidos o aguas contaminadas incluyen:

- ▶ Neutralización y precipitación
- ▶ Oxidación o reducción



- ▶ Intercambio iónico
- ▶ Osmosis inversa

Un cierre de mina exitoso y eficiente en términos de costos depende de una caracterización adecuada del lugar, del diseño correcto y de una operación ambientalmente limpia. La identificación y caracterización de los problemas físicos y químicos asociados con el cierre de minas son actividades relativamente fáciles; las dificultades están relacionadas con el desarrollo de soluciones factibles y efectivas en términos de costos (Ministerio de Energía y Minas de Perú, s.f.).

La gama de actividades para el cierre de instalaciones de desperdicios de minas podría incluir desde una nivelación mínima para mejorar la derivación y escorrentía de las aguas superficiales hasta una nivelación completa, colocación de una cobertura y la revegetación.

El problema ambiental más significativo que enfrenta la industria minera a nivel mundial es el drenaje ácido de mina; se produce por la oxidación y lixiviación de materiales sulfurados, y no existen planes de mitigación o de cierre uniformes cuyo éxito esté garantizado. La caracterización adecuada de roca de mina y materiales de desecho en el yacimiento es esencial para definir problemas potenciales de cierre al inicio del planeamiento de minado.

### 3.6.2. Tecnologías futuras

#### Tiramiento de drenaje ácido

Las aguas subterráneas ácidas o alcalinas, en entornos naturales o de desechos en operaciones artificiales, pueden derivarse de una multitud de fuentes. Como consecuencia de los procesos antes mencionados, las aguas y suelos se enriquecen con una gran variedad de metales, metaloides y aniones, cuyas concentraciones exceden las establecidas en las legislaciones sobre calidad de suelo y agua.

En este contexto, existe un desafío tecnológico para identificar métodos que aseguren: una remediación de los suelos y aguas subterráneas ácidas y alcalinas que sean eficientes, rentables, y la inmovilización adecuada de los contaminantes posterior a la neutralización. Como resultado de este desafío se ha identificado un gran número de registros en bases de patentes y artículos científicos que buscan brindar una solución al respecto.

En la figura 3.41 se muestra la distribución de los resultados obtenidos en la búsqueda de patentes referentes al tratamiento y prevención de drenaje ácido generado a partir de actividades mineras.

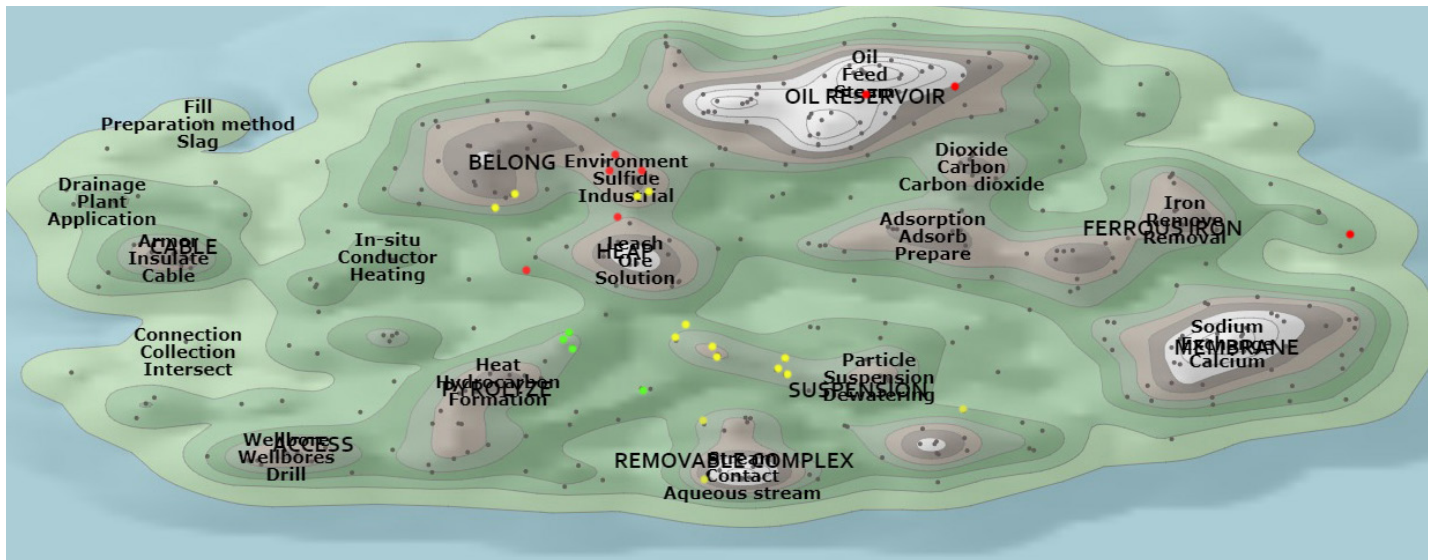
Es posible observar que existe una concentración importante de resultados enfocados al tratamiento de aguas residuales provenientes de extracción de hidrocarburos y, aunque a lo largo del presente documento los temas han sido focalizados a temas de minería metálica, cabe resaltar que en la obtención de petróleo y butano se genera la contaminación de drenaje con metales pesados y compuestos sulfurados y oxidados, por lo que gran parte de los tratamientos para la prevención de drenaje ácido manifiestan ser de utilidad en ambos sectores.

Dentro de los principales temas identificados se encuentra el uso de agentes iónicos neutralizantes, donde destaca la aplicación de sodio y calcio. También se identificó el uso de las TIC para la predicción y desarrollo de métodos preventivos, así como la aplicación de agentes biológicos para la regeneración de cuerpos de agua y suelo contaminados. Estas

tecnologías se encuentran resaltadas en los puntos iluminados en color rojo y amarillo, por lo que se puede apreciar que su aplicación se relaciona con el tratamiento de compuestos sulfurados y aguas generadas en procesos de lixiviación.

También cabe mencionar que parte importante de los resultados obtenidos se dirigen al desarrollo de estrategias para la prevención de contaminación por desechos durante la operación de la mina, como el tratamiento *in situ* de colas.

Figura 3.41. Distribución de registros en patentes relacionados con el tratamiento y prevención de drenaje ácido



Fuente: elaboración propia.

Es importante resaltar que cada vez es más frecuente la incorporación de técnicas biológicas para el desarrollo de diversas actividades industriales. Para la minería se han observado grandes avances en la identificación y aislamiento de bacterias que permitan la biotransformación de los minerales a fin de su recuperación, por lo que no es de sorprender el desarrollo de tratamientos de agua y suelo que utilizan agentes biológicos para la recuperación permanente de estos recursos.

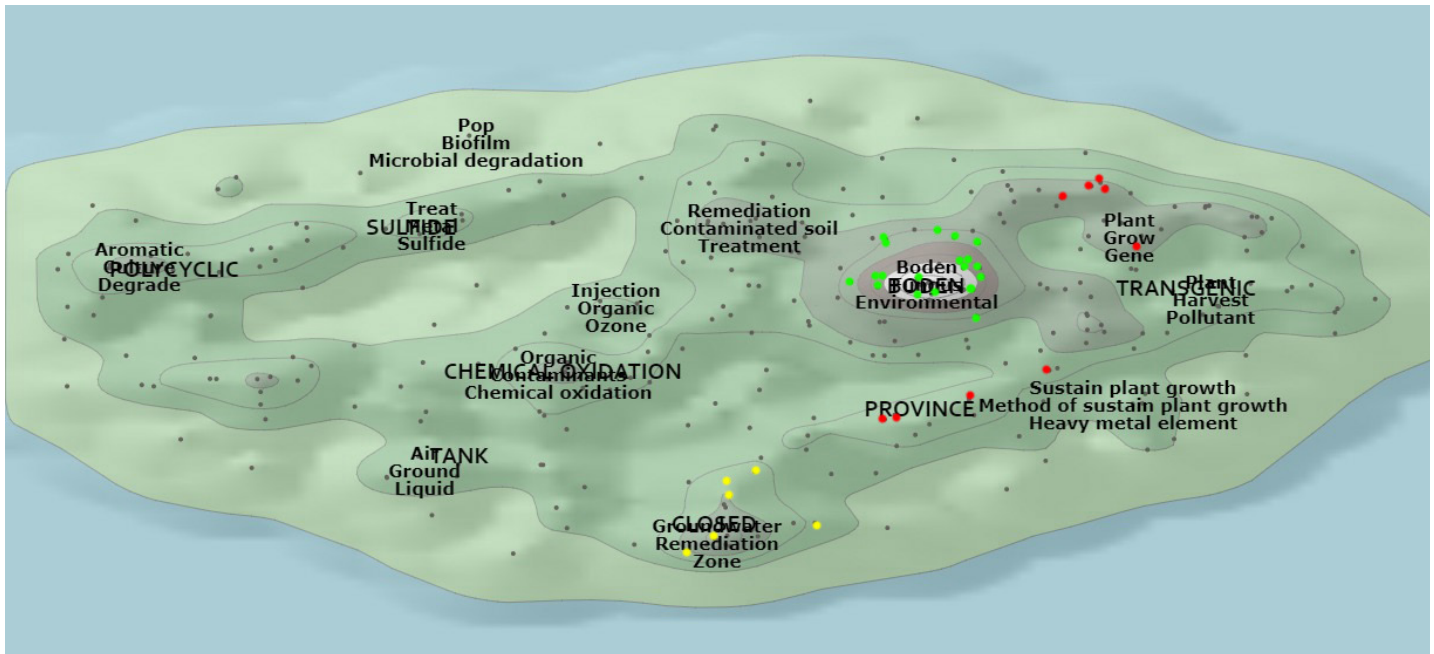
### Tratamiento y prevención de suelo contaminado

Se identificó como acción principal el repoblamiento de la superficie con flora y fauna capaces de adaptarse y sobrevivir a la región con las condiciones establecidas por la explotación del terreno.

En la figura 3.42 se observa claramente que la tendencia principal se enfoca al tratamiento de suelos mediante el uso de plantas que remuevan metales, así como a través de la acción fúngica (puntos en color verde); no obstante, también se localizan propuestas con el uso de bacterias (rojo), principalmente del género *Bacillus*.

Otro aspecto de relevancia son los registros que presentan métodos encaminados al tratamiento de aguas subterráneas empleando procedimientos directos en el suelo que serán filtrados a los cuerpos de agua (amarillo).

Figura 3.42. Distribución de registros en patentes relacionados con el tratamiento y prevención de suelo contaminado a causa de la actividad minera



Fuente: elaboración propia.

La figura 3.43 ilustra la síntesis de las tendencias tecnológicas para este segmento de la cadena de valor.

Figura 3.43. Tecnologías en cierre de minas

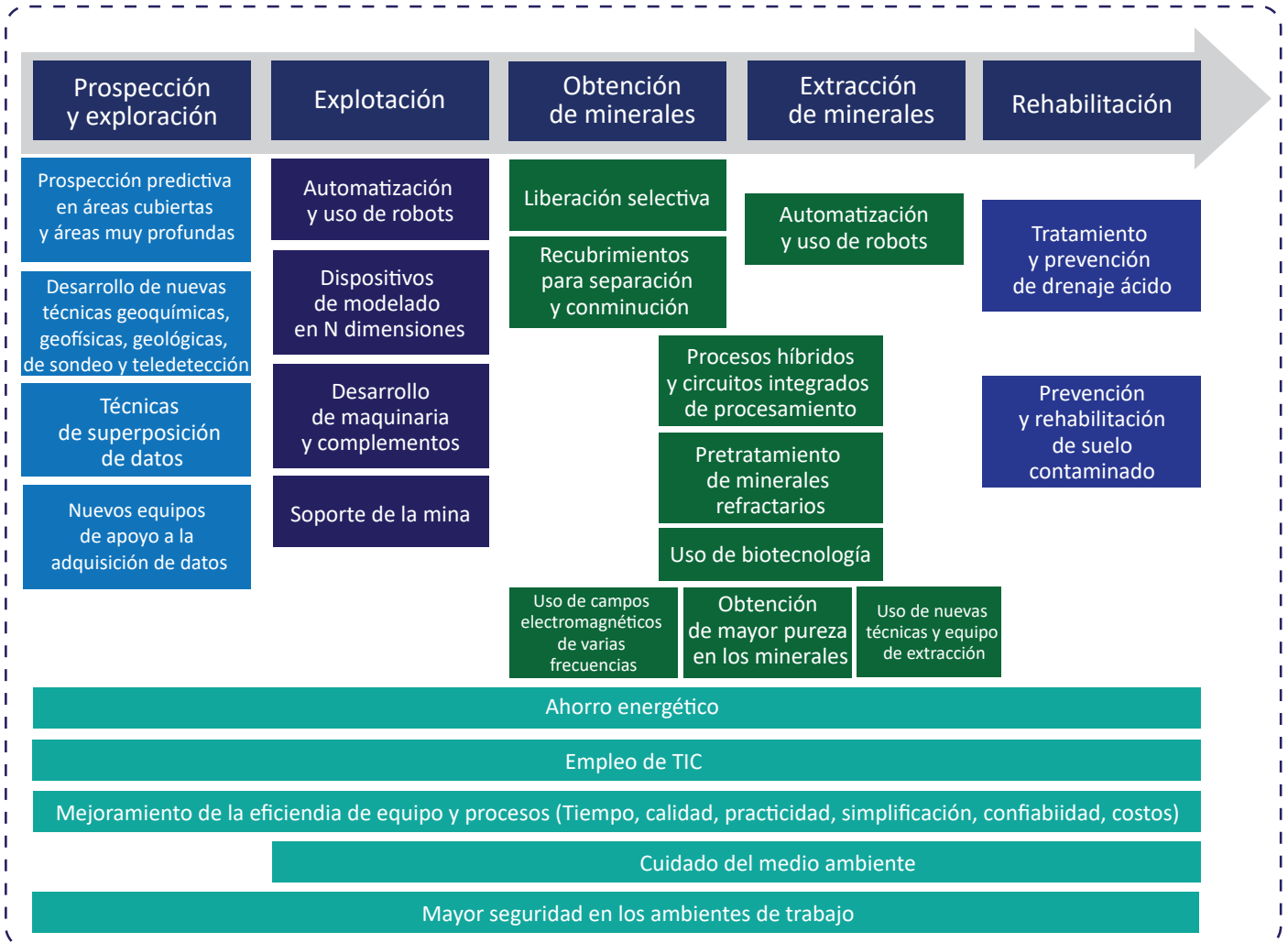
Cierre de mina	
Tratamiento y prevención de drenaje ácido	Prevención y rehabilitación de suelo contaminado
Uso de agentes iónicos neutralizantes	Uso de plantas modificadas y mejoradas para ampliarla capacidad de absorción de minerales
TIC para la predicción y desarrollo de métodos preventivos	Aplicación de bacterias y hongos
Prevención de contaminación por desechos durante la operación de la mina (tratamiento <i>in situ</i> )	
Aplicación de agentes biológicos para la regeneración de cuerpos de agua y suelos contaminados	
Tratamiento de compuestos sulfurados y aguas generadas en procesos de lixiviación	

Fuente: elaboración propia.

## Conclusiones

Del análisis tecnológico desarrollado en el presente estudio se identifica que todas las tendencias en el sector minero, sin importar la etapa en la cadena de valor en la que se desarrollen, buscan atender principalmente: el incremento de la eficiencia de los procesos (mediante la obtención de productos de alta calidad y pureza, así como de la reducción de los tiempos de ejecución), la reducción de riesgos laborales, el cuidado del medio ambiente y la disminución del consumo energético.

Figura 3.44. Principales tendencias en minería



Fuente: elaboración propia.

En la figura 3.44 se presenta el diagrama general, a manera de resumen, de las tendencias tecnológicas existentes a lo largo de la cadena de valor de la minería. Ya se ha mencionado que, de acuerdo con los cinco eslabones que conforman la cadena de valor, el sector minero es muy amplio y complejo, pues no solamente involucra la participación de diferentes subsectores económicos y disciplinas de conocimiento, sino también la aplicación de múltiples tecnologías.

Como se puede observar, existen tres grandes tendencias generales para todas las etapas de la cadena de valor de la minería: mejoramiento de la eficiencia, disminución de consumo energético y cuidado del medio ambiente.

Como se ha mencionado a lo largo del documento, la energía es uno de los principales insumos que suponen altos costos a la industria minera (poco más de un 20% de sus costos), hecho que pone de manifiesto la gran atención al desarrollo de tecnologías para disminuir y optimizar su consumo.

Por lo anterior, las tendencias en torno al “consumo energético” tienen presencia prácticamente en toda la cadena, con especial énfasis en beneficio y extracción, que es donde más se gasta el recurso. Una de las grandes tendencias en la etapa de beneficio es la liberación selectiva, que se realiza mediante el diseño de equipo que evite el uso de tamices o cualquier otro dispositivo similar a partir de crear un gradiente de presión específico en la parte terminal del equipo, esto minimiza el consumo de energía de la etapa de secado. En los procesos de extracción se han implementado fuentes de energía renovables (celdas solares) como medio de calentamiento en la etapa de lixiviación y, por otro lado, en los procesos de electrometalurgia, el ahorro de energía se efectúa mediante el uso de equipo como los ánodos de titanio recubiertos, los cuales reducen significativamente el voltaje de celda.

Aunado a las tendencias anteriores, se observa que las TIC y el incremento de la seguridad en los ambientes de trabajo se presentan de manera transversal en gran cantidad de tecnologías del sector.

La información presentada en este documento proporciona a los actores de la industria minera herramientas para la adopción de tecnologías inteligentes a fin de mejorar la productividad, tener una mejor planificación y coordinación de las actividades, así como para el establecimiento de estándares y procesos para la interoperabilidad, entendiendo a las tecnologías de la información y la comunicación como los poderosos elementos que posibilitan el desarrollo de la minería inteligente. Asimismo, el conocimiento y comprensión del desarrollo de las nuevas tecnologías en la minería, y la alineación de la calidad de la formación del capital humano con los nuevos requerimientos de ésta, minimizarán las fuentes de incertidumbre y reducirán la variabilidad propia de la operación minera.

## Referencias

- Adams, M. (2016). *Gold Ore Processing*, (2.a ed.) Elsevier Science.
- Alcalá, E. B., Flores, A., y Beltrán, A. (s.f.). Manual de Entrenamiento en Concentración de Minerales. Recuperado de [http://www.emagister.com/uploads\\_courses/Comunidad\\_Emagister\\_56661\\_MINERALES\\_-\\_II\\_-.pdf](http://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_56661_MINERALES_-_II_-.pdf)
- Andres, U. (2010). *Development and prospects of mineral liberation by electrical pulses*. *International Journal of Mineral Processing*, 97(1), 31–38. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2010.07.004>
- Aranguri, E., Marinos, E., y Daniel, E. (2015). Desarrollo de un simulador bajo el entorno de Matlab para un circuito de molienda y clasificación directa más común en los procesos de conminución de minerales. Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de [http://dspace.unitru.edu.pe:8080/xmlui/bitstream/handle/UNITRU/3589/BricenoAranguri\\_E - MarinosReyes\\_E.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe:8080/xmlui/bitstream/handle/UNITRU/3589/BricenoAranguri_E - MarinosReyes_E.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Badri, R., y Zamankhan, P. (2013). *Sulphidic refractory gold ore pre-treatment by selective and bulk flotation methods*. *Advanced Powder Technology*, 24(2), 512–519. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.apt.2012.10.002>
- Bammi, S. (2016, agosto). *A New Slim Full Bore Electrical Micro-Imaging Tool Conveyed through the Drill String and Bit for Geological and Reservoir Characterization of Unconventional Reservoirs*. *Society of Exploration Geophysicists*.
- Báez, F. (2015, octubre). La innovación en la minería. *Revista de la OMPI*, (5), 24-27.
- Burns, F., Seaman, D., Peng, Y. y Bradshaw, D. (2014). *Implementation of regrind-flotation pre-treatment of the CIL feed in a copper-gold plant*. *Minerals Engineering*, 66, 215–220. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.04.021>
- Bustamante, O., Gaviria, A. C. y Restrepo, O. J. (2008). Notas de clase de la asignatura: Concentración de minerales, 53–83.
- Calciagli, N. (2016, noviembre). *Multielement Geochemical Modelling for Mine Planning: Case Study from an Epithermal Gold Deposit*. *Springer*, 187.
- Casado, A. S. (2013). Avances tecnológicos en la concentración de minerales. *Revista Metalúrgica*, 34, 18–29.
- Castillo, J. (2008). Tecnología de las microondas en los procesos de conminución de minerales. *Investigación Aplicada a la Innovación*, 2(1). Recuperado de [http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistali/li\\_3/2.pdf](http://app.tecsup.edu.pe/file/sga/documentos/revistali/li_3/2.pdf)
- Castro, V. (2008). *Técnicas Mineras: Principios de los Métodos de Explotación*. Monografías.com
- Chernet, T. (2012). *High Voltage Selective Fragmentation for Detailed Mineralogical and Analytical Information, Case Study: Oiva's Gold-Quartz-Dyke in the Lapland Granulite Belt, Laanila, Northern Finland*. In *Proceedings of the 10th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM)* (pp. 119–127). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-27682-8\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-27682-8_16)
- Chinese Academy Sciences (2010). *Mineral resources Science*. Beijing: Springer.
- Cluster Minero (2009, julio). Levantamiento de Perfiles Ocupacionales Críticos y Desarrollo de Traducciones Formativas Modulares para el Clúster Minero, 1–236. Recuperado de <http://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2011/03/Informe-Minería.pdf>
- Comisión Minería y Desarrollo de Chile [CMYDC] (2014). Una plataforma de futuro para Chile. Santiago de Chile: Consejo Nacional de Innovación y Competitividad.
- Codelco (2014). Innovación y tecnología. Memoria anual 2014, (pp. 85–96). Recuperado de [https://www.codelco.com/memoria2014/site/artic/20150406/asocfile/20150406151445/memoria\\_2014\\_innovacion\\_y\\_tecnologia.pdf](https://www.codelco.com/memoria2014/site/artic/20150406/asocfile/20150406151445/memoria_2014_innovacion_y_tecnologia.pdf)
- Corporación Nacional del Cobre de Chile [Codelco] (2017). Codelco Educa. Recuperado de <https://www.codelco.com/Conocer>
- Conocer (2012). Competencias de personas y perfiles ocupacionales, sector minería. Recuperado de [https://www.oitcenterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/competencias\\_perfilesocupacionales.pdf](https://www.oitcenterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/competencias_perfilesocupacionales.pdf)
- Conserjería del Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (2000). Caracterización de la minería por tipos de explotación. España.
- Cortés, J.F. y Guillén, A.N. (2010). Procesos de separación y concentración de minerales. Ciudad de México.
- De la Cruz, L. (1994). Curso de laboreo de Minas.
- Deloitte (2015). *Tendencias de 2015. Los 10 principales desafíos que enfrentan las compañías mineras el próximo año*. Ottawa: Deloitte.
- Domic, E. (2001). *Hidrometalurgia: fundamentos procesos y aplicaciones*. Santiago de Chile.
- Dunne, R. (2016). *Flotation of Gold and Gold-Bearing Ores*. *Gold Ore Processing*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00020-7>
- Fragoza, O.O. (1999). Adsorción del complejo Tiourea-Plata en la Resina de Intercambio Iónico Diphonix (tesis de maestría). Sonora: Universidad de Sonora.

- Fundación Chile (2016). *Desde el cobre a la innovación. Roadmap tecnológico: 2015-2035*. Santiago de Chile: Impresores.
- Gerencia (2012). TI en la minería. El aporte de la tecnología en los procesos mineros. Gerencia.
- Habashi, F. (2008). Metalurgia extractiva para el futuro. *Minería*, 56(371), 16-18.
- Haldar, S. (2011). *Mineral Processing. SME Mining Engineering Handbook*, 1455–1556. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416005-7.00012-X>
- Haldar, S. K. (2013). *Mineral Exploration*. Australia: Elsevier
- Haldar, S. K. (2014). *Mineral Exploration: Principles and Applications*. Republic of China: Elsevier.
- Haojue (2016, octubre 10). *Advanced geological detection instrument for TBM tunneling based on AC induced polarization method*. *IEEE*, 6359171, 29 - 31.
- He-ZX (2005). *New progress and application of integrative geophysical survey techniques*. *Geophysical Prospecting*, 108(112), 41.
- Klein, B., Altun, N. E., Ghaffari, H., y McLeavy, M. (2010). *A hybrid flotation-gravity circuit for improved metal recovery*. *International Journal of Mineral Processing*, 94(3–4), 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2010.02.005>
- Lavecchia (2016). *Ground deformation and source geometry investigated through analytical and numerical modeling of DInSAR measurements and structural-geological data*. *Geophysical Research Letter*.
- Liu, R., Qin, W., Jiao, F., Wang, X., Gong, M., Yang, Y., ... Lai, C. (2016). *Enhanced flotation of refractory gold ore by using sulfur-oil agglomeration with (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as regulator in weak acidic pulp*. *Minerals Engineering*, 93, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.04.008>
- Longqing (2016). *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2016*. *Society of Exploration Geophysicists*, 10, 1652-1655.
- Mahmud, Z. Á. (2017). Instituto Nacional de Tecnología Industrial. [En línea]
- Maqueo, A. (2015, marzo). *Search Data Center. Techtarget*. Recuperado de <http://searchdatacenter.techtargget.com/es/opinion/loT-se-expande-al-sector-minero-como-aliado-de-crecimiento-y-seguridad>
- Matschullat, J. (2000). Arsenic in the Geosphere-A Review. *The Science of the Total Environment*.
- Mehrabani, J. V., Mousavi, S. M., y Noaparast, M. (2011). *Evaluation of the replacement of NaCN with Acidithiobacillus ferrooxidans in the flotation of high-pyrite, low-grade lead-zinc ore*. *Separation and Purification Technology*, 80(2), 202–208. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.04.006>
- Mining Technology (2011). Safety first: Top mine tech for prevention and response. *Mining Technology*. Recuperado de <http://www.mining-technology.com/features/featuresafety-first-top-mine-tech-for-prevention-and-response/>
- Ministerio de Energía y Minas de Perú. (s.f.). Guía Ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas. Recuperado de <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/RedLIEDS/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/Cierreminas/cierreabandono.pdf>
- Ministerio de Minas y Energía, Minas del Medio Ambiente. (2002). Guía minero ambiental beneficio y transformación, (pp. 109).
- Mosher, J. (2016). *Comminution Circuits for Gold Ore Processing*. *Gold Ore Processing*, 259–277. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00017-7>
- Mosusu, N. (2016). *Identifying Potential Mineralisation Targets Through Airborne Geophysics-The Western Papua New Guinea Case Study*. *Society of Exploration*, 25, 865-869.
- National Academy of Sciences (2002). *Evolutionary and Revolutionary Technologies for*, Washington, D.C. *National Academies Press*.
- Nel, S. (2011). *Improving truck.shovel matching*. *35th APCOM Symposium-Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industry. Proceedings*, 381-391.
- Neuland (2 febrero, 2016). *Quantitative measurement of the chemical composition of geological standards with a miniature laser ablation/ionization mass spectrometer designed for in situ application in space resea*. *Measurement Science and Technology* 27(3).
- Ofori-Sarpong, G., Osseo-Asare, K., y Tien, M. (2011). *Fungal pretreatment of sulfides in refractory gold ores*. *Minerals Engineering*, 24(6), 499–504. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.02.020>
- Ortiz, F. y Herrera, J. (2002). Secretaría del Estado de Minería. [En línea].
- Ortiz, O. (2009). Explotación minera sin voladura. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 12(24), 117-126.
- Outotec (2015). Ánodos de Titanio Recubiertos. Tecnología de OUTOTEC. [En línea]
- Oyarzun, R. (2011). *Introducción a la geología de minas*. Madrid: Universidad Complutense.
- Panorama Minero (2013). Tecnologías innovadoras para una minería sustentable. *Panorama minero*, 405, 20-23.

- Pastusek (2016). *Drill Rig Control Systems: Debugging, Tuning, and Long Term Needs*. Society of Petroleum Engineers.
- Peralta, D. M. M. (2009). Procesos hidrometalúrgicos en la minería de oro, plata, cobre y aluminio (tesis de licenciatura). Sonora: Universidad de Sonora.
- Pezo, R. B. (2010). El blog de Quk. Recuperado de <http://www.blogdequk.com/>
- Phan, C., et ál. (2007). *Operations Control in Xstrata Technology Tank Houses*. Toronto, Canada, pp. 1-14.
- Phifer, M. (2012). *Blasting*. TechnoMine. Recuperado de <http://technology.infomine.com/reviews/Blasting/welcome.asp?view=full%3E%2024%20April%202017>
- Programa Nacional de Minería Alta Ley (2016). Desde el cobre a la innovación. Roadmap Tecnológico 2015-2035. Recuperado de <http://programaaltaley.cl/wp-content/uploads/2016/04/Roadmap-Tecnologico-Alta-ley.pdf>
- Robinson T. et ál. (2012). *Developments in base metal electrowinning cellhouse design*. En: Electrometallurgy 2012. NJ, E.U.A.: John Wiley & Sons, Inc.
- Robinson, T. et ál. (2013). *Acid Mist Abatement in Base Metal Electrowinning*. En: Ni-Co 2013. Springer International Publishing, pp. 143-153.
- Rodrigues, R. T., y Rubio, J. (2007). *DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry*. *International Journal of Mineral Processing*, 82(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.07.019>
- Ronald B. (2016). Drones in Geophysics. SAGEEP, (p. 105).
- Ruiz, M. C. (2013). Apuntes de la carrera de Ingeniería Metalúrgica: Hidrometalurgia., Concepción, Chile: Universidad de Concepción, Chile.
- Ryan (2016). *Design of a miniature SWIR hyperspectral snapshot imager utilizing multivariate optical elements*. *Emerging Imaging and Sensing Technologies*.
- Sandoval, M.I.C. (2013). Estudio comparativo de lixiviación de dos minerales auroargentíferos (oxidado y sulfurado) con cianuro y tiourea (tesis de licenciatura). Bucamaranga: Universal Industrial de Santander.
- Santangelo, M. (3 octubre 2016). *From photo-geology to 3D geological models. An open source approach*. *PeerJ Preprints*. Recuperado de <https://peerj.com/preprints/2253.pdf>.
- Sanwani, E., Chaerun, S., Mirahati, R., y Wahyuningsih, T. (2016). *Bioflotation: Bacteria-Mineral Interaction for Eco-friendly and Sustainable Mineral Processing*. *Procedia Chemistry*, 19, 666–672. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2016.03.068>
- Secretaría de Economía (2014). Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de <https://www.gob.mx/sgm>
- Seguridad Minera (2016). Monitoreo permanente de gases tóxicos en minería subterránea. Seguridad minera. Recuperado de <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/monitoreo-permanente-gases-toxicos-mineria-subterranea/>
- Servicio Nacional de Aprendizaje y Centro Nacional Minero (2002). Curso de beneficio de minerales.
- SGS (2012). *Recovering refractory resources*. *Mining Magazine*, p. 148.
- SGS (2016). SGS de México S.A de C.V. Recuperado de [Recuperado de https://www.gob.mx/sgm](https://www.gob.mx/sgm)
- Shahi, H. (2016). *Detection of deep and blind mineral deposits using new proposed frequency coefficients method in frequency domain of geochemical data*. *Elsevier*, 162, pp. 29-39.
- Sun, W., Sun, C., Liu, R. Q., Cao, X. F., y Tao, H. B. (2016). *Electrochemical behavior of galena and jamesonite flotation in high alkaline pulp*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(2), 551–556. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64114-6](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64114-6)
- Universidad Castilla-La Mancha [UCLM] (2014). Universidad Castilla-La Mancha. Recuperado de <https://www.uclm.es/>
- Universidad de Chile (2016). Cursos en línea: Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas. Recuperado de <http://www.uchile.cl/>
- Universidad de Santiago de Chile (s.f.). Apuntes de la carrera de Ingeniería Metalúrgica. Recuperado de <http://www.usach.cl/>
- Universidad Nacional de San Juan [UNSJ] (2015). Universidad Nacional de San Juan, Facultad de Ingeniería. Recuperado de <http://www.unsj.edu.ar/>
- Universidad Politécnica de Madrid [UPM] (2012). *El proceso de exploración minera*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Vaikuntam, L., et ál. (2016). Innovative Processes in Electrometallurgy. En *Innovative Process Development in Metallurgical Industry*. Ohio, E.U.A.: Springer International Publishing, 385-392.
- Wang (2016). *Development of a low noise induction magnetic sensor using magnetic flux negative feedback in the time domain*. *AIP Review of Scientific Instruments*, 87(10), 5.



- Wang, E., Shi, F. y Manlapig, E. (2011). *Pre-weakening of mineral ores by high voltage pulses*. *Minerals Engineering*, 24(5), 455-462. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.12.011>
- Wang, E., Shi, F. y Manlapig, E. (2012). *Mineral liberation by high voltage pulses and conventional comminution with same specific energy levels*. *Minerals Engineering*, 27–28, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.005>
- Williams, M. (2001). *Arsenic in Mine Waters: An International Study*. *Environmental Geology*, 40(3), 12.
- Xiao, K. (2016). *A Novel Gravity Compensation Method for High Precision Free-INS Based on “Extreme Learning Machine”*. *Sensors*, 12(18), 16.
- Xiao, K. (2016). *Research on GIS-Based 3D Prospectivity Mapping and a Case Study of Jiama Copper-Polymetallic Deposit in Tibet, China*. Springer International Publishing, pp. 735-740.
- Yanbo, S. y Xin, T. (2016). *Study of New Process Technology for Low-grade Refractory Zinc Oxide Ore*. *Procedia Environmental Sciences*, 31, 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.02.026>
- Zhang (2007). *Recent advances in aerogeophysical techniques used abroad.. Geophysical and Geochemical Exploration*, (31), 8.
- Zhao, J. y Wu, Z. (1997). *Extraction of gold from thiosulfate solutions with alkyl phosphorus esters*. *Hydrometallurgy*, 46(3), 363-372.



## Capítulo 4

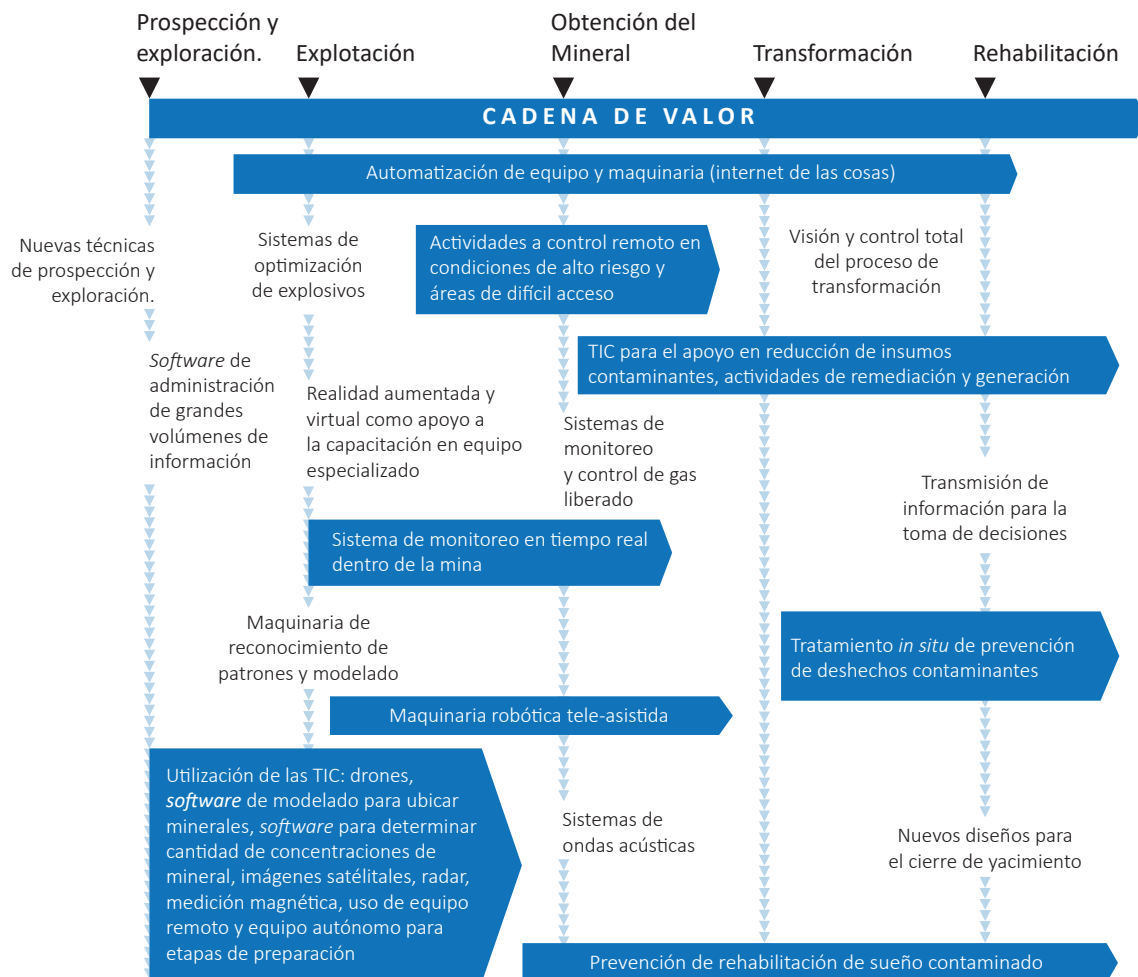
# El futuro de las áreas tecnológicas transversales

### Introducción

La minería, al igual que cualquier sector estratégico, es una industria basada en un proceso en donde intervienen múltiples actores físicos, humanos y del entorno socioeconómico; en consecuencia, a lo largo de su cadena de valor surge la interacción de distintas áreas de conocimiento, algunas de ellas puntuales, otras transversales y aquellas que se mantienen constantes en toda la actividad productiva. En este sentido, de la cadena de valor minera presentada en capítulos anteriores, se distinguen tres áreas tecnológicas que son transversales a todos los eslabones de la cadena, las cuales contribuyen de manera significativa a la competitividad del sector y que, por ende, demandan capacidades de los futuros profesionistas y técnicos. Las principales áreas tecnológicas trasversales son:

- ▶ Tecnologías de la información y comunicación (TIC)
- ▶ Tecnologías relacionadas con la gestión ambiental
- ▶ Equipo y maquinaria

Figura 4.1. Cadena de valor de la industria minera con algunas tecnologías transversales de interés



Fuente: elaboración propia.

En la etapa de prospección/exploración se seguirán incorporando novedosas técnicas de investigación geofísica y geológico-minera con apoyo de herramientas de las TIC. En el desarrollo de estudios de prefactibilidad y factibilidad económica, los análisis se efectúan considerando el uso de equipo y maquinaria semi-automatizada de máxima eficiencia que ayuda a optimizar tiempos en la apertura y explotación del tajo de mina. En esta primera etapa de la cadena de valor se hace uso creciente de paquetes de *software* para administración de grandes volúmenes de información que coadyuven a conocer, manejar y utilizar una vasta cantidad de parámetros clave para la toma de decisiones. De igual forma, se considera la implementación de sistemas de comunicación dentro de la mina que permitan maximizar el retorno de inversión con una adecuada gestión ambiental durante la explotación del mineral.

Durante la etapa de explotación, en las unidades mineras, cada día es mayor el uso de equipo automatizado, se implementan sistemas de optimización de explosivos, sistemas de monitoreo en tiempo real y actividades a control remoto en condiciones de alto riesgo y áreas de difícil acceso (ya sea para efectuar trabajo de minería o hacer inspecciones). En cuanto a la capacitación del personal especializado, cada vez se vuelve más vital el uso de equipos de realidad aumentada y virtual con apoyo de modelos para simular escenarios de situaciones de riesgo y, de esta manera, entrenar la mejora de respuesta del personal.

Durante el proceso de explotación minera, las áreas tecnológicas relacionadas con las TIC están ampliamente vinculadas con la mejora en equipo y maquinaria para un mejor desempeño en la ejecución de procedimientos (aumento de la eficiencia), procesos operativos altamente automatizados, con menor participación de la fuerza laboral humana, de tal forma que se optimicen las actividades con resultados de alta calidad, máxima seguridad para el personal y con el máximo aprovechamiento de recursos físicos y humanos. En el corto plazo, el sector se encamina a que el “Internet de las cosas” favorezca sistemas inteligentes dentro de la mina y para el proceso de extracción del mineral.

En el proceso de obtención y transformación se encuentran en ejecución mejoras incrementales en la eficiencia de proceso (algunas de ellas apoyándose en el monitoreo con las TIC), para la reducción de insumos contaminantes, actividades de remediación y regeneración, así como con técnicas que favorecen el máximo aprovechamiento en el uso de agua. Es de interés de la industria tener una visión y control total del proceso de transformación (en tiempo real) adquiriendo gran cantidad de datos, transformándolos en información que apoye la toma de decisiones dentro de la planeación del proceso de beneficio para detectar cualquier disminución en la eficiencia (preponderantemente a lo largo del proceso de extracción), logrando el máximo encadenamiento con controles a distancia que eviten la posibilidad de derrames y posibiliten la ejecución de actividad en condiciones de alto riesgo desde “la palma de la mano”. Finalmente, en el proceso de cierre y rehabilitación se intensifica el uso de tecnologías de remediación con apoyo de las TIC para el monitoreo.

El proceso productivo del sector minero requiere un alto consumo de energía, una gestión avanzada del recurso agua y racionalidad en la utilización de productos químicos para el proceso de extracción de minerales. En un entorno altamente competitivo, es necesario buscar la mejor productividad de las actividades a partir de implementar procesos eficientes, de calidad y con total seguridad para los recursos humanos que colaboran en el sector. En este sentido, son básicamente tres los caminos en los que se circunscribe la mayor parte de desarrollos tecnológicos de toda la cadena de valor y en consecuencia también de las áreas transversales (impulsores tecnológicos):

- ▶ **Reducción de costos** a partir del aumento en la **productividad** (rendimiento y eficiencia)
- ▶ Minimización del **impacto ambiental**
- ▶ **Seguridad** para todos los recursos humanos que participan en la actividad minera

En este sentido, los avances tecnológicos dirigidos al sector minero responden a los desafíos, necesidades, requerimientos y conocimientos que demanda la producción de minerales para ser eficientes, productivos y cumplir con las normas ambientales y laborales que establecen las leyes internacionales.

Con la finalidad de identificar de manera estructurada los desarrollos tecnológicos aplicados al sector minero en las áreas transversales, en las subsecciones del presente capítulo, se analizan las tendencias tecnológicas internacionales y su impacto en cada una de las áreas transversales de conocimiento, con proyección al 2025.

## 4.1. El futuro de las áreas tecnológicas transversales

### 4.1.1. Tecnologías de la información y comunicación

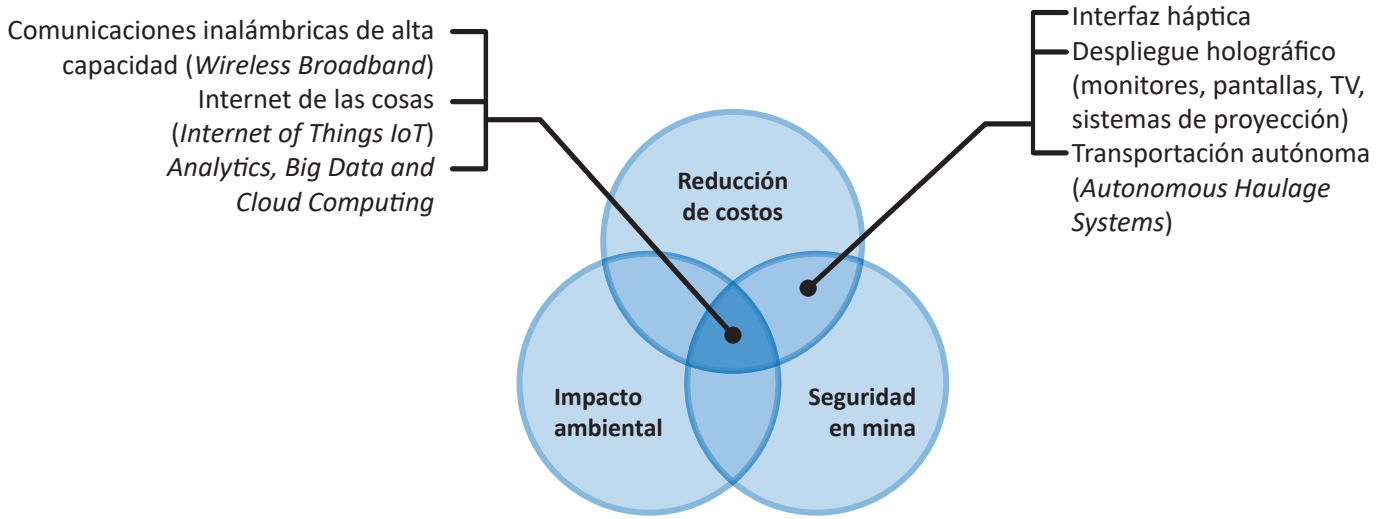
El crecimiento del comercio y la inversión internacional en la industria minera han cambiado significativamente al sector. La innovación tecnológica tiene un papel importante en el aumento de la productividad a través de la exploración y delineación de nuevos cuerpos minerales de más alto grado, mejores métodos de extracción, así como una mayor confiabilidad y control de calidad en el procesamiento de minerales. La innovación también contribuye a atender los impactos ambientales y efectos en poblaciones locales, asegurando de esta manera que las empresas puedan lograr una minería sustentable con el medio ambiente (Upstill, 2006).

En este sentido, las tendencias tecnológicas en el área de las TIC que representarán en el corto plazo una ventaja competitiva en el sector son<sup>23</sup>:

- ▶ Interfaz háptica
- ▶ Despliegue holográfico (monitores, pantallas, TV, sistemas de proyección)
- ▶ Transportación autónoma (*Autonomous Haulage Systems*)
- ▶ Comunicaciones inalámbricas de alta capacidad (*Wireless Broadband*)
- ▶ Internet de las cosas (*Internet of things IoT*)
- ▶ *Analytics, Big Data* y *Cloud Computing*

<sup>23</sup> Véase a detalle la descripción de las mencionadas tendencias en el Anexo 4.1

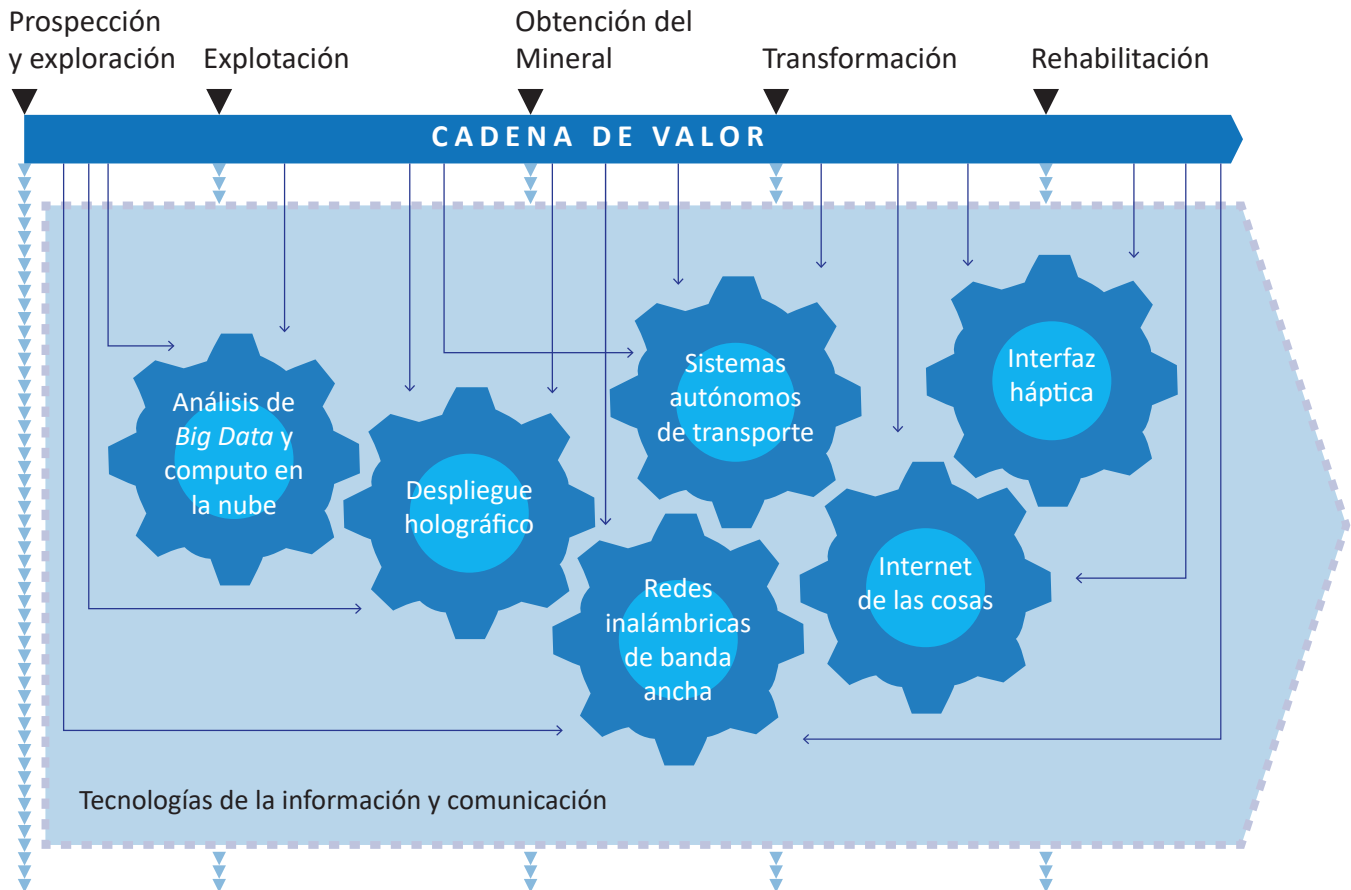
Figura 4. 2. Relación de las tendencias TIC entre los impulsores tecnológicos



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se esquematizan los eslabones de la cadena de valor que son impactados por cada una de las tendencias tecnológicas antes descritas.

Figura 4. 3. Esquema de las TIC en la cadena de valor de la industria minera



Fuente: elaboración propia.

### 4.1.2. Gestión ambiental

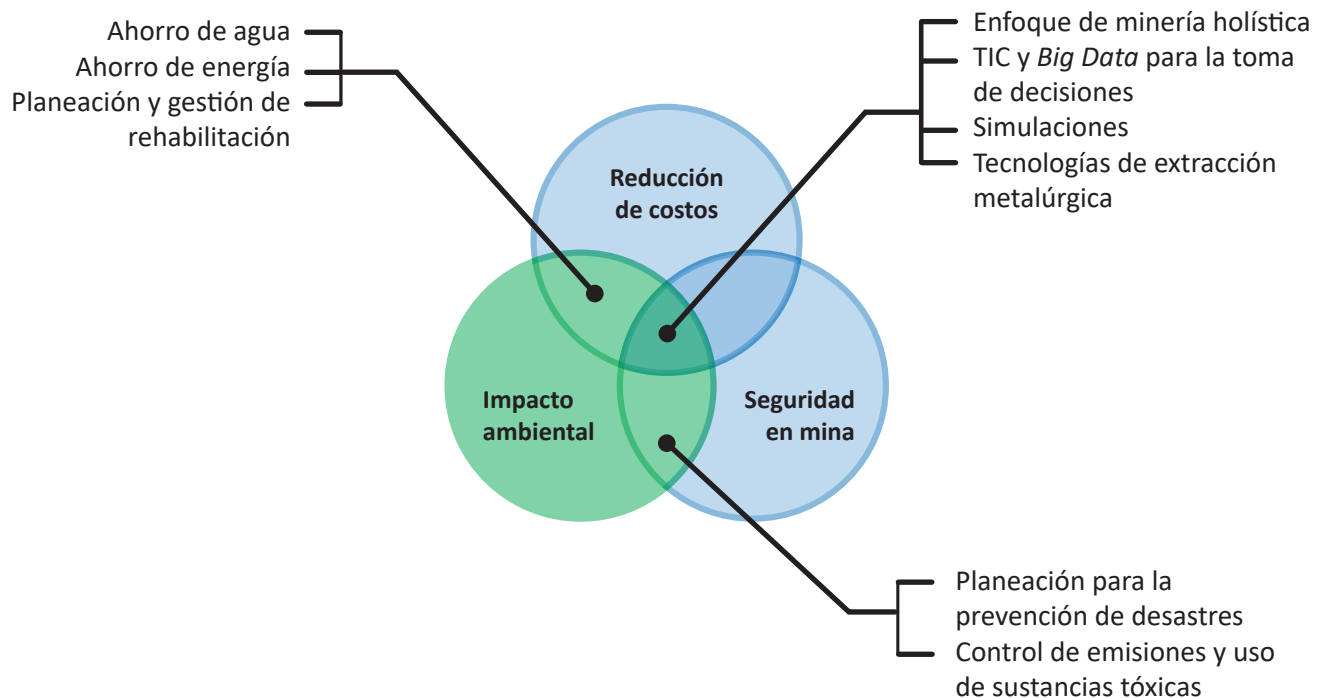
Las actividades que comprende la gestión ambiental minera inician durante el diseño y ejecución de la exploración geológica de un yacimiento, continúan con el ordenamiento minero ambiental y los estudios de impacto ambiental, así como con la ejecución de las diferentes actividades mineras, como la construcción de infraestructura, la explotación del mineral, los cierres de mina. Todo culmina con actividades post operación con el monitoreo de mantos acuíferos y suelos, así como con el restablecimiento de los procesos ecológicos vitales de las áreas devastadas (Urbino, Jacobo, Díaz y Sigarreta, 2016).

La reducción del impacto ambiental es un tema de la más alta relevancia en todas las industrias, por lo que se ha convertido en un promotor del desarrollo tecnológico que busca poner en marcha nuevos sistemas para la prevención o mitigación de daños. Dentro de las tendencias identificadas para la industria minera en cuanto a la prevención del impacto ambiental destacan<sup>24</sup>:

- ▶ Tratamiento de drenaje ácido
- ▶ Tratamiento de suelos contaminados
- ▶ Correcto aseguramiento de residuos sólidos

Las tendencias de los diversos impulsores tecnológicos, sus tendencias y las relaciones entre sí, se muestran en el siguiente diagrama.

Figura 4. 4. Relación de las tendencias entre los impulsores tecnológicos

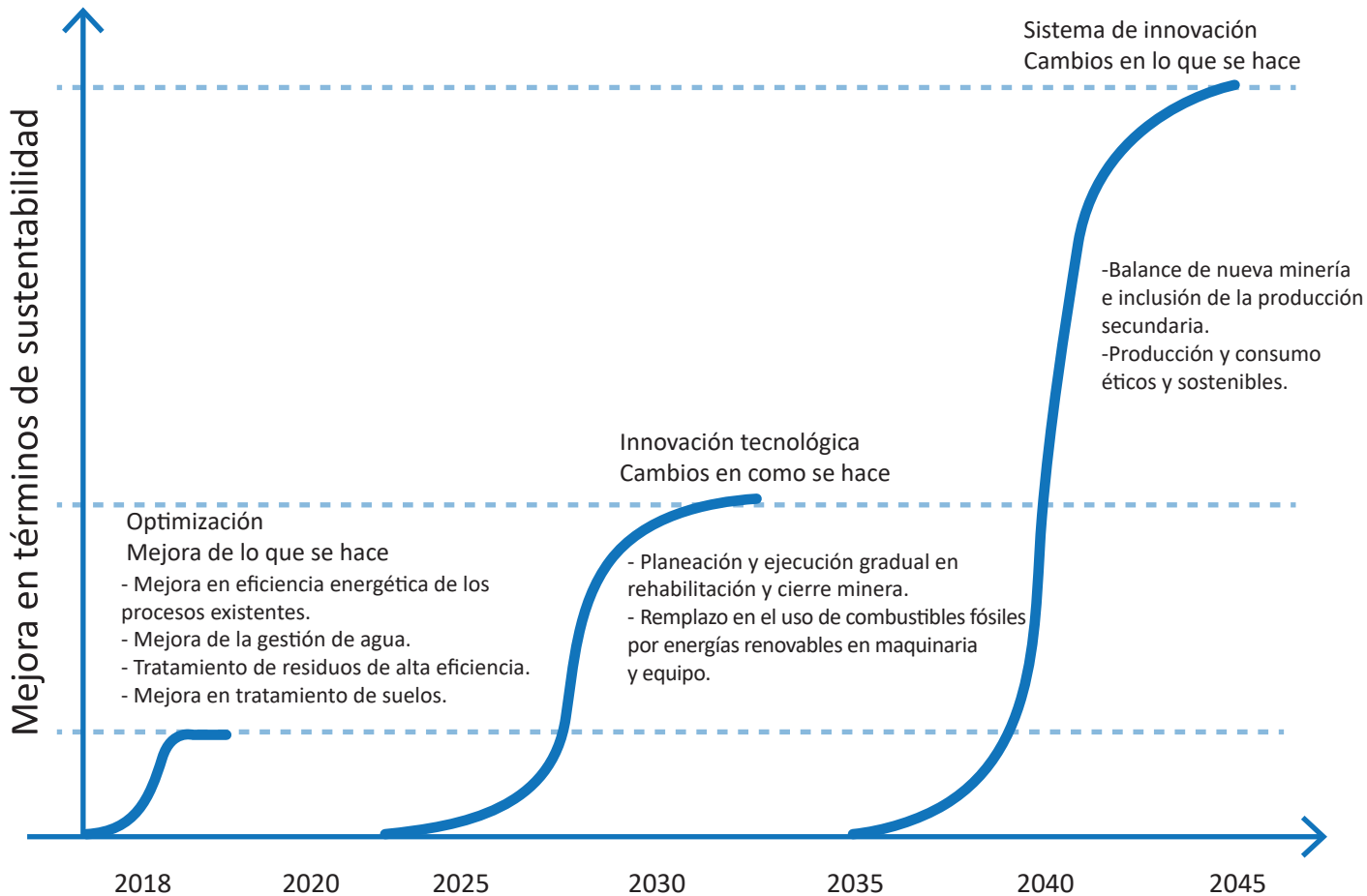


Fuente: elaboración propia.

24 Véase a detalle la descripción de las tendencias en el Anexo 4.2.

A partir de las tendencias antes descritas, en la figura 4.5 se presentan los niveles de innovación potencial en la industria minera (preponderantemente en Zacatecas) y los impactos que esto puede tener sobre el desempeño ambiental.

Figura 4.5. Niveles de innovación potencial en términos ambientales en la industria minera

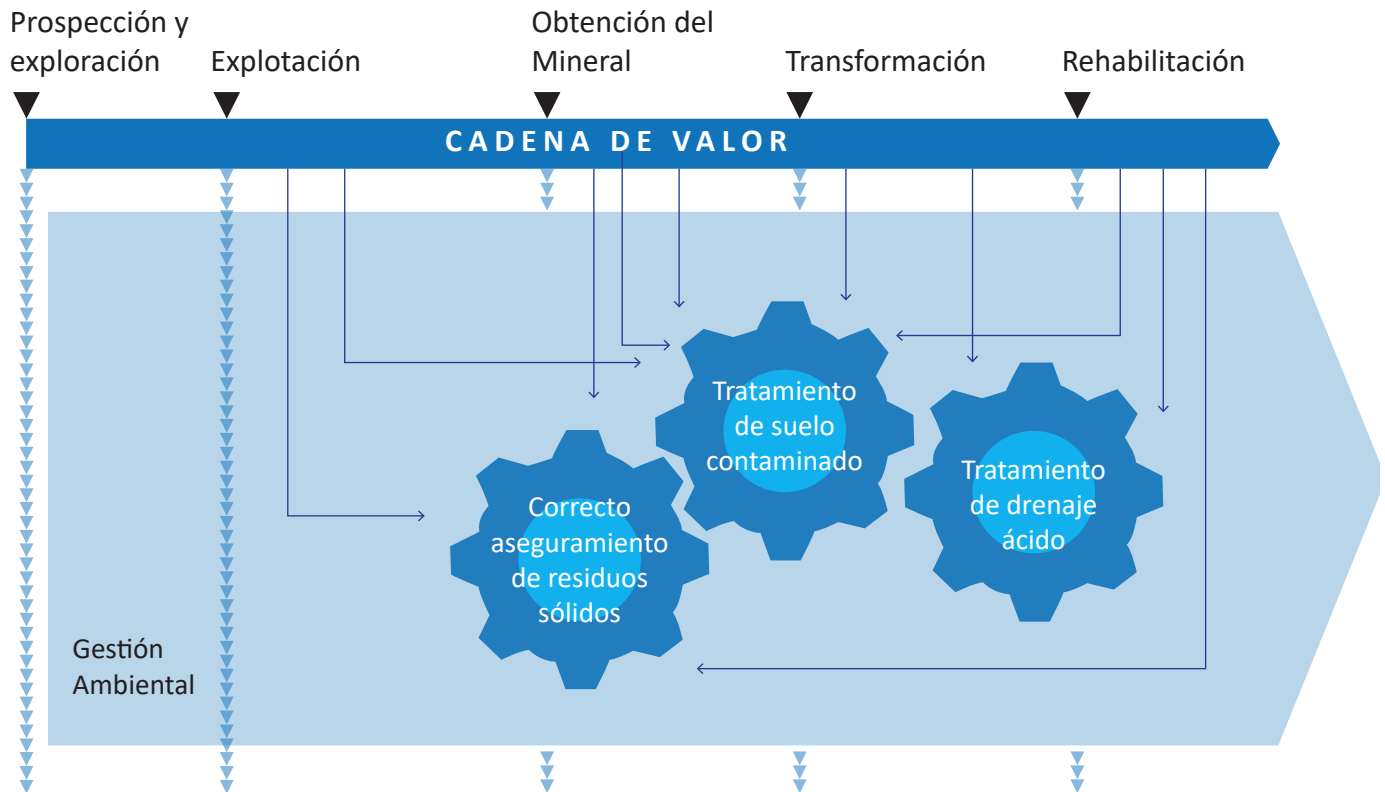


Fuente: adaptado de Mason *et ál.* (2011).

En la siguiente figura se esquematizan los eslabones de la cadena de valor que son impactados por cada una de las tendencias tecnológicas antes descritas.



Figura 4.6. Representación esquemática de las tecnologías de gestión ambiental en la cadena de valor de la industria minera



Fuente: elaboración propia.

### 4.1.3. Equipo y maquinaria minera

El crecimiento económico, tecnológico y social de las economías mundiales ha incrementado la demanda de minerales para abastecer la producción de bienes indispensables para la vida cotidiana. Sin embargo, con mayor frecuencia los yacimientos minerales se encuentran cada vez más profundos, ocasionando disminución de rendimientos y aumento de costos debido a la remoción y traslado de grandes cantidades de material estéril; a tal situación se suma que la ley mineral ha disminuido y que el procesamiento de minerales se encarece debido al alto contenido de contaminantes.

Por lo anterior, las tendencias tecnológicas en el área de maquinaria y equipo están enfocadas a obtener altos índices de productividad y seguridad de las industrias, ya sea en términos de aumento de velocidad de procesos en maquinaria y equipo, adecuada combinación de nuevas técnicas y herramientas de mecanizado, producciones más eficaces y flexibles, mejora en la eficiencia y seguridad de herramientas o el uso de nuevos materiales e instrumentos de diseño para gran variedad de procesos en minería.

En este sentido, las tendencias tecnológicas en equipo y maquinaria que representarán una ventaja competitiva son nuevas tecnologías para<sup>25</sup>:

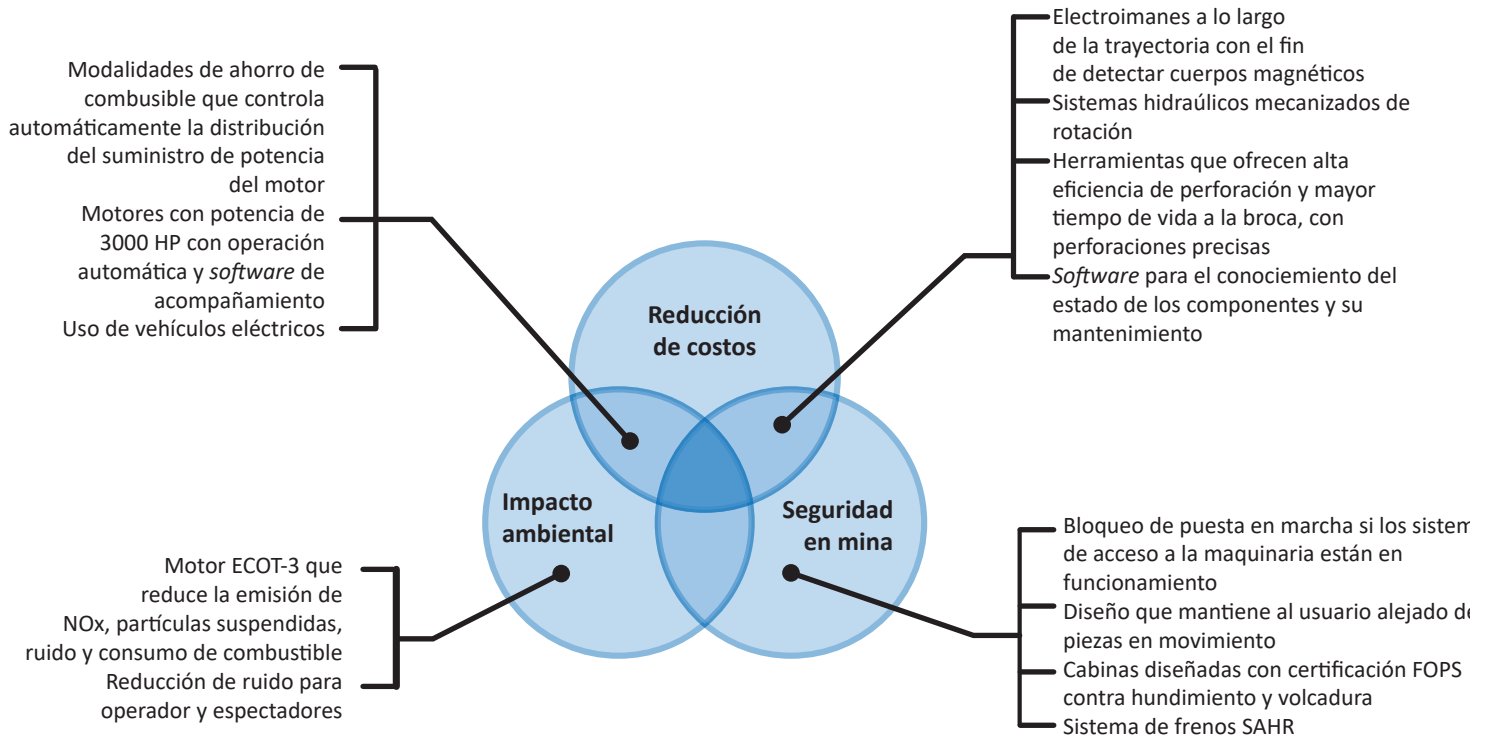
- ▶ Trituración de minerales
- ▶ Molienda de minerales
- ▶ Flotación de minerales
- ▶ Equipo de flotación de minerales

<sup>25</sup> Véase a detalle la descripción de las mencionadas tendencias en el Anexo 4.3.

- ▶ Clasificación en tamices
- ▶ Sistemas de control a distancia
- ▶ Equipo eléctrico de transporte
- ▶ Medición inteligente de distancias y niveles en topografía o navegación
- ▶ Procesamiento digital de datos
- ▶ Aumentan en la eficiencia de operaciones en máquinas de desplazamiento de suelos
- ▶ Sistemas de mantenimiento con creciente nivel de autonomía

En la figura 4.7 se presenta un desglose que ejemplifica la relación en tendencias que existen entre los impulsores tecnológicos.

Figura 4. 7. Relación de las tendencias en equipo y maquinaria entre los impulsores tecnológicos



Fuente: elaboración propia.

## 4.2. Requerimientos en los recursos humanos para adoptar las futuras tecnologías transversales

Para la instalación, uso y mantenimiento de las nuevas tecnologías para la minería se requieren nuevos conocimientos especializados en, por ejemplo, automatización, robótica, inteligencia artificial, georeferenciación, uso de *software* y drones especializados, realidad virtual y teleoperación. Es por ello que el capital humano que se demandará en el corto plazo para el óptimo crecimiento del sector deberá cumplir con características profesionales, técnicas y competencias específicas para asimilar las nuevas tendencias tecnológicas.

Considerando lo anterior, en la siguiente sección se presenta el análisis de las principales capacidades que serán necesarias en el sector para la adopción y asimilación de dichas tecnologías transversales en los próximos años.

## 4.2.1. Tecnologías de la información y comunicación

### Formación de RH en TIC a nivel internacional

De acuerdo con el reporte *Computer Engineering Curricula 2016*, organizaciones internacionales especializadas en TIC, como *Association for Computing Machinery* (ACM) e *Institute of Electric and Electronics Engineers* (IEEE), han redefinido los perfiles y competencias que se deben desarrollar en los futuros profesionales para desempeñarse con éxito en un campo que cambia rápidamente. Las grandes áreas de conocimiento son:

- ▶ Administración de proyectos
- ▶ Responsabilidad social, respeto a las diferencias
- ▶ Comprensión técnica de su campo profesional
- ▶ Familiaridad con los temas y principios esenciales de su campo profesional
- ▶ Apreciación de la interacción entre la teoría y la práctica
- ▶ Perspectiva a nivel de sistema
- ▶ Compromiso con la responsabilidad profesional
- ▶ Conciencia del panorama de las aplicaciones de su campo profesional
- ▶ Dominio de conocimientos específicos
- ▶ Habilidades de comunicación

La ACM y la IEEE reconocen que la ingeniería en computación tiene un enfoque distinto en función de la región geográfica o del tipo de escuelas (ingeniería en computación /ingeniería electrónica). Por lo anterior, ACM y la IEEE proponen dos currícula para tomar como punto de referencia<sup>26</sup>, mismas que se integran por materias básicas, materias de especialidad y las llamadas cuerpo del conocimiento, este cuerpo está integrado por 13 grandes áreas:

1. Circuitos y electrónica
2. Algoritmos computacionales
3. Arquitectura y organización de computadoras
4. Diseño digital
5. Sistemas embebidos
6. Redes de computadoras
7. Desarrollo de prácticas profesionales durante los estudios universitarios
8. Seguridad informática
9. Estrategias para tecnologías informáticas
10. Procesamiento de señales
11. Ingeniería de sistemas y proyectos
12. Gestión de los recursos de sistemas
13. Diseño de *software*

A partir de lo anterior, se revisaron los planes de estudio de las cinco universidades con el *ranking* más alto de acuerdo con el *QS World University Rankings 2017*<sup>27</sup>, tanto en el campo de la Ingeniería Computacional y Sistemas de Información como en Ingeniería Electrónica y Eléctrica.

<sup>26</sup> La primera cuando el programa se imparte desde el departamento de ciencias computacionales y la segunda si se administra junto con el departamento de ingeniería eléctrica.

<sup>27</sup> Evalúa el impacto que las instituciones de educación internacional tienen en temas de investigación, basado en el número de citas de los artículos publicados, calidad de la enseñanza, atracción de investigadores y estudiantes de otros países, entre otros (QS Quacquarelli Symonds, 2017).

Cuadro 4.1. Principales universidades en programas de licenciatura en Ingeniería Computacional y Electrónica

Ingeniería Computacional	Ingeniería Computacional desde la Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Massachusetts Institute of Technology Standford University Carnegie Mellon University University of California, Berkeley University of Cambridge	Massachusetts Institute of Technology Standford University University of California, Berkeley University of California, Los Angeles University of Cambridge

Fuente: QS World University Rankings (2017).

De las 13 áreas que integran el cuerpo de conocimiento de las ciencias computacionales, la ACM y la IEEE, proponen 15 cursos para la Ingeniería Computacional cuando es administrada por el departamento del mismo nombre y 17 cuando se administra desde el departamento de ingeniería eléctrica. En los siguientes cuadros se analiza la formación de recursos humanos en las cinco universidades seleccionadas, de acuerdo con las áreas de conocimiento. Estos cuadros indican las prioridades de formación de las instituciones líderes a nivel mundial.

Cuadro 4. 2. Oferta de cursos del cuerpo de conocimiento de Ingeniería Computacional administrado por el mismo departamento de las cinco universidades con ranking más alto

	Ciencias Computacionales I	Ciencias Computacionales II	Diseño de Algoritmos	Organización de Computadoras	Arquitectura de Computadoras	Sistemas Embebidos	Redes Computacionales y Seguridad Informática	Sistemas Operativos	Proyectos I Administración de Proyectos	Proyectos II Implementación de Proyectos	Ética y Profesionalismo	Introducción al Diseño Digital	Circuitos y Electrónica	Sistemas y Procesamiento de Señales	Estructuras Discretas
<b>Massachusetts Institute of Technology</b>															
Ingeniería Eléctrica y Ciencias Computacionales															
Ciencias Computacionales e Ingeniería															
<b>Standford University</b>															
Ciencias Computacionales															
<b>Carnegie Mellon University</b>															
Ciencias Computacionales															
Música y Tecnología															
Ciencias Computacionales y Artes															
<b>University of California, Berkeley</b>															
Ciencias Computacionales															
Ingeniería Eléctrica y Ciencias Computacionales															
<b>University of Cambridge</b>															
Ciencias Computacionales															

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. 3. Oferta de cursos del cuerpo de conocimiento de la Ingeniería Computacional administrado por el departamento de Ingeniería Eléctrica de las cinco universidades con ranking más alto

	Fundamentos de Programación I	Fundamentos de Programación II	Introducción a las Estructuras Discretas	Estructura de Datos y Algoritmos	Sistemas Operativos	Diseño Digital y Lógico (Lab)	Circuitos y Electrónica	Sistemas de Embebidos y Microprocesadores (Lab)	Diseño de Sistemas Digitales (Lab)	Proyectos II Implementación de Proyectos	Señales y Sistemas	Introducción a la Arquitectura y Organización de Computadoras	Introducción a la Ingeniería de Sistemas Computacionales	Redes de Cómputo	Ingeniería de Computadoras (Admon Proyectos SW)	Ingeniería de Computadoras (Admon. Proyectos HW y SW)
<b>Massachusetts Institute of Technology</b>																
Ciencias Electrónicas e Ingeniería	■	■		■			■		■		■	■				
Ingeniería Eléctrica y Ciencias Computacionales	■	■		■			■		■		■	■	■			
<b>Stanford University</b>																
Ingeniería Eléctrica	■	■				■	■				■					
<b>University of California, Berkeley</b>																
Ingeniería Eléctrica y Ciencias Computacionales	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
<b>University of California, LA</b>																
Ingeniería Eléctrica	■	■		■		■	■	■			■					
<b>University of Cambridge</b>																
Ingeniería Eléctrica y Electrónica	■	■	■													

Fuente: elaboración propia.

Competencias como la capacidad de resolver problemas, programar en diferentes lenguajes, diseño orientado a objetos, modelado de datos y los conceptos fundamentales de la ingeniería del *software* son interés de todas las universidades analizadas. Asimismo el diseño de algoritmos para desarrollar *software*, la arquitectura de las computadoras, los sistemas operativos y las estructuras discretas son temas que se consideran clave en la formación de recursos humanos.

La ética, las redes computacionales y la seguridad son otros temas que aparecen en la mayoría de las universidades analizadas, pues a través de estos cursos se atiende la necesidad de contar con personas cuya prioridad sea el desarrollo de sistemas informáticos que den un alto grado de confianza a las organizacionales para soportar sus actividades organizaciones y productivas con base en las TIC.

### Formación de RH en TIC a nivel nacional

Para el análisis e identificación de la oferta educativa de universidades en México acorde con los planes de estudios propuestos por la ACM y a IEEE, se estudiaron los programas de estudio de las universidades mexicanas mejor evaluadas por el índice de *QS World University Ranking* (2017), estas universidades son:

1. Instituto Politécnico Nacional
2. Universidad Nacional Autónoma de México
3. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
4. Universidad de Guadalajara

Cuadro 4. 4. Oferta de cursos del cuerpo de conocimiento de Ingeniería Computacional de las cuatro universidades con ranking más alto de México

	Ciencias Computacionales I	Ciencias Computacionales II	Diseño de Algoritmos	Organización de Computadoras	Arquitectura de Computadoras	Sistemas Embebidos	Redes Computacionales y Seguridad Informática	Sistemas Operativos	Proyectos I Administración de Proyectos	Proyectos II Implementación de Proyectos	Ética y Profesionalismo	Introducción al Diseño Digital	Circuitos y Electrónica	Sistemas y Procesamiento de Señales	Estructuras Discretas
<b>Instituto Politecnico Nacional</b>															
Ingeniería en Sistemas Computacionales	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>															
Ciencias de la Computación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Mty.</b>															
Ingeniero en Tecnologías Computacionales	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ingeniero en Sistemas Digitales y Robótica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Universidad de Guadalajara</b>															
Ingeniería en Computación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. 5. Oferta de cursos del cuerpo de conocimiento de Ingeniería en Electrónica, Eléctrica y/o Comunicaciones de las cuatro universidades con *ranking* más alto de México

	Fundamentos de Programación I	Fundamentos de Programación II	Introducción a las Estructuras Discretas	Estructura de Datos y Algoritmos	Sistemas Operativos	Diseño Digital y Lógico (Lab)	Circuitos y Electrónica	Sistemas Embebidos y Microprocesadores (Lab)	Diseños de Sistemas Digitales (Lab)	Proyectos II Implementación de Proyectos	Señales y Sistemas	Introducción a la Arquitectura y Organización de Computadoras	Introducción a la Ingeniería de Sistemas Computacionales	Redes de Computo	Ingeniería de Computadoras I (Admon. de Proyectos SW)	Ingeniería de Computadoras I (Admon. de Proyectos HA y SW)
<b>Instituto Politecnico Nacional</b>																
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica	■	■		■		■		■	■							
<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>																
Ingeniería en Telecomunicaciones, Sistemas y Electrónica	■		■	■		■		■	■		■					
<b>Instituto Tecnológico y Estudios Superiores de Mty.</b>																
<b>Universidad de Guadalajara</b>																
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica	■		■			■	■				■				■	

Fuente: elaboración propia.

Estos cuadros permiten identificar los programas líderes en el país, además de que pueden ser considerados una opción de formación del profesorado para las instituciones de educación superior de Zacatecas en estas materias.

**Requerimientos de RH para atender las tendencias tecnológicas en TIC para la minería**

Del análisis se pueden resaltar los siguientes conocimientos como fundamentales para comprender los procesos por parte de los futuros profesionales de la minería (Ortiz, 2017).

- ▶ Inteligencia artificial:
  - Tratamiento del lenguaje natural (interacción con usuarios a través de sistemas automatizados).
  - *User profiling* (sistemas que se adaptan a los requerimiento y necesidades de los usuarios). Sistemas de preguntas y respuestas.
  - Computación cognitiva (dotar a los sistemas y computadoras de características “más humanas”, por ejemplo, poner caritas de tristeza, felicidad, incorporar tecnologías virtuales y hasta un robot).
- ▶ *Machine learning* y ciencia de datos:
  - Reconocimiento de patrones
  - Análisis de datos y predicciones en grandes cantidades, sobre todo en *big data*
  - Procesamiento de eventos complejos

- *Big data*:
  - Computación cuántica (Paradigma de computación que se basa en el uso de *qubits* [cuántico con dos estados propios) en lugar de *bits* (sistema binario basado en 1 y 0), y da lugar a nuevas puertas lógicas que posibilitan nuevos algoritmos.
  - Nuevas tecnologías de almacenamiento secundario, nuevos tipos de memoria no volátil.
  - Marco de *software* de código abierto para el almacenamiento de datos y el procesamiento de aplicaciones en clusters de computadoras de bajo costo: Hadoop, MapR y HDFS.
  - Administración del procesamiento de datos: Sistemas de administración de bases de datos no basadas en SQL y virtualización de datos
- ▶ Computación en la nube:
  - Paradigma de cómputo como nube
  - Armonización del tiempo del procesador y la capacidad de almacenamiento para garantizar un nivel de servicio
  - Virtualización
  - Red de *software* definida
  - Oferta de datos como servicios (*Data as a Service*)
  - Servicios personales de la nube
- ▶ Programación:
  - Aprovechamiento de recursos y alimentación de *big data*
  - Procesos de servicios de IoT (procesos totales de implementación de servicios de IoT)
  - Herramientas para el desarrollo de *software* y operaciones de tecnologías de información
- ▶ Internet de las cosas:
  - En la industria (IoT), en *smartplaces*, en *wearables*, en la salud, en la biotecnología
  - Aplicaciones a escala global
  - Objetos inteligentes
  - Interoperabilidad global (billones de cosas conectadas)
  - Redes de sensores inalámbricos
- ▶ Sistemas embebidos:
  - Diseño de sensores
  - Sensores moleculares y memorias de polímero
  - Redes de sensores inalámbricos, miniaturización de sensores, sensores inteligentes y de almacenamiento de energía
  - Controladores más eficientes
  - Algoritmos embebidos
  - Protocolos de comunicación embebidos
- ▶ Gráficos por computadora:
  - Realidad aumentada
  - Realidad virtual
- ▶ Seguridad:
  - *Cyber* seguridad en la red y tecnología,
  - Gestión de la seguridad
  - Análisis de la seguridad de *big data*
  - Protección contra fuga de datos
  - Estándares de seguridad de la nube
- ▶ Interacción hombre – máquina: equipos autónomos:
  - Sistemas intuitivos (sin necesidad de conocimiento previo para usarlos)



- Personalización de interacción
- Relación con la computación cognitiva
- *Eye tracking, haptIC* (interfaces con retroalimentación táctil)
- Interfaz cerebro-computadora
- Traducción instantánea
- Despliegues (*display*): despliegues volumétricos y holográficos (tridimensionales), aplicaciones informáticas que dan información minimizando el esfuerzo mental, no necesariamente usando texto o datos.
- ▶ Comunicación:
  - Nuevos protocolos, redes auto configurables de protocolo independiente
  - Inalámbrica
  - Redes de un *chip*
  - Multi estándares de arquitecturas RF
  - Comunicación en dispositivos móviles 5ta generación
  - Estándares para aplicaciones de IoT
  - Comunicaciones de redes vehiculares
  - Transporte autónomo
  - Más allá del estándar de LTE (5G, 6G y posteriores)
- ▶ Redes de cómputo:
  - IPV6
  - Internet para todo
  - Autenticación integrada/universal
  - Capacidad de la red y latencia
  - Redes definidas por *software*
  - Red compartida y auto organizada
  - Aprovechamiento de espectro radioeléctrico no utilizado (*White Spaces*)
  - Evolución del WI-FI
  - Radio definido por *software*, reconfiguración automática del radio (*Cognitive Radio*)
- ▶ *Everything as a service*:
  - Ecosistemas de servicios
  - Administración del servicio, procesamiento e inteligencia
  - Agentes de análisis e intermediación de servicios de la nube
- ▶ Sustentabilidad:
  - Sustentabilidad a través del uso de TIC, edificios, red, transporte inteligente, disminución de materiales.
  - Sustentabilidad en el uso de TIC, DC y telecomunicaciones verdes, dispositivos de TIC con uso de energía eficiente.

## 4.2.2. Gestión ambiental

### Formación de RH en gestión ambiental a nivel internacional

Actualmente existe el Programa Europeo de Maestría en Cambio Climático y Restauración de Áreas Degradadas (Recland), el cual fue estructurado considerando investigaciones recientes donde se demuestran los beneficios significativos de la colaboración tecnológica en el cambio climático y las áreas degradadas (Santamarta, Hernández-Gutiérrez, Ritter, Neris y Arraiza, 2015). Países como Reino Unido, Estonia, Hungría, España y Rumanía (UPM, 2012) han trabajado en la implementación del referido programa.

A partir de entrevistas realizadas a diferentes expertos en temas de rehabilitación ambiental y analizando las tendencias tecnológicas en el área de interés, se identificó que, en el futuro próximo, el avance en las empresas mineras demandará personal con conocimientos amplios en:

- ▶ Geología
- ▶ Energía y Medio Ambiente
- ▶ Bioquímica
- ▶ Fenómenos de Transporte
- ▶ Química Orgánica e Inorgánica
- ▶ Mitigación del Cambio Climático
- ▶ Ingeniería Ambiental
- ▶ Estructura, contaminación y tratamiento de agua, aire y suelo
- ▶ Impactos sociales del cambio climático y contaminación
- ▶ Economía de Recursos Naturales
- ▶ Ciencias Ambientales, Políticas y Gestión
- ▶ Ecología del Paisaje
- ▶ Desarrollo de *software* y análisis de datos con enfoque ecológico
- ▶ Innovación en Sustentabilidad
- ▶ Negociación
- ▶ Comunicación
- ▶ Resolución de Problemas Complejos

Analizando las cinco instituciones de mayor importancia en la formación de recursos humanos en temas ambientales (seleccionadas a partir del estudio de las universidades con el *ranking* más alto de acuerdo con el *QS World University Rankings 2017*), en el cuadro 4.6 se indica si los planes de estudios contempla materias relacionadas con los futuros conocimientos demandado en el sector.

Cuadro 4.6. Comparativo de las carreras en las universidades más importantes en Ciencias Ambientales

Carreras	Universidad	Geología	Energía y Medio Ambiente	Bioquímica	Fenómenos de Transporte	Química Orgánica e Inorgánica	Mitigación del Cambio Climático	Ingeniería Ambiental	Estructura, contaminación y tratamiento de agua, aire y suelo	Impactos sociales del cambio climático y contaminación	Economía de Recursos Naturales	Ciencias Ambientales, Políticas y Gestión	Ecología del Paisaje	Desarrollo de <i>software</i> y análisis de datos por enfoque ecológico	Innovación en Sustentabilidad	Negociación	Comunicación	Resolución de Problemas Complejos
Civil & Environmental Engineering	University of California, Berkeley (UCB)		■															
Environmental & Resources	Stanford University		■															
Programa de estudios de EAPS	Massachusetts Institute of Technology (MIT)	■		■		■												
Environmental Science	The University of Queensland	■		■				■										
Environmental Science	University of British Columbia		■		■	■				■		■						

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el *QS World University Ranking 2017*, la Universidad de California (UCB) es la más reconocida a nivel internacional en materia ambiental, en el cuadro anterior se observa que esta universidad aborda la mayoría de los temas que son de relevancia para la formación de recursos humanos en ciencias ambientales. También, se identifica que todos los programas incluyen materias relacionadas con el cambio climático y sus impactos en la sociedad, así como, temas políticos en materia ambiental. Lo anterior muestra que, aunque es fundamental el desarrollo de conocimientos técnicos en prevención y tratamiento de los contaminantes, se requiere entender un enfoque holístico considerando la importancia que tiene la participación del gobierno en el desarrollo de políticas públicas que impulsen la adopción de buenas prácticas, la academia para la solución de problemas empresariales y la industria para la concientización y desarrollo de procesos sostenibles. En este mismo sentido también es importante destacar que se imparten materias para el desarrollo de habilidades blandas, como son, negociación, comunicación y resolución de problemas complejos.

### Formación de RH en gestión ambiental a nivel nacional

Dentro de los planes de estudio a nivel licenciatura en México que cumplen con las competencias requeridas para la gestión y rehabilitación ambiental se encuentran: Ciencias e ingenierías ambientales y Tecnología y protección del medio ambiente, cuyas competencias son las siguientes (STPS, 2017):

- ▶ Investigar de manera integral los ecosistemas y las cadenas que los componen, realizando estudios de los efectos que tienen diferentes agentes contaminantes sobre los seres humanos y el medio ambiente.
- ▶ Monitorear los agentes contaminantes en el ambiente, alimentos, aguas, etcétera.
- ▶ Participar en la elaboración de programas de manejo ambiental para proteger los recursos naturales y hacer recomendaciones sobre su explotación sin dañar el medio ambiente.
- ▶ Llevar a cabo estudios edafológicos y desarrollar programas de manejo del suelo para eliminar la erosión o proteger las praderas contra fuegos y daños ocasionados por plagas.
- ▶ Asesorar a los productores agropecuarios, turísticos e industriales sobre las mejores prácticas de producción y uso de los recursos naturales para conservarlos y explotarlos sin poner en riesgo la sustentabilidad.
- ▶ Estudiar e interpretar los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas, las imágenes de radar y de satélite y la salida de un modelo de computadora.
- ▶ Informar de los pronósticos del tiempo al público en general y con el fin de orientar el tráfico aéreo, terrestre, marítimo, así como a la agricultura y pesca.
- ▶ Dirigir investigaciones en los procesos y determinantes de los fenómenos atmosféricos, del tiempo y del clima.
- ▶ Desarrollar y probar modelos matemáticos de computadora referentes al tiempo y al clima para uso experimental o de operaciones.
- ▶ Dirigir investigaciones referentes a la dispersión atmosférica y al transporte de contaminantes, además de aprovechar y utilizar los modelos matemáticos de la dispersión, la transformación física y química de dichos contaminantes.
- ▶ Asesorar sobre la dispersión, transporte, depósito de contaminantes para la reglamentación y protección ambiental.
- ▶ Estudiar al impacto de los proyectos industriales sobre el clima y la calidad del aire.
- ▶ Participar en estudios respecto a los efectos del tiempo en el medio ambiente.
- ▶ Asesorar a agencias externas, a profesionistas o investigadores respecto del uso e interpretación de la información climatológica.

Debido a las diferentes especies botánicas, vegetales y animales que pueden estar involucradas en el sitio minero a explotar, es recomendable considerar que las carreras relacionadas con silvicultura, la producción y explotación agrícola y ganadera sirven para complementar la planificación de las actividades simultáneas para la conservación de especies y manejo de suelos post operación.

A continuación se presentan las instituciones de educación superior y universidades que tienen planes de estudio relacionadas con las carreras mencionadas. De acuerdo con *QS World University Rankings*, las mejores instituciones en oferta académica relacionada con estas carreras son la Universidad Nacional Autónoma de México<sup>28</sup> y el Instituto Politécnico Nacional; sin embargo, la oferta académica a nivel nacional es extensa debido a la importancia que el tema ambiental representa en todos los sectores, por lo que adicionalmente se han seleccionado las instituciones establecidas dentro y en los alrededores de Zacatecas.

**Cuadro 4.7. Instituciones de educación superior con planes de estudios relacionados con Ciencias Ambientales, Silvicultura y Tecnología y Protección del Medio Ambiente**

Ciencias Ambientales	Tecnología y Protección del Medio Ambiente	Silvicultura
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Universidad Autónoma de Aguascalientes</li> <li>- Universidad del Valle de México</li> <li>- Universidad Nacional Autónoma de México</li> <li>- Universidad Juárez del Estado de Durango</li> <li>- Universidad Metropolitana</li> <li>- Universidad de Guadalajara</li> <li>- Universidad Autónoma de San Luis Potosí</li> <li>- Universidad Autónoma de Tamaulipas</li> <li>- Universidad Autónoma de Zacatecas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro</li> <li>- Universidad Tecnológica de Coahuila</li> <li>- Universidad Autónoma de Chihuahua</li> <li>- Universidad Autónoma de Ciudad Juárez</li> <li>- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey</li> <li>- Universidad la Salle, A.C.</li> <li>- Instituto Politécnico Nacional</li> <li>- Universidad Autónoma Metropolitana</li> <li>- Universidad Tecnológica de México</li> <li>- Universidad Juárez del Estado de Durango</li> <li>- Universidad Autónoma Chapingo</li> <li>- Universidad del Valle de México</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Universidad Autónoma de Nuevo León</li> <li>- Benemérita Universidad Autónoma de Puebla</li> <li>- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro</li> <li>- Universidad Autónoma de Chihuahua</li> <li>- Universidad Juárez del Estado de Durango</li> <li>- Universidad Autónoma Chapingo</li> <li>- Instituto Tecnológico Superior de Irapuato</li> </ul>

Fuente: elaboración propia con datos de QS (2017) y STPC (2017).

### Requerimientos de RH para atender las tendencias tecnologías en gestión ambiental

La rehabilitación ambiental es un tema en el que se requiere el conocimiento adquirido en gran variedad de materias: Química, Biología, Expresión Gráfica, Hidrología, Agua Subterránea, Geología, Ciencias del Suelo y Climatología, Ecología, Botánica, Topografía, Economía de los Recursos Naturales; Prácticas y Trabajos De Topografía; Paisajes Geográficos o Planificación y Medio Ambiente. Aunque con diferentes nombres, dichas materias tienen un eje común: la reposición de los grados de estructura y función ecológica de los ecosistemas perturbados, que pueden ser ecológicas o de ingeniería (Santamarta *et ál.*, 2015).

<sup>28</sup> El Instituto de Ingeniería cuenta con un Departamento de Ingeniería Ambiental con capacidades destacadas para la formación de recursos humanos a nivel de posgrado, así como para investigación orientada a la solución de problemas concretos.

Del análisis de la tecnología actual y perspectivas futuras del sector minero, se pueden resaltar que las habilidades que los profesionales deben dominar para potenciar la minería del futuro son:

- ▶ Identificar los problemas en términos de impactos ambientales y proponer soluciones adecuadas para su restauración.
- ▶ Tener la capacidad de integrar las actividades humanas y su impacto en el medio ambiente (colaborar para el desarrollo de procesos sostenibles).
- ▶ Diseñar acciones de rehabilitación para llegar a la restauración.
- ▶ Identificar y explicar principios ecológicos para la rehabilitación y restauración ecológica.
- ▶ Conocer los procesos de degradación que afectan los recursos y sistemas forestales, así como la capacidad de utilizar las técnicas para protegerlos, restaurar la hidrología y conservar la biodiversidad.

Aunque la base de la rehabilitación de zonas degradadas consiste en la restauración ecológica, también resultan de singular interés temas como: arquitectura paisajística, reforestación, tratamientos de suelos contaminados, agricultura y ganadería, entre otras áreas como parte de los temas y actividades periféricas que contribuyen a la reconstitución del ecosistema perturbado.

Los requerimientos futuros de las nuevas generaciones de capital humano en materia de gestión ambiental incluyen una planificación que profundice en los puntos de vista, inquietudes, aspiraciones, esfuerzos y conocimientos de diversos grupos de interés, tanto internos como externos, para alcanzar resultados que sean beneficiosos para la empresa en funcionamiento y la comunidad que la alberga. Es por ello que los requerimientos de personal a un plazo de 10 años estará enfocado en un manejo sólido de los siguientes aspectos (IPN, 2017):

- ▶ Medio ambiente
  - Componentes físicos, químicos y biológicos
  - Valores naturales, sociales y culturales
  - Transformación y conservación del medio
  - Degradación del medio
- ▶ Contaminación
  - Agua, aire, atmósfera, bosques, residuos urbanos e industriales
- ▶ Clima
  - Lluvia, viento
  - Luz solar
  - Deforestación
- ▶ Biología ambiental
  - Relación de especies con su entorno
  - Biodiversidad

- ▶ Gestión y planificación ambiental
  - Riesgo e impacto ambiental
  - Manejo integral de residuos
  - Planificación y economía ambiental
  - Seguridad e higiene industrial
  - Energías alternativas
  - Remediación
  - Legislación y política ambiental

## 4.3. Equipo y maquinaria minera

### 4.3.1. Formación en RH en equipo y maquinaria a nivel internacional

Cada universidad alrededor del mundo planea de diferente forma los mapas curriculares de las carreras en minería y metalurgia, considerando prioritariamente su industria nacional; sin embargo, países industrializados como China y Estados Unidos contemplan entre sus universidades áreas de conocimiento transversal (robótica, mecatrónica, mecánica y computación).

Las asignaturas especializadas que pueden considerarse como referente para identificar las brechas de conocimiento existentes en las universidades nacionales e internacionales y que, a su vez, satisfagan la demanda de conocimiento que el sector requerirá son:

- ▶ Gestión de Recursos y Planificación Ambiental
- ▶ Salud y Seguridad Ocupacional
- ▶ Análisis Costo-Beneficio y Evaluación de Proyectos
- ▶ Máquinas y Herramientas
- ▶ Mantenimiento de Maquinaria y Equipo
- ▶ Algoritmos y Estructuras de Datos
- ▶ Procesamiento de Señales Digitales, Sistemas y Control Automático y Aplicado
- ▶ Procesamiento de Imágenes, Visión por Computadora y Sistemas de Percepción (sensores)
- ▶ Modelado y Simulación
- ▶ Diseño de Circuitos Electrónicos
- ▶ Mecánica
- ▶ Tecnología e Innovación
- ▶ Construcción
- ▶ Supervisión

Los diferentes campos de conocimiento se identificaron a través de la consulta a bases de datos internacionales para identificar tendencias tecnológicas en maquinaria y equipo; explorando planes de estudio de las universidades nacionales e internacionales; y, entrevistas con expertos de la academia y la industria. A continuación, se presenta el *ranking* de cinco universidades destacadas en el campo de metal-mecánica en las carreras de minas y metalurgia:

Cuadro 4.8. Oferta de programas de posgrados relacionados con minería y metalurgia y carreras afines de cinco universidades mejor clasificadas a nivel mundial

Universidad/Programas
<p>Colorado School of Mines</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Master of Science (Civil and Environmental Engineering)</li> <li>Master of Science in Underground Construction and Tunneling (non-thesis)</li> <li>Master of Science in Underground Construction and Tunneling (thesis)</li> <li>Doctor of Philosophy in Underground Construction and Tunneling</li> </ul>
<p>Curtin University</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Master of Engineering Science (Metallurgy)</li> <li>Master of Science (Mineral and Energy Economics)</li> <li>Master of Engineering Science (Mining)</li> </ul>
<p>The University of Queensland</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Doctor in Environmental Management</li> <li>Master of Information Technology</li> <li>Master in Engineering Sc</li> <li>Electrical Engineering</li> <li>Master in Software Engineering</li> </ul>
<p>China University of Mining and Technology</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Master in Engineering Mechanics</li> <li>Master in Electronic Science and Technology</li> <li>Master in Geo-Exploration &amp; Information Technology</li> <li>Master in Computer Application Technology</li> </ul>
<p>Kunming University of Science and Technology</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Master of Science Program in the first level discipline Control Science and Engineering</li> <li>Master of Science Program in the first level discipline Computer Science and Technology</li> <li>Master of Science Program in the first level discipline Information and Telecommunication Engineering</li> <li>Master of Science Program in the first level discipline Electronic Science and Technologies</li> <li>Master of Science Program in the second level discipline Technologies and instruments of Testing and Measuring</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

A partir de las 15 asignaturas propuestas, se analizan, en el cuadro 4.9, los planes de estudio de las carreras en minas y metalurgia (y afines) de las cinco universidades seleccionadas del *ranking*.

Cuadro 4. 9. Oferta de los recursos de conocimiento de Ingeniería en Minas y Metalurgia y afines seleccionadas del ranking mundial

	Gestión de Recursos y Planificación Ambiental	Salud y Seguridad Ocupacional	Análisis costo-beneficio y evaluación de Proyectos	Máquinas y Herramientas	Mantenimiento de Maquinaria y Equipo	Algoritmos y Estructuras de Datos	Procesamiento de señales digitales y control automático aplicado	Procesamiento de imágenes, visión por ordenador y sistemas de percepción	Modelado y Simulación	Circuitos Electrónicos	Diseño	Mecánica	Tecnología e Innovación	Constitución	Supervisión
Ingeniería de minas (Colorado School of Mines, s.f.)															
Ingeniería en Minas (Curtin University, 2017)															
Ingeniería Minera (The University of Queensland, 2017)															
Minería (China University of Mining and Technology, 2017)															
Ingeniería en Procesamiento de Minerales (Kunming University of Science and Technology of International Education, 2017)															

Fuente: elaboración propia y QS (2017).

De manera general se identifica que existe una preocupación global relacionada con el cambio climático y por ello las universidades implementan, ya en sus mapas curriculares, asignaturas relacionadas a la gestión ambiental.



En cuanto a salud y seguridad, se puede distinguir una tendencia que tienen las instituciones occidentales respecto a contemplar al “recurso humano como prioridad”. Hablando de las TIC, la mayoría de las entidades académicas ya emplean dichas tecnologías como herramienta y método de enseñanza, lo cual sugiere una clara tendencia a corto y largo plazo.

Claudio Rodríguez, ingeniero en Minas y consultor de Downing Teal Chile, empresa dedicada a la búsqueda y selección de ejecutivos y profesionales del sector minero, explica que en Australia, Canadá y Estados Unidos están las escuelas que incorporan elementos relacionados con la minería como negocio y de la gestión del sector. Universidades como Queensland y Curtin liderean en Australia. En Canadá, Queen’s University, University of British Columbia y McGill University son las más nombradas. En Estados Unidos, la escuela que lleva la delantera para estudios de posgrado en minería es Colorado School of Mines (QS World University Rankings, 2017).

- ▶ Queensland University, ubicada en los alrededores de Brisbane, es una de las más prestigiosas universidades de Australia. Tiene un enfoque hacia la sustentabilidad y el medio ambiente, esta casa de estudios ofrece programas de gestión ambiental en la minería y gestión en recursos naturales, con una duración aproximada de tres semestres.
- ▶ Curtin University es otra de las más reconocidas de Australia y tiene programas de especialidad en distintas áreas como metalurgia, minerales y economía de la energía, orientados para quienes buscan el enfoque de gestión de negocios del sector minero. Estos programas tienen una duración promedio de entre 1.25 y 2 años.
- ▶ Queen’s University y la Universidad Laval son las preferidas de Canadá. Prestigio, minería propia y preocupación por el medio ambiente y la sustentabilidad son características que destacan en éstas. El principal énfasis está puesto en profesionales interesados por la extracción y producción, además de la gestión ambiental. Los programas de estas universidades son para aquellos interesados que buscan aprender temáticas sobre la administración y recuperación de los recursos minerales para contribuir a una sociedad sostenible.
- ▶ Colorado School of Mines es la líder en Estados Unidos para estudiar posgrados mineros. La importancia de la actividad minera que tuvo Colorado en el pasado y el foco de negocios y de tecnología que tienen los programas los hacen un referente a nivel mundial. Cuenta con posgrados que van desde especializaciones en ingeniería en minas, hasta doctorado en filosofía con mención en minería y sistemas energéticos terrestres.

Por otra parte, respecto a la tendencia tecnológica en bases de datos de patentes, los países que más desarrollo presentan son Estados Unidos, Australia y China, por ello, es importante abordar lo que están haciendo las dos universidades más importantes del país oriental:

- ▶ Universidad de Minería y Tecnología de China (China University of Mining and Technology). Clasificada como la mejor universidad de minería en China, cuenta con una gran reputación a nivel mundial en tecnología e investigación minera. En la mayoría de sus patentes destaca el desarrollo de dispositivos con capacidad de procesar imágenes a través de microprocesadores que reportan valores relacionados con la productividad, la eficiencia y la seguridad, aplicados a maquinaria de remoción y acarreo de material a nivel mina.

- ▶ Universidad de Ciencia y Tecnología de Kunming (Kunming University of Science and Technology). Centra sus desarrollos en ingeniería mecatrónica para equipos clasificadores de mineral de forma que a través de la optimización de las vibraciones y el uso de sensores y principios electromagnéticos se incrementa la eficiencia del proceso, por esto, es una alternativa a todo aquel profesional que desee cursar una maestría o doctorado relacionado a implementación de tecnología en procesos mineros.

En cuanto a número de patentes (más de 15,000 documentos), la empresa que más desarrolla tecnología en el área metalmecánica es *Caterpillar* (en vinculación con el Instituto de Tecnologías Energéticas e Innovate del Reino Unido, los laboratorios Sandia, Oak Ridge y Argonne, la NASA, el Foro de Tecnología Diésel, el Departamento de Energía en Estados Unidos y con la Agencia Ejecutiva de Investigación de la Unión Europea). Es posible capacitarse con ellos a través de su llamada Universidad Caterpillar, donde se ofrecen entrenamientos a personal de operación, capacitación al personal de servicio y a personal de seguridad (cursos en línea) (Caterpillar, 2017b).

### 4.3.2. Formación de RH en equipo y maquinaria a nivel nacional

En cuanto al análisis de los programas de universidades mejor calificadas en programas de minería y metalurgia a nivel nacional y en Zacatecas (SE, 2017), se estudiaron las propuestas de materias de especialidad en la formación de recursos humanos mineros con enfoque metal-mecánico en las instituciones que se refieren en el cuadro 4.10.

Cuadro 4. 10. Oferta de programas de posgrados relacionados con minería y metalurgia y carreras afines de cinco universidades mejor clasificadas a nivel nacional

Universidad/Programas
<p><b>Universidad Autónoma Metropolitana</b></p> <p>Maestría en Ciencias e Ingeniería (Ambientales)  Maestría en Energía y Medio Ambiente  Maestría en Ciencias en Salud de los Trabajadores  Maestría en Ciencias de la Computación  Maestría en Optimización  Maestría en Ciencias y Tecnologías de la Información  Doctorado en Ciencias e Ingeniería (Ambientales)  Doctorado en Ciencias y Tecnologías de la Información  Doctorado en Energía y Medio Ambiente  Doctorado en Optimización</p>
<p><b>Universidad Nacional Autónoma de México</b></p> <p>Maestría y doctorado en Ingeniería Ambiental (agua, aire, residuos sólidos, suelo y aguas subterráneas, sustancias y residuos peligrosos)  Maestría en Ciencias de la Computación  Maestría y doctorado en Ingeniería Mecánica (diseño mecánico, mecánica aplicada, metalmeánica, mecatrónica, termofluidos, ingeniería automotriz)  Maestría y doctorado en Ingeniería Civil (análisis y diseño de túneles y obras subterráneas, tecnología de la construcción, ingeniería sísmica, estructuras de acero, estructuras de concreto)  Maestría y doctorado en Ingeniería Eléctrica (control, instrumentación, procesamiento digital de señales, sistemas eléctricos de potencia, sistemas electrónicos, telecomunicaciones)  Maestría y doctorado en Energía (geotermia, solar fototérmica, solar fotovoltaica, economía de la energía, energía y medio ambiente, procesos y uso eficiente de energía, sistemas nucleoelectrónicos)  Maestría y doctorado en Ingeniería en Exploración y Explotación en Recursos Naturales (exploración, perforación, producción, yacimientos)  Maestría y doctorado en Ingeniería Química (corrosión, metalurgia, polímeros, ingeniería de procesos, ingeniería, innovación y administración de la tecnología)  Maestría y doctorado en ingeniería de Sistemas (ingeniería industrial, investigación de operaciones, planeación, transporte)  Maestría y doctorado en Ingeniería Eléctrica (procesamiento digital de señales)  Maestría y doctorado en Ciencia e Ingeniería de la Computación (teoría de la computación, ingeniería <i>desoftware</i> y bases de datos, inteligencia artificial, ingeniería de sistemas y redes computacionales, señales, imágenes y ambientes virtuales)  Maestría y doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales  Maestría y doctorado en Ciencias de la Tierra (geofísica de la tierra sólida, geología, ciencias ambientales y riesgos)  Maestría y doctorado en Ciencias de la Sostenibilidad (sistemas energéticos)</p>
<p><b>Instituto Politécnico Nacional</b></p> <p>Maestría en Ciencias de la Computación  Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones  Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica  Maestría y doctorado en Ciencias en Ingeniería Mecánica  Maestría en Ciencias en Ingeniería Microelectrónica  Maestría y doctorado en Ciencias en Sistemas Digitales  Maestría en Ciencias en Informática  Maestría en Ciencias en Sistemas Computacionales Móviles  Maestría en Ingeniería en Aeronáutica opción: mantenimiento y producción  Maestría y doctorado en Ciencias en Ingeniería Eléctrica  Maestría en Ciencias en Ingeniería Metalúrgica  Maestría en Ciencias en Seguridad y Tecnología de la Información  Maestría en Ingeniería de Manufactura  Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental  Maestría y doctorado en Tecnología Avanzada</p>

Fuente: SE (2017).

Se analizan, en el cuadro 4.11, los planes de estudio (15 asignaturas) de las carreras en minas y metalurgia (y afines) de las cinco universidades seleccionadas del *ranking*.

Cuadro 4.11. Oferta de los recursos de conocimiento de Ingeniería en Minas y Metalurgia y afines seleccionadas del *ranking* Nacional

	Gestión de Recursos y Planificación Ambiental	Salud y Seguridad Ocupacional	Análisis costo-beneficio y evaluación de proyectos	Máquinas y Herramientas	Mantenimiento de Maquinaria y Equipo	Algoritmos y Estructuras de Datos	Procesamiento de señales digitales y control	Procesamiento de imágenes, visión por ordenador	Modelado y Simulación	Circuitos Electrónicos	Diseño	Mecánica	Tecnología e Innovación
Universidad Nacional Autónoma de México Ingeniería en minas y metalurgia (Consejo de la Facultad de Ingeniería, UNAM, s.f.)	■	■	■			■		■	■		■	■	
Instituto Politécnico Nacional Ingeniería en Metalurgia y Materiales	■	■	■	■		■	■	■	■	■		■	■
Universidad Autónoma de Zacatecas Ingeniería Minera Metalurgista	■	■	■			■		■	■		■	■	■
Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo Ingeniería en Minas	■		■	■		■	■	■	■	■	■	■	■
Universidad Autónoma Metropolitana Ingeniería metalúrgica (UAM Azcapotzalco, 2017)	■	■	■	■				■	■		■	■	

Fuente: elaboración propia con datos de la SE (2017).

De acuerdo con Quacquarelli Symonds y datos arrojados por la Secretaría de Economía, la **Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)** encabeza la lista como el mejor sitio para estudiar diferentes carreras relacionadas con equipo y maquinaria minera, por ejemplo: Ingeniería Mecánica y de Manufactura, Ingeniería Industrial, Ingeniería Eléctrica-Electrónica, así como ciencias de la computación entre otras. De hecho, para el *ranking* de Quacquarelli Symonds, la UNAM es la universidad número 16 a nivel mundial con la mejor formación en minas y metalurgia y, es la mejor universidad en toda América Latina.

Las carreras de ingeniería de la UNAM cuentan con el aval del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, AC. La UNAM también destaca en otros programas de estudio relacionados con las tecnologías identificadas como tendencia en el desarrollo de maquinaria y equipo, principalmente en carreras del área de las TIC. A continuación, se enlistan las carreras transversales que imparte esta casa de estudios y se destacan las asignaturas enfocadas al manejo, desarrollo y mantenimiento de equipo:

### Ingeniería Industrial

- ▶ Automatización Industrial
- ▶ Sistemas de Transporte
- ▶ Diseño de Elementos de Máquinas
- ▶ Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora
- ▶ Ingeniería Automotriz

### Ingeniería Mecánica

- ▶ Automatización Industrial
- ▶ Circuitos Digitales
- ▶ Diseño y Manufactura Asistido por Computadora
- ▶ Máquinas Eléctricas
- ▶ Ingeniería de Diseño
- ▶ Ingeniería Asistida por Computadora
- ▶ Diseño de Herramental
- ▶ Turbomaquinaria
- ▶ Sistemas Termoenergéticos
- ▶ Dinámica de Maquinaria
- ▶ Diseño de Elementos de Máquinas
- ▶ Instrumentación y Control
- ▶ Electrónica Básica
- ▶ Modelado de Sistemas Físicos
- ▶ Sistemas de Compresión de Energía Térmica

### Ingeniería Mecatrónica

- ▶ Acústica y Óptica
- ▶ Automatización Avanzada
- ▶ Control Aplicado
- ▶ Control Avanzado
- ▶ Dinámica de Maquinaria
- ▶ Ingeniería de Diseño
- ▶ Instalaciones Industriales

- ▶ Inteligencia Artificial
- ▶ Introducción a Sistemas no Lineales
- ▶ Sistemas de Manufactura Flexible
- ▶ Sistemas de Mejoramiento Ambiental
- ▶ Biomecánica
- ▶ Diseño Mecatrónico
- ▶ Máquinas Eléctricas
- ▶ Instrumentación
- ▶ Control Automático
- ▶ Diseño de Elementos de Máquinas
- ▶ Sistemas Electrónicos Lineales
- ▶ Circuitos Digitales
- ▶ Programación
- ▶ Técnicas de Programación
- ▶ Modelado de Sistemas Físicos
- ▶ Electrónica Básica
- ▶ Análisis de Circuitos
- ▶ Ingeniería Automotriz I y II
- ▶ Sistemas Termoenergéticos
- ▶ Robótica
- ▶ Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora
- ▶ Automatización Industrial

Como se observa, la UNAM cuenta con planes de estudios directamente enfocados a las TIC y cumplen de forma adecuada con los requerimientos futuros en competencias tecnológicas y actitudes que den respuesta a los nuevos modelos y concepciones de la industria minera, por esto, se coloca a la cabeza en la lista de universidades en México hacia la enseñanza en procesos productivos.

Por otra parte, en cuanto a las materias contempladas en los planes de estudios de aquellas entidades académicas zacatecanas de educación superior que imparten carreras transversales relacionadas con equipo minero se encuentran:

### **Ingeniería en Sistemas Computacionales (Instituto Politécnico Nacional-Campus Zacatecas)**

- ▶ Inteligencia Artificial
- ▶ Automatización de Procesos
- ▶ Sistemas Embebidos
- ▶ Simulación
- ▶ Análisis de Algoritmos
- ▶ Control Automatizado
- ▶ *Big Data*
- ▶ Programación

### **Ingeniería Mecatrónica (IPN-Campus Zacatecas)**

- ▶ Análisis de señales y sistemas
- ▶ Circuitos Lógicos

- ▶ Máquinas Eléctricas
- ▶ Autómatas Industriales
- ▶ Sistemas Operativos en Tiempo Real
- ▶ Tópicos Avanzados de Sensores
- ▶ Diseño Avanzado y Manufactura Asistida por Computadora
- ▶ Protocolos Avanzados de Comunicaciones
- ▶ Tópicos Avanzados de Electrónica
- ▶ Automatización de Línea de Producción
- ▶ Control Distribuido
- ▶ Uso y Mantenimiento de Herramental para Procesos de Manufactura
- ▶ Producción más Limpia

Actualmente los egresados del Instituto Politécnico Nacional-Campus Zacatecas están capacitados para el análisis y procesamiento de la información, automatización de procesos, procesos de simulación o identificación de diferentes procesos a partir de la programación y análisis de algoritmos, así como para el mantenimiento y manejo de sistemas. Otras instituciones con carreras relevantes en el área de maquinaria y equipo minero son:

#### **Ingeniería Industrial (Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo)**

- ▶ Electricidad y Electrónica Industrial
- ▶ Metrología y Normalización
- ▶ Simulación
- ▶ Algoritmos y Lenguajes de Programación

#### **Ingeniería en Sistemas Computacionales (Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo)**

- ▶ Programación Orientada a Objetos
- ▶ Estructura de Datos
- ▶ Sistemas Operativos
- ▶ Aplicaciones Digitales
- ▶ Ingeniería de *Software*
- ▶ Administración de Redes
- ▶ Inteligencia Artificial
- ▶ Lenguajes y Autómatas

#### **Ingeniería Electrónica (Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo)**

- ▶ Programación Estructurada
- ▶ Circuitos Eléctricos
- ▶ Diseño Digital
- ▶ Diodos Y Transistores
- ▶ Microcontroladores
- ▶ Optoelectrónica
- ▶ Control Digital
- ▶ Máquinas Eléctricas

Finalmente, más allá del estado de Zacatecas y la zona de influencia del Clusmin, una universidad que también sobresale a nivel nacional por la formación de sus estudiantes en áreas relacionadas con equipo y maquinaria minera es la Universidad Autónoma de Nuevo León. Algunas carreras que sobresalen para fortalecer las áreas transversales son las carreras de Ingeniería en Electrónica y Automatización, Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, Ingeniería Mecánica Electricista, Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería en Tecnología de *Software*.

De esta manera es posible identificar las universidades líderes en México y la formación que se está otorgando a los futuros profesionales mineros que apoyarán la revolución de los distintos procesos productivos, encaminados en gran medida al incremento en el empleo de la tecnología digital.

### 4.3.3. Requerimientos de RH para atender las tendencias tecnologías en el área de equipo y maquinaria

El resultado del análisis de tendencias tecnológicas a nivel mundial en el sector minero, evidencia los cambios en los sistemas de equipo y maquinaria que derivan en la demanda de nuevas capacidades en el capital humano que desempeñará las tareas que requiere el sector, por ejemplo:

- ▶ Avances tecnológicos que inciden en el campo laboral (equipo y maquinaria).
- ▶ Aparición de productos y servicios como consecuencia de la evolución de la tecnología (tendencias tecnológicas aplicadas a equipo minero).
- ▶ Versatilidad profesional que propicie desarrollarse en diversos campos y con diferentes profesiones (proveedores de servicios, especialistas).
- ▶ Apertura a las diferentes culturas y formas de pensar al dominar uno o más idiomas (maquinaria procedente de diversas partes del mundo).

De manera complementaria, será necesario contar con nociones en **hidráulica, mecánica automotriz, reparación, diseño y mantenimiento de maquinaria, motores eléctricos y de combustión interna, programación, automatización, control, circuitos digitales y modelado**. Este tipo de conocimiento será requerido dado que la creciente demanda de metales a nivel mundial permite cada vez menos márgenes de error, lo que se traduce en improductividad, la cual se presenta en épocas de paros por reparación y mantenimiento de instalaciones y equipo. A continuación, se señala una serie de conocimientos a nivel muy básico a cubrir en la perspectiva metal-mecánica hacia los próximos 10 años (Conalep, 2017):

- ▶ Motores
  - Manejo de Herramienta y Equipo Automotriz
  - Reparación de Motores de Combustión Interna
  - Diseño Avanzado y Manufactura Asistida por Computadora
- ▶ Tipos de Sistema
  - Sistemas de Lubricación
  - Sistemas de Frenos
  - Sistemas de Suspensión
  - Sistemas de Dirección
  - Sistemas Electrónicos
  - Sistemas de Transmisión



- Sistemas de Inyección Electrónica
- Sistemas de Compresión de Energía Térmica

▶ Mecatrónica Automotriz

- Diagnóstico y Servicio a Sistemas del Motor a Gasolina
- Sistemas Mecatrónicos Automotrices
- Vehículos Eléctricos
- Máquinas Eléctricas
- Ingeniería de Diseño
- Ingeniería Asistida por Computadora
- Turbomaquinaria
- Dinámica de Maquinaria

▶ Electrónica Básica

- Electricidad y Electrónica Industrial
- Metrología y Normalización
- Algoritmos y Lenguajes de Programación
- Simulación

▶ Sustentabilidad

- Control de Emisiones

▶ Producción

- Selección Adecuada de Equipos
- Almacén y Logística
- Documentación y Recopilación de Datos
- Sistema de Comunicaciones Efectivo

▶ Ingeniería en Sistemas Computacionales

- Estructura de Datos
- Actuadores y Sensores
- Aplicaciones Digitales
- Lenguajes y Autómatas
- Ingeniería de *Software*
- Administración de Redes
- Inteligencia Artificial

## Conclusiones

En 2011 el Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencia Laborales (Conocer), con el fin de detectar las necesidades intersectoriales y contar con información para alinear la oferta educativa a los requerimientos de la demanda laboral, puso en marcha un estudio exploratorio de las opiniones, actitudes y valores de los 443 perfiles ocupacionales, mediante 17,490 entrevistas en el lugar de trabajo. El estudio es un compendio de los conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes, hábitos y valores que deben tener los diferentes perfiles laborales por sector para fortalecer las competencias laborales en México. Para el sector minero se emitió un reporte de conocimientos transversales que complementan la formación académica de los jóvenes profesionales y los capacitan para superar las barreras a las que el sector se enfrenta día con día. Las capacidades a resaltar son las siguientes:

- ▶ Administración de proyectos
- ▶ Operación de maquinaria y equipo
- ▶ Toma de decisiones
- ▶ Trabajo en equipo y seguridad (prevención de riesgos)
- ▶ Orientación a la calidad
- ▶ Uso de herramientas de trabajo
- ▶ Valores personales
- ▶ Comunicación con los compañeros
- ▶ Responsabilidad profesional
- ▶ Dominio de conocimientos específicos
- ▶ Incorporación de las tecnologías de la información como herramienta de trabajo

La tendencia principal de la industria, a nivel mundial es la digitalización por el uso creciente de las TIC en el sector productivo.

Respecto al objetivo de reforzar la rentabilidad y productividad, las áreas de interés de mayor relevancia tienen que ver con la automatización, control remoto de operaciones, uso de la inteligencia artificial e Internet de las cosas, como grandes tendencias. Entre los objetivos a alcanzar se encuentran: tener procesos altamente automatizados con menor participación de la fuerza humana en procesos complejos y riesgosos para optimizar los resultados con la más alta calidad y en el menor riesgo. Otro reto es el manejo de grandes volúmenes de información, es decir, contar con una industria que tenga la capacidad para el manejo de grandes bases de datos para utilizarse en una mejor toma de decisiones.

En el ámbito de gestión ambiental, será necesario el desarrollo de herramientas de monitoreo de procesos que aseguren “cero derrames”, detección de fugas en tiempo real, aumento en la capacitación de emisión y mitigación de daños y el desarrollo de procesos de alta eficiencia. El uso de sustancias tóxicas también se verá reducido y el cálculo de insumos químicos será cada vez más eficiente.

Para alcanzar el avance tecnológico que demanda el sector se requiere desarrollar cuerpos académicos con formación en los campos del conocimiento de interés, como inteligencia artificial, *machine learning* y ciencia de datos, comunicación hombre máquina, internet de las cosas, entre otros. Es recomendable financiar los estudios de profesores para que se cursen programas de posgrado en el extranjero, a nivel internacional resalta la Universidad de Carnegie Mellon, Queensland University o Queen’s University, por los diversos enfoques de sus programas, con universidades mexicanas con programas en el Programa Nacional de Posgrado de Calidad se pueden hacer convenios con aquellas cuyos programas empaten con el plan de desarrollo de capacidades delineado para el desarrollo del sector.

## Anexo 4.1. Tendencias tecnológicas en las TIC identificadas en el estado del arte

Las siguientes es una breve descripción de cada una de las distintas tecnologías que muy probablemente impactarán positivamente al sector minero de los próximos años, para cada una se mencionan los posibles usos en la cadena de valor de este sector industrial.

### Interfaz háptica

La comunicación háptica o kinestésica recrea el sentido del tacto mediante la aplicación de fuerzas, vibraciones o movimientos al usuario. Esta estimulación mecánica puede utilizarse para ayudar a la creación de objetos virtuales en una simulación por computadora, controlar tales objetos virtuales y mejorar el control remoto de máquinas y dispositivos. Los dispositivos hápticos pueden incorporar sensores táctiles que miden las fuerzas ejercidas por el usuario en la interfaz y viceversa. Estos sistemas podrían implementarse por medio de dispositivos que replican el sentido del tacto a través de motores u otros elementos electrónicos o mecánicos. Ello permite que, por ejemplo, el operador de una retroexcavadora pueda sentir el efecto de encontrarse con un material de diferente densidad o un obstáculo y aplicar medidas correctivas inmediatas, basadas en su experiencia (Hou, 2016).

Otro tipo de aplicación sería la concerniente a la capacidad de recibir avisos acerca de diferentes condiciones ambientales, sin necesidad de mantener o distraer la atención principal de un sujeto. Esto se está implementando de manera extensiva en la industria de la salud y los deportes, ya que actualmente se cuenta con relojes o pulseras que, a través de vibraciones, pueden alertar al usuario de diferentes condiciones como son: frecuencia cardiaca, distancia, tiempo. En la industria de minería, esto podría significar un incremento en la seguridad para el trabajador, ya que un accesorio con interfaz háptica (*wearable*) como un casco, un chaleco o una pulsera, que reciba señales de diferentes sensores de *Internet of Things* (IoT por sus siglas en inglés) montados en el ambiente de producción (por ejemplo, sensores de gases tóxicos o venenosos, sensores de velocidad en montacargas, sensores de presencia en retroexcavadoras), podría alertar al usuario de diferentes condiciones peligrosas para él, de manera que se tomen acciones preventivas con mayor celeridad.

### Despliegue holográfico (monitores, pantallas, TV, sistemas de proyección)

Esta tecnología tiene la capacidad de identificar distancias entre dos puntos con una alta exactitud, ya sea para manipulación o simplemente para ver conjuntos de datos complejos y permitir evaluar la distancia relativa en un volumen tridimensional. Las pantallas holográficas proporcionan todas las señales visuales que asemejan la realidad, a diferencia de las pantallas estereoscópicas donde los ojos siempre se centran en la distancia a la pantalla.

Permite desplegar la información de diferentes fuentes en tercera dimensión (profundidad, largo y ancho) sin necesidad de aditamentos especiales y con la posibilidad de interactuar con la proyección, y de analizar la información de forma más natural y precisa. Lo anterior permitiría planificar mejor los sitios de excavación en el caso de una mina a cielo abierto, o la ubicación de los túneles y rutas de salida de material en una mina cerrada, así como el análisis de prospectos de excavación, con la capacidad de apreciar los diferentes tipos de mineral, las capas rocosas y otra información geológica relevante que haya sido capturada o reunida a través de otras fuentes (satelital, en campo, fotográfica, de sensores profundos) de una manera completa y con una interfaz que sea intuitiva. Se prevé que esta tecnología esté disponible para el mercado de consumo dentro de los próximos 10 años (Huawei, 2017).

### **Transportación autónoma (*Autonomous Haulage Systems*)**

Un transporte autónomo es un vehículo capaz de detectar su entorno y navegar sin interacción humana. Los vehículos autónomos utilizan varias técnicas para detectar su entorno, entre las que se encuentran radar, luz láser, GPS, odometría y visión por computadora. Estos equipos cuentan con avanzados sistemas de control que interpretan la información que se obtiene de los sensores con el objetivo de identificar las vías de navegación apropiadas, así como los obstáculos y la señalización pertinente.

Los sistemas de inteligencia a bordo permiten que estos vehículos “decidan” cómo navegar en el área de trabajo prescrita y realizar las tareas asignadas. Un camión de transporte autónomo, por ejemplo, puede seguir un carril asignado a través de un mapa en constante cambio de la mina o elegir el mejor camino desde donde se encuentra actualmente (Caterpillar, 2017a). De acuerdo con reportes de compañías que han empezado a utilizar esta tecnología, se pueden lograr ahorros de hasta 15% contra vehículos manejados por conductores humanos, lo cual es bastante significativo ya que el transporte de mineral es, por mucho, el costo más alto en una operación de minería, además de que puede implementarse de manera más rápida en este ambiente (el minero) debido a que está bastante más regulado y confinado que una aplicación en calles de ciudades (Simonite, 2017).

En general, éste es un elemento de tendencia creciente a incrementar el grado de automatización en las operaciones mineras, ya que se habla no sólo de equipo de transporte automatizado, sino también de excavadoras, perforadoras y equipo de exploración autónomo. Un ejemplo de tal tendencia sería el programa “Mine of the Future” de la compañía Rio Tinto (Rio Tinto, 2017).

### **Comunicación inalámbrica de alta capacidad (*Wireless Broadband*)**

Es un conjunto de tecnologías inalámbricas que permiten la transmisión de grandes cantidades de datos en una huella geográfica amplia, lo cual posibilita que haya intercambio de información a pesar de las condiciones que se encuentran en un ambiente de minería, como son la falta de línea de vista (LOS: Line of Sight), la misma topografía o el alcance necesario para cubrir grandes extensiones de terreno.

Actualmente su principal representante es LTE (*Long Term Evolution*, conocido también como 4G), que, aunque típicamente se utiliza por las compañías telefónicas para ofrecer capacidad de transmisión de grandes cantidades de datos en ambientes metropolitanos, también es una excelente opción para ser implementada de manera privada en ambientes de minería.

Una de las principales ventajas de la implementación de este tipo de redes de comunicaciones inalámbricas en un ambiente de minería es que la posibilidad del despliegue (y las ventajas) del Internet de las cosas que, como se expondrá, es una red compuesta de diferentes tipos de sensores (toxicidad, explosividad, humedad, acidez, velocidad, presión, posición geográfica, aceleración, peso, densidad, presión atmosférica, revoluciones por minuto, por mencionar algunas variables que pueden medirse) incrustados en el ambiente, en la maquinaria y en los mismo usuarios, que pueden proporcionar una gran cantidad de datos respecto de las condiciones ambientales, de operación y de seguridad en un ambiente minero.

## Internet de las cosas (*Internet of Things, IoT*)

Es un término creado por Kevin Ashton para describir un sistema donde Internet y el mundo físico están conectados entre sí, a través de sensores (ITU, 2017b). La IoT hace uso completo de las cosas para ofrecer servicios a toda clase de aplicaciones, a través de la explotación de la identificación, la captura de datos, las capacidades de procesamiento y comunicación, mientras que asegura que se cumplan los requerimientos de seguridad y privacidad sobre la información.

Se espera que IoT integre extensivamente varias tecnologías líderes actuales y futuras tales como comunicación avanzada de máquina a máquina, *autonomic networking*, *data mining* y toma de decisiones, protección de la seguridad y la privacidad, así como *cloud-computing* (ITU, 2017a).

De acuerdo con Prasanna Venkatesaan, líder de negocios para IoT de CISCO, las compañías mineras están desplegando cada vez más soluciones IoT para mejorar sus entornos operativos. Estas soluciones van desde métodos de análisis usando *Big Data* para determinar con mayor certeza los ciclos de mantenimiento predictivo del equipo de producción, pasando por la supervisión digital de dispositivos para la seguridad operacional, hasta incluir los controles de ventilación en minas, en un esfuerzo para reducir los costos y su huella energética.

Como se ha definido la esencia del IoT es la conectividad, los datos y el análisis. Las operaciones de muchas compañías mineras se extienden de pozo a puerto, donde para realizar las operaciones se usan máquinas que van desde simples a complejas y dependen de los trabajadores que pasan tiempo bajo tierra y en oficinas con aire acondicionado.

¿Qué oportunidades podrían tener estas empresas si todo estuviera conectado (por ejemplo, personas y activos)?, ¿y si tuvieran los medios para generar y analizar datos de todo tipo y de todas estas fuentes? (MaRS, 2014).

## **AnalyTIC, Big Data y Cloud Computing**

Se refiere a las técnicas especialmente creadas para el tratamiento de grandes volúmenes de datos, que son generadas por diversas fuentes (por ejemplo, sensores conectados maquinaria), con el objetivo de obtener información y poder ayudar en el proceso de toma de decisiones, ya que permite encontrar patrones, tendencias, correlaciones y predicciones que no son evidentes, las cuales no se podrían haber encontrado a menos que se analizaran precisamente grandes cantidades de datos.

Los retos para el tratamiento de estos grandes volúmenes de datos se encuentran en la captura, el almacenamiento, el análisis, la recuperación de datos, la búsqueda, el intercambio, la transferencia, la visualización, la consulta, la actualización y la privacidad de la información generada.

Las operaciones mineras se han vuelto más centradas en los datos que nunca. El personal de operaciones de las minas necesita abordar una gran cantidad de datos a la vez: datos geológicos, información de control de mineral, datos meteorológicos y condiciones de operación de las máquinas de minería, mientras que los analistas de negocios de la oficina corporativa rastrean los datos económicos y de comercio de *commodities* pertinentes (Nokia, 2016).

## Anexo 4.2. Tendencias tecnológicas en gestión ambiental identificadas en el estado del arte

A continuación, se presentan las tendencias tecnológicas identificadas en el estado del arte en los temas de mayor relevancia para la gestión ambiental en el sector minero.

### Tecnologías para el tratamiento de drenaje ácido

Existe un desafío tecnológico para desarrollar nuevos métodos que aseguren: una remediación de los suelos y aguas subterráneas ácidas y alcalinas que sean eficientes y rentables, así como la inmovilización adecuada de los contaminantes posterior a la neutralización. Por ejemplo, existe una concentración importante de nuevos desarrollos tecnológicos enfocados al tratamiento de aguas residuales provenientes de extracción de hidrocarburos.

Entre los principales desafíos se encuentra el uso de agentes iónicos neutralizantes, donde destaca la aplicación de sodio y calcio. Otros retos son la incursión de las TIC para la predicción y desarrollo de métodos preventivos, así como la aplicación de agentes biológicos para la regeneración de cuerpos de agua y suelo contaminados.

La investigación en tecnologías se direccionan al desarrollo de estrategias para la prevención de contaminación por desechos durante la operación de una mina, como el tratamiento *in situ* de colas. Por ejemplo, la patente con número US20090184058A1 se refiere a un método para la remediación de aguas subterráneas contaminadas con ácido o base acuosa, el cual comprende inyectar una suspensión en el suelo de las regiones que permitan el contacto entre el agua contaminada y la suspensión para la formación de una capa doble alcalina. Además del tratamiento de agua subterránea, este método es útil para estabilizar y remediar materiales de desecho, así como para proteger el suelo de residuos de lixiviaciones y posibles fugas de tuberías y tanques de almacenamiento. Este método no requiere excavación, lo que limita las perturbaciones o daños ambientales y minimiza el impacto estético.

### Tratamiento y prevención de suelo contaminado

Entre las tecnologías emergentes relacionadas con el tratamiento y prevención de contaminación se encuentra el repoblamiento de la superficie con flora y fauna capaces de adaptarse y sobrevivir a la región con las condiciones establecidas por la explotación del terreno.

La tendencia principal se enfoca al tratamiento de suelos mediante el uso de plantas que remuevan metales, así como a través de la acción fúngica; no obstante, también se identificaron propuestas con el uso de bacterias, principalmente del género *Bacillus*.

Otro aspecto de relevancia son los registros que presentan métodos encaminados al tratamiento de aguas subterráneas empleando procedimientos directos en el suelo que serán filtrados a los cuerpos de agua.

Ejemplo de tales desarrollos son el registro US199829941A que propone la aplicación de plantas modificadas con capacidad aumentada para la acumulación de metales, metaloides, complejos metálicos y organometálicos. Por su parte, la Universidad de Georgia recientemente ha patentado un método para el desarrollo de moléculas de ADN recombinante que produzcan plantas transgénicas tolerantes a iones de metales pesados, las cuales pueden ser aplicadas en la fitorremediación de suelos y agua (US2003450731A). El uso de estas tecnologías requiere permisos de liberación de organismos genéticamente modificados.

## Tratamiento de residuos sólidos

El tratamiento de los desechos sólidos mineros representa uno de los mayores desafíos en materia de diseño y costos de un cierre minero, por lo que demandan especial atención.

El futuro de las tecnologías se relaciona con tratamiento de agua residual y se encamina hacia técnicas de separación (extracción por disolventes, membranas, absorción, separación de gases/vapores, etc.) y regeneración de suelos contaminados.

## Anexo 4.3. Tendencias tecnológicas en equipo y maquinaria identificadas en el estado del arte

### Tecnologías de trituración de minerales

Con la finalidad de incrementar la eficiencia y reducir el gasto energético de los procesos de reducción de tamaño de minerales, actualmente se estudian distintos métodos de fractura de roca, para lo cual tienen lugar modificaciones en la geometría de los equipos de trituración. Entre tales métodos figuran nuevas tecnologías que llevan a cabo la rotura del material en un cilindro que utiliza la energía de vibración de un motor de combustión interna. Estos nuevos métodos permiten el proceso de desprendimiento de los gránulos del mineral de una manera sencilla, lo que propicia mejorar la eficiencia de la fractura y reducir los costos de operación.

Por otra parte, nuevos sistemas de trituradoras de cono emplean sistemas hidráulicos “*Fail Safe*” para asegurar la protección contra la sobrecarga mecánica. Otra característica de seguridad es el sentido anti horario de rotación de la campana o cono durante la acción de trituración, con ello se evita que la máquina apriete la marcha si llega a fallar el sistema de freno (trituradora de cono modelo Raptor, FLSmidth) (FLSmidth Group, 2017). En la actualidad no debe existir el riesgo de que la maquinaria se ponga en marcha accidentalmente o de que continúe funcionando después de que el operador haya soltado los medios de presión, por lo cual esta clase de equipo cuenta con diversos mecanismos de arranque y parada manuales.

### Tecnologías de molienda de minerales

La cinética de liberación de partícula está afectada por diversas variables, tales como la velocidad del molino, el medio de molienda, la dureza misma de la roca y el tipo de proceso, en seco o vía húmeda, principalmente. Debido a tal situación se diseñan novedosos y útiles métodos y sistemas a fin de procesar materiales heterogéneos. Un desarrollo tecnológico destacable es el que comprende el arrastre de partículas de mineral a través de la corriente de un fluido, el cual debe pasar por al menos una boquilla ajustable que resultará en la formación de una zona de ablación (arrastre de tierra y rocas efectuado por los ríos, vientos, olas, etc.) y con esto pre-clasifica el material previo a la alimentación del molino aprovechando su naturaleza heterogénea y procesa mayor cantidad de valores, dejando de lado material estéril e incrementando el rendimiento del proceso.

Otra tendencia son los circuitos de pre-molienda en los que se contemplan dos etapas, la primera se compone de dos elementos de molienda a diferentes velocidades que permiten liberar gran cantidad de partículas que son enviadas a celdas de flotación sin tener que pasar por un equipo de molienda, y aquellas partículas que no fueron liberadas

entran al circuito de molinos que contemplan la segunda etapa. Esta configuración de dispositivos reduce el consumo de energía y se minimiza el daño al medio ambiente. Se consigue una operación simultánea de ambos molinos, de manera que se lleva a cabo un procesamiento de mineral muy rápido y eficiente.

### **Tecnologías en flotación de minerales**

Los sistemas de flujo de aire para las celdas de flotación resultan efectivos cuando los reactivos que se agregan son altamente selectivos, sin embargo, este proceso muchas veces entrega bajos rendimientos y es por esto por lo que las miradas han volteado a sistemas que no requieran de aireación y resulten rentables. Diversas aportaciones prometen ser tendencia y se prueban en laboratorios de compañías proveedoras de servicios a unidades mineras, entre ellas hay sistemas y métodos para retirar partículas estériles muy finas dispersas en el fluido de descarga de la celda, el cual se deposita en tanques espesadores o de tratamiento de residuos. Un sistema que destaca es el uso de un cordón con cuentas o moléculas hidrofóbicas también llamadas “burbujas sintéticas” que atraen hacia su superficie mineral hidrofóbico contenido en la mezcla acuosa del tanque de flotación. El cordón sintético proporciona una mejor manera de separar material valioso de material no deseado, con el fin de eliminar problemas asociados con el uso de burbujas de aire en tal proceso de separación.

### **Tecnología en equipo de flotación de minerales**

Cuando la configuración física del equipo es modificada, el resultado se puede traducir en mayor eficiencia, lo que deriva en reducción de costo por operación; dada esta circunstancia se han pensado diferentes formas de modificar los diseños. Algunos ajustes tecnológicos que permitirán, en un futuro cercano, ahorros significativos sin tener que cambiar totalmente de equipo son, por ejemplo: la instalación de un equipo secundario a una celda de flotación que suministra un reactivo colector compuesto por un conjunto de moléculas con un grupo funcional de siliconas para atraer las partículas minerales de interés a la superficie de recolección, las cuales forman, a su vez, una cinta transportadora que es impulsada a través del área de recolección, de tal manera que el aparato puede recoger eficazmente partículas minerales hidrofóbicas de la suspensión de una, y representa una alternativa al proceso tradicional que contempla un flujo de aire para la formación de burbujas.

### **Tecnología de clasificación en tamices**

En la etapa posterior a la molienda, los equipos clasificadores seleccionan las partículas que han sido liberadas; entre los nuevos equipos destaca el clasificador de espiral que puede presentarse en una amplia gama de diámetros de espirales, formas de tanques y longitudes. Anteriormente estos equipos contemplaban tiempos de vida útil muy cortos debido al tipo de servicio que brindan (cíclico), ahora es posible sustituir aquel componente afectado y así conseguir una reducción de costo de operación y mantenimiento (modelo E, Wemco) (FLSmidth Group, 2017).

Nuevos procedimientos para el monitoreo de pantallas de cribado aumentarán la eficiencia de proceso. Estos métodos implican la incorporación de etiquetas de identificación legibles de forma inalámbrica en componentes de una criba e instalación de una estación de detección de etiquetas inalámbricas. El material transportado se lee regularmente para detectar restos de criba comparando la información detectada con una base de datos de ordenador. Se comunica una advertencia de que un componente de la cubierta de la criba viaja con el material clasificado, donde la detección de etiquetas y la comunicación de



advertencia se producen en tiempo real. El método permite evitar la contaminación del mineral con materiales de gran tamaño sin afectar el proceso de producción ni comprometer la funcionalidad normal de la criba.

### **Tecnología de clasificadores hidráulicos**

Nuevos diseños con aportaciones de distintos principios de clasificación tienen lugar en nuevos sistemas (más sencillos) de clasificación hidráulica, tal como el separador centrífugo de mineral de tipo horizontal patentado.

Una aportación adicional describe nuevas tecnologías de concentrador que lo equipan con imanes utilizando el principio de separación magnética; este último atrae a las partículas de tal naturaleza hacia la pared de un recipiente giratorio (principio de centrifugación), las cuales se desbordan gracias a las ranuras que hay en él. Con un motor que varía la velocidad y un sistema que inhibe el efecto de los imanes, esta tecnología posibilita que el concentrado sea descargado e incrementa la eficiencia de separación.

### **Sistemas de control a distancia**

El desarrollo de tecnologías de control inalámbrico está orientado a reducir riesgos de lesión para el personal operador de maquinaria, realizar tareas de alto nivel de manera autónoma y en un menor tiempo de operación. Éstas regulan variables no eléctricas, por ejemplo, control de velocidad y estabilidad en equipo jumbo (equipo de acarreo y remoción de material) en el que una unidad receptora adquiere datos de imagen capturados por el vehículo remoto y a través de una interfaz que muestra íconos que representan a los elementos controlables y que permiten al usuario introducir una orden de control.

Otra gran tendencia tecnológica que cada vez resulta más común es la de instalar sistemas que faciliten el conocimiento del estado actual de los componentes mayores de los equipos, permitiendo efectuar diagnósticos vía remota y logrando la correcta operación y manutención del equipo (modelo PC3000-6 BH D, Komatsu) (KLAT, 2017).

### **Medición inteligente de distancias y niveles en topografía o navegación**

La introducción de instrumentos giroscópicos permite medir ángulos dimensiones, nivel de líquido, de radio de posición y rumbo, y determinar la distancia o la velocidad en maquinaria como camiones de acarreo y excavadoras mediante el uso de los efectos de propagación. Por ejemplo, a través de sensores de navegación en los que un gestor ve a todo un grupo de sensores como un único sensor acoplado a dicho equipo y se reprograma dinámicamente de acuerdo con las condiciones de trabajo de la maquinaria, con el fin de reducir el consumo de combustible, tiempos de operación y tasa de accidentes, aumentando el rendimiento y maximizando los costos de operación.

### **Procesamiento de datos eléctrico digital**

La maquinaria de tipo de transporte de material y mototraíllas está siendo equipada con sistemas de guiado que consisten en un controlador en comunicación con un dispositivo de exploración y otro de localización. El controlador recibe datos sobre distancias laterales

deseadas del equipo y las compara con la distancia real emitida por el dispositivo de exploración de acuerdo a su ubicación geográfica con el fin de proporcionar advertencias y/o movimientos autónomos en caso de desvíos no previstos y peligrosos durante el camino, mejorando el control de la máquina y proveyendo de mayor seguridad al operador.

### **Nuevas tecnologías que aumentan la eficiencia de operaciones en máquinas de desplazamiento de suelos**

Para realizar excavaciones de gran magnitud se emplea la Dragalina, equipo que basa su diseño pensando en la seguridad dotando de abrazaderas de montaje en su estructura para evitar grietas en las uniones soldadas debidas a la vibración, así como iluminación de emergencia durante cortes de suministro eléctrico.

Dentro del campo de remoción y carga de material, los nuevos desarrollos tecnológicos buscan cumplir con especificaciones de seguridad de los tractores sobre orugas o equipos Bulldozer que incluyen:

- ▶ Bloqueo del tren de fuerza y el sistema hidráulico si el operador no se encuentra en cabina.
- ▶ Puntos de anclaje en caso de maniobras de mantenimiento.
- ▶ Cabinas con certificación Roll Over Protection System (ROPS), que consiste en la inclusión de barras en la cabina que evitan el hundimiento de ésta en caso de volcadura o caída de objetos pesados.

## Referencias

- 5G.co.uk Power your world (2017). *How fast is 5G?* Recuperado de <https://5g.co.uk/guides/how-fast-is-5g/>
- Atlas Copco Mexicana (2017). Atlas Copco, sección Home. Recuperado el 18 mayo de 2017, de <http://www.atlascopco.com.mx/es-mx/mrba/industry-solutions/mining>
- Avaria, R.P. (2015). Perforadoras y tuneladoras: Tecnología en las profundidades. *Construcción Minera*, 34-41. Recuperado de <http://www.construccionminera.cl/perforadoras-y-tuneladoras-tecnologia-en-las-profundidades/>
- Barry, R.M. (2008). Patente número 7,429,331 B2. United States.
- Birtch, D., McIntyre, J. y Meeboer, N. (2016). Patente número US2014941856P. United States
- Caterpillar (2017). CAT [Sección Productos]. Recuperado de [http://www.cat.com/es\\_MX/by-industry/mining.html](http://www.cat.com/es_MX/by-industry/mining.html)
- Caterpillar (2017). *Autonomous Haulage: Making Mining Safer and More Productive Today*. Recuperado el 23 de mayo de 2017, de [http://www.cat.com/en\\_US/articles/customer-stories/mining/autonomous-haulage-making-mining-safer-and-more-productive-today.html](http://www.cat.com/en_US/articles/customer-stories/mining/autonomous-haulage-making-mining-safer-and-more-productive-today.html)
- China University of Mining and Technology (2017). China University of Mining and Technology, sección Home. Recuperado el 15 junio 2017, de <http://www.cumt.edu.cn/1233/list.htm>
- Coates, J.A., Scriven, D.H., Coates, C. y Coates, E. (2014). AU Patente número AU2012308559A.
- Coats, R.M., McDaniel, M.S., Edwards, D.J., Subramanian, R. y Stratton, K.L. (2013). US Patente número US2008216582A.
- Colorado School of Mines (s.f.). *Mining Engineering Flowchart AY 2015-2016*. Recuperado de Colorado. <http://inside.mines.edu/UserFiles/File/miningEngineering/MN-AcademicFlowchartAY15-16.pdf>
- Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica [Conalep] (2015). Mapa Curricular PT y PT-B en Mantenimiento Automotriz. Recuperado de <http://www.conalep.edu.mx/academicos/Documents/Dise%C3%B1o%20Curricular/Documentos%20Curriculares/Doccurri2013/Mantenimiento%20Automotriz/Mapa%20curricular%20Mantenimiento%20Automotriz.pdf>
- Consejo de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (s.f.). Proyecto de modificación del plan de estudios de la licenciatura en Ingeniería de Minas y Metalurgia. Título que se otorga: Ingeniero (a) de Minas Metalurgista. Recuperado de [https://consejofi.fi-a.unam.mx/planes\\_estudio/Ingenieria%20minas/FI\\_Ingenieria-Minas-y-Metalurgia-Tomo-I.pdf](https://consejofi.fi-a.unam.mx/planes_estudio/Ingenieria%20minas/FI_Ingenieria-Minas-y-Metalurgia-Tomo-I.pdf)
- Curtin University (2017). *MDDU-MINEN v.1 Mining Engineering Double Degree Major (BEng/BCom)*. Recuperado el 15 junio 2017, de curtin university web site: <http://handbook.curtin.edu.au/courses/31/318907.html>
- Dedić, N. y Stanier, C. (2017). *Towards Differentiating Business Intelligence, Big Data, Data Analytics and Knowledge Discovery*. Piazzolo F., Geist V., Brehm L., Schmidt R. Springer (eds.). International Publishing AG, (pp. 114–122). DOI: 10.1007/978-3-319-58801-8\_10.
- Didden, F.K., Kersey, A.D., Davis, M.A., Rothman, P.J., Fernald, M.R., O’Keefe, C.V. y Adamson, D.H. (2013). US Patente número US2012618046P.
- Facultad de Contaduría y administración y Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] (s.f.). Diplomado en Administración de Proyectos. Recuperado el 15 de junio de 2017, de [http://dec.fca.unam.mx/spcccddec/publico/detalle\\_evento/1012](http://dec.fca.unam.mx/spcccddec/publico/detalle_evento/1012)
- FLSmidth Group (s.f.). *Crushing*. Recuperado el 20 mayo 2017, de <http://www.flsmidth.com/en-US/Industries/Copper/Products/Crushing>
- Gharagozlu, P. (2014). WO Patente número WO2014EP56904A.
- Huawei (2017). *The Progression of Holography into Business*. – An interview with Dr. V. Michael Bove, Jr. MIT Media Lab. Recuperado el 23 de mayo de 2017, de <http://www1.huawei.com/enapp/2679/hw-311139.htm>
- Hou, X.M. (2016). *Comparative Study of Haptic Interfaces for Bilateral Teleoperation of VTOL Aerial Robots*. *IEEE Transactions On Systems, Man & Cybernetics. System*, 46(10), 1352-1363.
- Instituto Politécnico Nacional [IPN] Campus Zacatecas (s.f.). Plan de estudios del programa académico Ingeniería Ambiental. Recuperado de <http://www.zacatecas.ipn.mx/OfertaEducativa/Documents/Programa%20ambiental.pdf>
- IPN Campus Zacatecas (s.f.). [Plan de estudios]. Recuperado el 20 de junio de 2017, de <http://www.zacatecas.ipn.mx/OfertaEducativa/Paginas/>
- International Telecommunication Union [ITU] (2017). *Internet of Things Global Standards Initiative*. Recuperado el 24 mayo 2017, de <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx>
- ITU-T Recommendations (2017). *Next generation networks*. Recuperado el 24 mayo 2017, de <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=y.2060>

- Ivanovich, A.S., Nikolaevich, L.A. y Vladimirovich, P.V. (2014). RU Patente número RU2014137832A.
- Komatsu Latinoamérica [KLAT] (s.f.). Komatsu Latinoamérica, sección Equipo. Recuperado el 18 junio 2017, de <https://www.komatsulatinamerica.com/mexico/>
- Kunming University of Science and Technology of International Education. (2017). Recuperado el 15 junio 2017, de [http://gjxy.kmust.edu.cn/en/FWD\\_pic.asp?classID=67](http://gjxy.kmust.edu.cn/en/FWD_pic.asp?classID=67)
- LI, X.J. (2013). CN Patente número CN201310430324A.
- MaRS. (13 de noviembre de 2014). *Mining & Metals + Internet of Things: Industry opportunities and innovation*. Recuperado de [www.marsdd.com](http://www.marsdd.com): <https://www.marsdd.com/news-and-insights/mining-industry-iot-technology/#f1>
- Naimark, L., Weedon, I. W. y Bergamo, M.A. (2011). US Patente número US2010304456P.
- Next Generation Mobile Networks (2015). *5G White Paper*. Recuperado de [https://www.ngmn.org/fileadmin/ngmn/content/downloads/Technical/2015/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://www.ngmn.org/fileadmin/ngmn/content/downloads/Technical/2015/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf)
- Nokia (2016). *Re-imagine mining networks for 2020 and beyond*. Recuperado el 24 mayo 2017, de <http://resources.alcatel-lucent.com/asset/189240>
- Nordrum, A., Clark, K. e IEEE, S. (27 enero 2017). *Everything You Need to Know About 5G*. Recuperado de <http://spectrum.ieee.org/video/telecom/wireless/everything-you-need-to-know-about-5g>
- Ortíz, S. (2017). Investigación y análisis para la definición y métrica de variables para medir tanto la oferta como la demanda de capital humano del sector minero. CDMX.
- Pack, R.T., Allis, D.P. y Vale, M.J. (2011). US Patente número US2010333734P.
- Proveedores Metso Chile S.A. (2017). Sección Minería, Productos. Recuperado el 26 mayo 2017, de <http://www.metso.com/es/buscador-de-productos/#/Familia/Miner%C3%ADa>
- QS World University Rankings (s.f.). [Ranquin de Universidades]. Recuperado el 16 junio 2017, de <https://www.topuniversities.com/subject-rankings/2017>
- Rio Tinto (s.f.). *Mine of the Future*. Recuperado el 23 de mayo de 2017, de <http://www.riotinto.com/australia/pilbara/mine-of-the-future-9603.aspx>
- Rothman, P.J., Fernald, M.R., Didden, F.K. y Adamson, D.H. (2014). WO Patente número WO2014US37823A.
- Rothman, P. J., Fernald, M. R., Didden, F. K., O'Keefe, C. V., Kersey, A. D., & Adamson, D. H. (2012). US Patente número US2011489893P.
- Sandvik Mining (s.f.). *Screens and Feeders*. Recuperado el 25 mayo 2017, de [Recuperado de https://mining.sandvik.com/en/products/equipment/crushing-and-screening/screens-and-feeders](https://mining.sandvik.com/en/products/equipment/crushing-and-screening/screens-and-feeders)
- Schuetz, M. (2016). AU Patente número AU2013904886A.
- Secretaría de Economía [SE] (Mayo de 2013). Instituciones de educación superior (IES) nacionales con oferta educativa en Ciencias de la Tierra y relacionadas. Recuperado de [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/mineria/pdf/instituciones\\_educativas\\_mayo2013.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/mineria/pdf/instituciones_educativas_mayo2013.pdf)
- Simonite, T. (28 de diciembre de 2016). *Mining 24 hours a day with robots*. Recuperado de <https://www.technologyreview.com/s/603170/mining-24-hours-a-day-with-robots/>
- Sistema de Consultas de Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (2012). Padrón del Programa Nacional de Posgrados de Calidad. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Recuperado el 20 junio 2017, de [http://svrtmp.main.conacyt.mx/ConsultasPNPC/listar\\_padron.php?prog=&ref=&inst=&sgrado=4,5&orient=&snivel=&sasni=2,8&smodal=2&sentidad=2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32&pag=23](http://svrtmp.main.conacyt.mx/ConsultasPNPC/listar_padron.php?prog=&ref=&inst=&sgrado=4,5&orient=&snivel=&sasni=2,8&smodal=2&sentidad=2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32&pag=23)
- Soane, D.S., Ware, J.W., Mahoney, R. P. y Ashcraft, J.N. (2016). US Patente número US200828717P.
- Stratton, K.L., Bojarski, L., Rander, P., Warner, R. y Ziglar, J. (2014). US Patente número US14305469A.
- The University of Queensland (2017). *Master of Mineral Resources (MMinRes) - Course List*. Recuperado el 15 junio 2017, de [http://www.uq.edu.au/study/program\\_list.html?acad\\_prog=5196](http://www.uq.edu.au/study/program_list.html?acad_prog=5196)
- Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (s.f.). Plan de Estudios Licenciatura en Ingeniería Metalúrgica, Título: Ingeniero Metalurgista o Ingeniera Metalurgista. Recuperado el 15 junio 2017, de [http://www.uam.mx/licenciaturas/pdfs/7\\_13\\_Lic\\_en\\_Ingenieria\\_Metalurgica\\_AZC.pdf](http://www.uam.mx/licenciaturas/pdfs/7_13_Lic_en_Ingenieria_Metalurgica_AZC.pdf)
- Upstill, G. y Hall. P. (2006). *Innovation in the minerals industry: Australia in a global context. Resources Policy*, 137-145.
- Vortex Hydro (2011). Vortex Hydro , sección Productos. Recuperado el 26 mayo 2017, de <http://vortex-hydro.com/>
- Wired (s.f.). *A Brief History of Autonomous Vehicle Technology*. Recuperado el 24 mayo de 2017, de <https://www.wired.com/brandlab/2016/03/a-brief-history-of-autonomous-vehicle-technology/>
- Zhang, W., LU, Q., Shi, C.S., Li, J.F., Huang, J.M., Lin, R.Q., ... LI, G.H. (2013). CN Patente número CN201310358227A.

# Capítulo 5

## Necesidades de capital humano

### Introducción

El principal reto que enfrentan las empresas mineras es adquirir capital humano con los conocimientos y competencias genéricas suficientes para atender los retos del sector y las demandas derivadas de las tendencias tecnológicas a lo largo de la cadena de valor de la minería. En consecuencia, la inversión en capital humano se convierte en el principal factor que permitirá el uso, aplicación y adopción de nuevos conocimientos, mejorar la competitividad, incrementar las inversiones y desarrollo económico, así como mantener el dinamismo del sector minero. Por ende, ofrecer una educación de calidad y articulada con las necesidades del sector demanda actualizaciones a los planes de estudios, especialización, capacitación y certificaciones; así como políticas educativas dirigidas al desarrollo profesional de estudiantes, docentes y trabajadores de las unidades mineras y empresas proveedoras, las cuales promuevan nuevas alternativas para la formación y entrenamiento de especialistas y técnicos, y que impulsen programas de equipamiento de laboratorios, plantas de beneficio, maquinaria, equipo técnico e infraestructura que sirvan para que esa formación esté acorde con la evolución de las tecnologías.

Por lo anterior, la educación pertinente que demanda el sector minero para atender los cambios tecnológicos y sociales deberá basarse en carreras profesionales y de bachillerato tecnológico, que incorporen en sus planes de estudio el uso de la automatización, instrumentación, inteligencia artificial, aplicaciones 3D para robots y otros dispositivos de control remoto; así como el uso de aditamentos electrónicos, aplicaciones de *software* analítico y *hardware*; siendo el uso de las tecnologías de la información, el enfoque en seguridad y sustentabilidad, y la responsabilidad social los elementos transversales determinantes.

Como parte de la evolución en los planes educativos para la formación de capital humano, en los últimos años se ha promovido nuevas estructuras educativas que no sólo formen los perfiles técnicos, académicos y profesionales que exige la sociedad, sino también la adopción, generación y estimulación de competencias genéricas que aporten a los individuos valor agregado basado en habilidades, actitudes y valores relacionados con temas como el dominio del idioma inglés, solución de problemas, trabajo en equipo, comunicación oral y escrita y liderazgo, entre otros.

En esta investigación se trabajó con los actores de la industria minera relacionados con el desarrollo de talento para conocer las brechas entre el modelo educativo actual y el deseable, a fin de definir los perfiles profesionales y técnicos prioritarios y diseñar estrategias que impulsen políticas educativas acordes con las necesidades futuras de la industria minera.

## 5.1. Perfiles educativos requeridos por el sector minero (demanda de capital humano)

El sector minero requerirá de personal especializado con capacidades específicas para enfrentar los retos tecnológicos. Por lo tanto, de acuerdo con cada uno de los eslabones de la cadena de valor, las necesidades de recursos humanos dependerán de las innovaciones en los métodos, procesos, materiales, maquinaria y equipos desarrollados para mejorar la eficiencia productiva y atender las demandas técnicas, operativas y de sistematización del proceso minero. Así que será necesario personal especializado que asegure a la industria mayor seguridad, sostenibilidad ambiental, productividad y competitividad. Por consiguiente, las capacidades y competencias de los recursos humanos demandados para cada etapa de la cadena de valor se describen a continuación.<sup>29</sup>

### 5.1.1. Prospección/Exploración: prospectiva de los perfiles profesionales<sup>30</sup>

Las tendencias en prospección y exploración se dirigen a disminuir el gasto en proyectos de sondeo, sustituyéndolos por mejores análisis e integración de datos y aplicación de tecnologías inteligentes. Los desarrollos tecnológicos se dirigen al mayor uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), *software* especializados para generar planos en 3D, nuevas tecnologías de sondeo profundo, dominio de técnicas para recabar información, manejo de diferentes tipos de equipo y aplicar los planes y programas de seguridad en el trabajo. Por lo tanto, el personal profesional ocupado en esta etapa, principalmente geólogos, geofísicos, geoquímicos y geomáticos, requerirán de la especialización de conocimiento basados en estas áreas, así como el personal con carreras técnicas como máquinas y herramientas, y las carreras técnico superior universitario (TSU) en Minería y TIC. De manera que, en el cuadro 5.1 se describen las competencias técnicas específicas (algunas transversales) que demandan las tendencias tecnológicas en esta etapa de la cadena de valor.

---

<sup>29</sup> Adicional a la investigación documental y entrevistas realizadas al sector minero, se recurrió a la asesoría de un experto en administración de minas para definir los perfiles profesionales y competencias de los recursos humanos que se requerirán para enfrentar las tendencias tecnológicas.

<sup>30</sup> Para la elaboración de la prospectiva tecnológica y de capital humano en cada etapa de la cadena de valor del sector minero, se recurrió a la información obtenida de entrevistas realizadas a 11 unidades y empresas mineras y 18 empresas proveedoras especializadas integrantes del Clusmin; así como 7 entrevistas a profesores e investigadores de las instituciones de educación media superior y superior del estado de Zacatecas y 8 expertos de la Facultad de Ingeniería y Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Cuadro 5.1. Prospección/Explotación: competencias técnicas

Carrera profesional/ TSU/técnica	Competencias técnicas futuras
Ingeniería Geológica Ingeniería Geoquímica Ingeniería Geofísica Ingeniería Geomática	Cartografía digital ( <i>Datamining, MinePro, GENCOM, Autocad</i> ); estadística espacial; modelación numérica de sistemas físicos; <i>software</i> para la administración de datos en la formación de mapas geológicos; conocimiento de nuevos sensores; sistemas y técnicas de teledetección en combinación con tecnología de integración múltiple de información basada en plataformas de información geográfica (GIS), geoestadística, geodesia satelital, cruzamiento de datos geofísicos, geoquímicos y de sondeo; dominio en el análisis de la capacidad 3D y tecnologías enfocadas a generar interpretaciones integradas. Uso de herramientas analíticas para perforación; conocimiento de nuevas tecnologías aerotransportadas de prospección geofísica y teledetección para la extracción de información de mineralización en áreas cubiertas; conocimiento de nuevas técnicas geoquímicas para extraer información de mineralización en profundidad tales como el método geoelectroquímico, método de extracción enzimática o método móvil de iones metálicos. Tecnologías electromagnéticas para monitoreo profundo, tridimensionales y métodos de sondeo. Uso de drones y sistemas aero-transportados para el levantamiento de datos en la formulación de mapas geológicos.
TSU en Minería	Administración del medio ambiente; métodos de extracción y uso de herramientas para la perforación.
TSU en Tecnologías de la Información	Automatización de equipos; diagnóstico de fallas, conocimiento y manejo de <i>software</i> , colaboración con otras disciplinas.
Técnico en Máquinas Herramienta	Programación y operación de control numérico computarizado y dibujo asistido por computadora; aplicaciones de soldadura; conformado mecánico; ingeniería de materiales; logística de almacenes; sistemas automotrices.

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.2. Exploración: prospectiva de perfiles profesionales

Las tendencias tecnológicas en la etapa de explotación se enfocan en desarrollos tecnológicos en equipos de seguridad personal, sistemas de comunicación, sistemas de monitoreo, soporte de la mina y maquinaria; por otro lado, en la planeación de minas se prevén tecnologías para el diseño de nuevos métodos de explotación, maquinaria para el control y monitoreo de la producción y robótica; así como la optimización de maquinaria de excavación, fragmentación/tronadura y la automatización de maquinaria y operaciones. Los perfiles profesionales predominantes pertenecen a las Ingenierías en Minería, Metalurgia, Química Metalúrgica, Industrial, Mecánica, Eléctrica y Mecatrónica; a nivel técnico se encuentran los operadores de equipos y maquinarias con estudios de Electromecánica, Máquinas Herramienta, Motores a Diésel y Electricidad, principalmente. En el cuadro 5.2 se describen las competencias técnicas específicas.

Cuadro 5.2. Explotación: competencias técnicas

Carrera profesional/ técnica	Competencias técnicas futuras
Ingeniería en Minería Ingeniería Metalúrgica Ingeniería Química Meta- lúrgica	Identificación de métodos y dispositivos de automatización para controlar y optimizar los procesos de explotación; manejo de <i>software</i> especializado para la simulación de procesos de explotación y arranque de mineral, gestión de activos, caracterización y modelamiento de variables; nuevos métodos de planificación minera y para gestión de maquinaria; sistemas de planeación y ejecución de caminos y rutas automatizados, dispositivos de mapeo de zonas y modelado con patrones en n+1 dimensiones; técnicas de voladuras. Desarrollar, operar y gestionar los sistemas automatizados de control de operaciones mineras (planificación y operación minera, concentradora) y de control de proyectos; tecnologías de voladura controlada mediante detonaciones eléctricas y vibraciones; manejo de diferentes modelos, técnicas y herramientas para evaluar el funcionamiento de procesos diversos en la operación minera; conocimientos avanzados en modelamiento de procesos, gestión de activos, mecatrónica, robótica, así como en transmisión y almacenamiento de datos.
Ingeniería Industrial	Almacenamiento, logística, evaluación de productividad, diseño de programas de mejora continua; manejo de materiales; optimización de rutas; legislación laboral y ambiental; automatización de maquinaria industrial; planeación de programas de mantenimiento; gestión integral de riesgos.
Ingeniería Mecánica Ingeniería Eléctrica Ingeniería Mecatrónica	Manejo de materiales y equipo para la instalación de plantas; manejo de sistemas de mantenimiento; aplicación de sensores y <i>software</i> para el seguimiento de parámetros físicos (temperaturas, presiones de neumáticos, estado del motor de maquinaria y signos vitales); evaluación del estado funcional de componentes en tiempo real (mantenimiento predictivo); manejo de sensores para el monitoreo de gases, humedad y polvo; manejo e instalación de dispositivos inalámbricos; sistemas de monitoreo del personal con dispositivos identificación por radiofrecuencia (RFID) y/o sensores de posicionamiento; diseño, selección y operación de equipo automatizado para perforación, movimiento de materiales y transporte.
Técnico en Electromecánica Técnicos Máquinas Herra- mienta Técnico en Motores a Diésel Técnico en Electricidad	Manejo de maquinaria robótica controlada a distancia con sistemas de automatización y de múltiples tareas; manejo de sistemas de comunicación y monitoreo con sensores y tecnología RFID; manejo de maquinaria con reconocimiento de patrones para la conducción autónoma de vehículos y dispositivos de modelado en N dimensiones; sistemas de simulación de procesos de explotación y arranque de mineral; manejo de aparatos y dispositivos robóticos programables; maquinaria de excavación y corte automático; mantenimiento de equipo y sistemas automatizados; mantenimiento electrónico.

Fuente: elaboración propia.



### 5.1.3. Obtención de minerales: prospectiva de perfiles profesionales

En la etapa de obtención de minerales los avances tecnológicos se dirigirán en el desarrollo de tecnologías de liberación selectiva, uso de recubrimientos por separación y conminución, seguridad personal; para la separación y concentración de minerales metálicos se considerarán los procesos híbridos, diseño de circuitos de procesamiento de minerales, así como mejoras en equipos y procesos tradicionales, procesos asistidos por biotecnología y ondas de diversas frecuencias, desarrollo y adaptación de técnicas para la recuperación de minerales refractarios. Ante estas demandas, los perfiles profesionales se basarán en la Ingeniería Metalúrgica, Química, Ambiental, Mecánica, de Materiales, Industrial, Eléctrico y de Mantenimiento; Instrumentación y Mecánica; como se exponen en el cuadro 5.3.

Cuadro 5.3. Obtención de minerales: competencias técnicas

Carrera profesional/ técnica	Competencias técnicas futuras
Ingeniería Metalúrgica Ingeniería Química Metalúrgica Ingeniería en Minería y Metalurgia	Fragmentación y reducción de tamaño de minerales en seco; procesamiento de materiales refractarios; diseño y operación de procesos de conminución asistidos por extracción; uso y aplicación de sensores para clasificación de partículas; procesamiento de minerales refractarios para la obtención de partículas finas y ultra finas; procesos de desintegración operados vía remota; separación por radiación; normas medioambientales y de procesamiento de minerales, gestión de la calidad, seguridad y salud operacional; costos operativos (OPEX), así como las inversiones de capital (CAPEX). Concentración: técnicas de procesos sustentables; partes y funcionamiento de celdas de concentración; operación de celdas de flotación; propiedades fisicoquímicas de metales, colectores, modificadores y espumantes; uso de xantatos, sulfuros y sales como agentes colectores y modificadores; concentración por bacterias. Separación: detección de dimensiones de partícula a través de la implementación de TIC en procesos automatizados; separación por radiación; técnicas de procesos sustentables; seguridad y salud operacional. Conminución: estrategias de desarrollo para la desintegración de materiales por pulsos eléctricos, microondas y control de la molienda autógena usando análisis de imágenes; implementación de <i>software</i> especializado en óptica para la detección y control de tamaños de partícula en procesos automatizados.
Ingeniería Mecánica Ingeniería Industrial Ingeniería Eléctrica y de Mantenimiento	Diseño, selección, operación y mantenimiento de equipo para trituración y molienda convencional; molienda semi-autógena (SAG); rodillos de alta presión (HPGR); molinos verticales; cicloneo. Aplicación de recubrimientos avanzados; robótica y mecatrónica para operaciones de mina; conocimiento y cumplimiento de medidas de seguridad en cada proceso; diseño de procedimientos normalizados de operación; desarrollo y manejo de fuentes alternas de energía; sistemas de ahorro energético; automatización de procesos; gestión integral de riesgos.
Técnico Electromecánico Técnico en Metalurgia Técnico en Instrumentación Técnico Mecánico	Conocimientos básicos de trituración y molienda; mantenimiento de equipo electromecánico; mantenimiento de instalaciones; mantenimiento electrónico; supervisión de variables de operación y control; seguridad y salud operacional.

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.4. Extracción: prospectiva de perfiles profesionales

El proceso de extracción de los minerales se realiza a través de los procesos de hidrometalurgia, electrometalurgia y pirometalurgia, cuyas tendencias tecnológicas se relacionan con el cuidado del medio ambiente, incremento en la eficiencia de los procesos y disminución en el consumo energético; así como tecnologías de equipo e innovaciones de procesos. Los conocimientos y perfiles profesionales que se requerirán para atender estas tendencias tecnológicas serán los adquiridos a través de las Ingenierías de Minas, Química Metalúrgica, Química, Industrial, Mecánica, Mecatrónica, Materiales y Ambiental. Los conocimientos de las carreras técnicas de Minero Metalurgista, Seguridad Industrial y Electrónica, principalmente. Para cubrir el perfil del personal requerido se deberá considerar las competencias técnicas que se describen en el cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Extracción: competencias técnicas

Carrera profesional/ técnica	Competencias técnicas futuras
Ingeniería en Minería Ingeniería Metalúrgica Ingeniería Química Metalúrgica Ingeniería Química	Hidrometalurgia: procesos de lixiviación utilizando agentes lixiviantes ecológicos como la tiourea, disoluciones de ácido clorhídrico y cloruro de magnesio, enzimas, entre otras; conocimiento amplio de procesos de biolixiviación con diferentes agentes lixiviantes (enzimas, bacterias, algas, arqueas, etc.); diseño de procesos basados en agentes amigables con el ambiente.
	Electrometalurgia: conocimiento de materiales de fabricación de celdas con mayor resistencia a la corrosión (grafito, cobre, etc.); manejo óptimo de aditivos para baños electrolíticos; desarrollo y ejecución de procesos de electro-obtención por cátodos permanentes; reducción de producción de neblina ácida en los procesos electrometalúrgicos; conocimiento en robótica para el manejo remoto de las celdas.
	Pirometalurgia: incorporación de procedimientos de oxigenación; conocimiento de métodos de tratamiento de intermediarios de fundición; tratamiento de menas refractarias; manejo sustentable de recursos (energéticos, hídricos, etc.); conocimiento y aplicación de fuentes de energía limpias; sistemas de ahorro de energía; uso y aplicación de sensores para operación remota de equipos.
	Manejo de TIC (dispositivos electrónicos para comunicación entre las distintas áreas de trabajo, sensores de seguridad del personal, etc.); manejo de <i>software</i> para operación de equipo de laboratorio; conocimiento de técnicas analíticas para minerales metálicos y no metálicos: espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo.
Ingeniería Mecánica Ingeniería Industrial Ingeniería Mecatrónica Ingeniería Electrónica e Instrumentación Ingeniería en Materiales Ingeniería Ambiental	Uso y aplicación de sensores para operación remota de equipos; tratamiento de menas refractarias; uso de fuentes de energía limpias; manejo sustentable de recursos (energéticos, hídricos, etc.); diseño de técnicas de monitoreo de procesos; instrumentación y control de procesos metalúrgicos; diseño de sistemas de control de residuos/efluentes; diseño de procedimientos normalizados de operación; manejo de <i>software</i> de operación de la planta; diseño y operación de sistemas de seguridad industrial; gestión integral de riesgos.
Técnico Minero Metalúrgico Técnico Electrónico	Conocimiento de técnicas analíticas recientes para minerales metálicos y no metálicos: espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo; técnicas de análisis de minerales refractarios; incorporación de prácticas sustentables; mantenimiento de equipo; mantenimiento electrónico; manejo de <i>software</i> para operación de equipo de laboratorio; supervisión ambiental y de sistemas de seguridad.

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.5. Cierre y rehabilitación: prospectiva de perfiles profesionales

Los principales desafíos que se enfrenta en la etapa de cierre y rehabilitación de las minas se refieren a identificar métodos que aseguren la remediación de los suelos y aguas subterráneas ácidas y alcalinas de forma eficaz y rentable. Esto implica que se logre el uso de agentes iónicos neutralizantes, el uso de TIC para la predicción y desarrollo de métodos preventivos, así como, la aplicación de agentes biológicos y químicos para la regeneración de cuerpos de agua y suelos contaminados. En este sentido, los perfiles profesionales para entender y aplicar estas tecnologías serán los afines a las Ingenierías en Minas, Ambiental, Agronomía y Química, así como profesionales de las Ciencias Biológicas y las carreras técnicas en Conservación del Medio Ambiente, Seguridad e Higiene y Protección Civil. Entre las competencias técnicas recomendadas se encuentran las descritas en el cuadro 5.5.

Cuadro 5.5. Cierre y rehabilitación: competencias técnicas

Carrera profesional/ técnica	Competencias técnicas futuras
Ingeniería en Minería Ingeniería Ambiental Agronomía e Ingeniería Forestal Ingeniería en Biotecnología Ingeniería Química	Biología ambiental; sistemas de evaluación, tratamiento y remediación de la contaminación de aire, agua y suelos; toxicología ambiental; sanidad; manejo de residuos tóxicos e infecciosos; normatividad de gestión ambiental; biología de poblaciones; meteorología; agronomía; recuperación de tierras y aguas contaminadas; manejo y disposición de residuos peligrosos.
Técnica en Conservación del Medio Ambiente Técnica en Seguridad e Higiene y Protección Civil	Manejo de residuos peligrosos; remediación de tierra; tratamiento de aguas; emisión de gases; monitoreo y evaluación de sitios contaminados.

Fuente: elaboración propia.

### 5.1.6. Perfiles profesionales requeridos para atender aspectos sociales y de políticas públicas

Es importante señalar que el entorno político, social y económico, así como las normativas internacionales ambientales y de seguridad laboral influyen en el desarrollo de proyectos mineros, así como en la toma de decisiones para enfrentar problemas de índole social y de respuesta a requerimientos de las autoridades. Por lo tanto, para la industria minera, factores como la relaciones laborales y sindicales, la comunicación con la sociedad y las comunidades, conocimientos de normativa y legislación ambiental y laboral, así como la resolución de conflictos sociales y relaciones gubernamentales, son temas del máximo interés que requieren de conocimientos específicos por parte de los gerentes de las minas, superintendentes, supervisores y dirigentes de empresas proveedoras, los cuales suelen tener un perfil profesional técnico con escasos conocimientos de estos temas cuyo detalle se muestra en el cuadro 5.6.

Cuadro 5.6. Aspectos sociales y de política pública: competencias técnicas

Ejes transversales	Carreras profesionales/especialistas	Competencias técnicas futuras
Aspecto social y responsabilidad empresarial	Economistas Contadores Administradores Sociólogos del Trabajo Comunicólogos Antropólogos Sociales  Especialistas: Abogados Ambientalistas Abogados Agraristas Abogados Laborales Economía Social Ciencia Política y Administración Pública	Diseño de estrategias y programas sociales para mejorar las relaciones laborales (comunicación con los sindicatos, apoyo a la formación educativa, programas sociales); la comunicación con las comunidades y la sociedad, y para el fortalecimiento de la economía regional. Administración de recursos humanos; Evaluación de indicadores para medir el impacto social, económico y desempeño laboral; diseño de esquemas de relaciones públicas; comunicación.
Certidumbre gubernamental		Promoción y regulación de la industria minera. Legislación minera (seguridad e higiene), legislación ambiental, normas oficiales vinculadas con el derecho del trabajo y seguridad social; relaciones sindicales; política pública para mejorar la infraestructura educativa y el desarrollo económico.

Fuente: elaboración propia.

Con base en lo anterior, se puede concluir que la industria minera se está convirtiendo en una industria multidisciplinaria, donde no sólo carreras del área de ciencias de la tierra y geociencias se encuentran involucradas en el proceso productivo, sino que las condiciones tecnológicas, sociales, ambientales y legales que rodean al sector han influido para que se requiera contemplar otras licenciaturas y carreras técnicas.

## 5.2. Prospectiva de los perfiles prioritarios

A través de una serie de entrevistas realizadas a coordinadores, jefes de departamento y profesores de carrera de las Ingenierías de Minas y Metalurgia, Geología, Geofísica, Eléctrica Electrónica, Geomática, Industrial, Mecánica, Mecatrónica e Ingeniería Química Metalúrgica de la UNAM<sup>31</sup>, se investigó la prospectiva de los perfiles profesionales prioritarios en ciencias de la tierra e ingenierías afines al sector que imparte esta institución educativa, a fin de conocer las actualizaciones a los planes de estudio, así como los temas y técnicas que se estarán incorporando en éstos de acuerdo con las innovaciones y mejoras desarrolladas para el proceso productivo. En el cuadro 5.7 se desglosan las principales aportaciones de este trabajo de campo.

31 La elección de la UNAM responde a su posición en el *ranking* internacional de universidades (*QS University Ranking*), además por el reconocimiento en su calidad educativa por parte de operativos y técnicos de las unidades mineras y por empresarios y empleados de las empresas proveedoras entrevistadas.

Cuadro 5.7. Prospectiva de los planes de estudio

Plan de estudio	Prospectiva
Ingeniería de Mina y Metalurgia	Mejoramiento en los sistemas de minado, extracción, mecánica de rocas, soporte, seguridad, control de costos, alteraciones de roca, identificación de minerales, texturas y estructuras geológicas; uso de sistemas de posicionamiento global (GPS), toma de muestras y cartografía; aplicación práctica de conocimientos en metalurgia, sistemas de trituración, molienda, flotación, caracterización y laboratorio, plantas de beneficio por flotación, lixiviación en pilas y columnas de carbón, metalurgia extractiva no ferroso; incremento de recuperación metalúrgica.
Ingeniería Geológica y Geofísica	Tecnologías basadas en el Internet de las cosas; modelación de cuerpos geológicos subterráneos, exactos y con el mínimo error, sistemas autónomos; exploración a distancia; prospección y explotación georreferenciada (SIG y percepción remota); uso de espectrometría de infrarrojo (SWIR), radares; mapeo de alternancias geológicas; caracterización de condiciones mineralógicas a mayor detalle; geomodelación (Geomodeller, Datamine, Leapfrog); modelación geológica en 3D; drones para toma de muestras y análisis geofísicos a lugares pocos accesibles.
Ingeniería Eléctrica Electrónica	Uso eficiente de la energía; fuentes alternas de energía; redes inteligentes; nanotecnología; MEMS (sistemas micro-electro-mecánicos); electrónica flexible; robots inteligentes; sensores inalámbricos; tecnología sustentable; microprocesos.
Ingeniería Geomática	GPS de última generación; escáner; estaciones robóticas; medidores de niveles; drones; <i>software</i> especializado; imágenes satelitales; realidad virtual.
Ingeniería Mecánica	Análisis computacionales; elementos de máquina; engranes; transmisiones; poleas; herramientas computacionales para análisis y aplicación; diseño de serie de producción de una sola pieza para ensamble en un sitio distinto.
Ingeniería Industrial	Automatización; incorporación de nueva maquinaria (sustituyendo al personal humano y evitando así la exposición a graves impactos como la contaminación); bandas transportadoras de material; metodologías de financiamiento; nuevos sistemas de producción; mejora de procesos; instalaciones industriales y en ingeniería (automatización y robotización).
Ingeniería Mecatrónica	Drones autonomía en sistemas; automatización de sistemas inteligentes; sistemas multiagentes; robots de exploración y de operación; robots móviles, comunicación a distancias mayores; equipos híbridos, es decir controlados por operadores, pero capaz de autorregularse; realidad virtual; tecnologías de nanotecnología.
Ingeniería Química Metalúrgica	Conocimiento y manejo de <i>software</i> para el análisis y control de procesos metalúrgicos; productos que sean biodegradables, reactivos con menor impacto al ambiente; procesos más limpios, menos costosos, esto implica medir parámetros eficientemente; sistemas que sean capaces de medir la cantidad de energía utilizada en procesos, así como otras fuentes de energía, especialmente a partir del hidrógeno; mejoramiento en técnicas de lixiviación y flotación; minimizar problemas de oxidación y desgaste de equipos en la operación; equipos de recuperación (concentrador gravimétrico).

Fuente: elaboración propia con base en entrevistas realizadas a expertos de la Facultad de Ingeniería y Química de la UNAM.

Los formadores de recursos humanos consultados coinciden en que el conocimiento de las nuevas tecnologías internacionales y su adaptabilidad a las condiciones nacionales dependerá de conocimientos que les permita diagnosticar, desarrollar, diseñar e innovar metodologías, tecnología, procesos o sistemas enfocados en la eficiencia y competitividad en calidad y costos a nivel internacional (UNAM-Facultad de Ingeniería, 2014). Por la dinámica de cambio tecnológico, los planes de estudio en estas materias deben actualizarse con frecuencia ante los cambios que se han ilustrado en esta obra.

De este análisis, sobresale el conocimiento en tecnologías de la información y comunicación. La tecnología de punta empleada para la automatización, comunicación satelital, sensores de control, robótica, computadoras, microprocesadores, tecnología de imágenes 3D, realidad virtual, georreferenciación, entre otras, es aprovechada para atender los temas de seguridad industrial, rentabilidad y eficiencia productiva que demanda la minería. Asimismo, el compromiso social del respeto al medio ambiente ha motivado la necesidad de desarrollar una minería sustentable y segura lo que obliga generar y adoptar nuevos métodos de exploración, explotación, obtención y extracción de minerales con menor impacto ambiental.

## 5.3. Diagnóstico de la oferta educativa en el estado de Zacatecas y su zona de influencia

### 5.3.1. Carreras profesionales y técnico superior universitario

De acuerdo con datos de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (Anuiés), para el ciclo escolar 2015-2016, en el estado de Zacatecas 22 Instituciones de Educación Superior (IES) impartieron 101 programas educativos que representan a 57 carreras profesionales y técnico superior universitario afines al sector minero, sin dejar a un lado carreras como la arquitectura, Ingeniería Civil, Física, Agronomía y Energía, consideradas para la construcción de las minas, temas ambientales y uso eficiente de los recursos naturales. De lo anterior, se debe destacar que el 79% de los egresados provienen de cinco instituciones de educación superior (Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Instituto Tecnológico de Zacatecas (ITZ), Universidad Politécnica de Zacatecas (UPZ) y del Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo), y el 60% egresa de las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Industrial, Mecatrónica, Civil, Agronómica, Tecnologías de la Información y Comunicación, Minero Metalurgista, Arquitectura, TSU en Minería y en Mecatrónica.<sup>32</sup>

En relación con las demandas de conocimientos específicos que requiere el sector minero, se consideran como carreras profesionales prioritarias para enfrentar los retos tecnológicos las Ingenierías en Minería, Minero Metalurgista, Metalúrgica, Geología, Geofísica, Geomática (o Topografía), Química Metalúrgica, Industrial, Eléctrica y Electrónica, Mecánica, Mecatrónica, Ambiental, Biotecnología, Sistemas Computacionales y Tecnologías de la Información y Comunicación. Conforme a los perfiles profesionales expuestos en este capítulo, se revisaron las características de la oferta educativa de las instituciones de educación superior del estado de Zacatecas y la zona de influencia<sup>33</sup> del clúster minero (Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango y San Luis Potosí)<sup>34</sup>.

---

<sup>32</sup> Véase a detalle la descripción de los datos en el Anexo 5.1 y 5.2.

<sup>33</sup> Los estados que conforman la zona de influencia fueron definidos con base en la colindancia con el estado de Zacatecas y por las instituciones de educación de procedencia de los profesionales y técnicos que laboran en las unidades mineras y empresas proveedoras integrantes del Clusmin.

<sup>34</sup> Véase a detalle la descripción de las características en el Anexo 5.3.

En función de este análisis, se destaca que el área de geociencias, que aporta conocimiento para la etapa de prospección y exploración de yacimientos minerales, deberá fortalecerse incorporando las carreras de Ingeniería Geofísica y Geomática. También es importante que se contemple en los planes de formación el uso y manejo de drones, robots de exploración y operación, sistemas inteligentes, realidad virtual, uso de *software* para interpretación de grandes bases de datos e imágenes satelitales.

Otro programa educativo que no se imparte en Zacatecas y que deberá considerarse es Ingeniería Química Metalúrgica, cuyos conocimientos son utilizados en la etapa de extracción y obtención de minerales para el mejoramiento de técnicas de lixiviación y flotación, en las que se requerirá el uso de productos y reactivos biodegradables, uso de nanomateriales, procesos más limpios y menos costosos, y uso óptimo de energía.

Hay carreras que se imparten en Zacatecas pero que deberán actualizar sus planes de estudio. Entre ellas destacan las Ingenierías en Minas, Minero Metalurgista<sup>35</sup> y Metalúrgica las cuales reforzarse en conocimientos relacionados con el manejo de equipos automatizados para explotación y obtención de minerales, simuladores de procesos metalúrgicos y sistemas integrados para manejo de grandes volúmenes de materiales. Para mejorar la formación, es necesario que las instituciones cuenten con laboratorios avanzados de análisis fisicoquímicos y planta piloto de beneficio.

De acuerdo con la evaluación de los empleadores de la industria minera, es fundamental reforzar la formación con orientación práctica. En este sentido, vale la pena destacar el programa de Ingeniería Metalúrgica diseñado conjuntamente entre el Instituto Politécnico Nacional (Campus Zacatecas) y el Clusmin, el cual consiste en que los estudiantes pasen tres semanas en el aula y una semana en mina, por lo que, al finalizar la licenciatura, los egresados cuentan con la experiencia de trabajo en unidades mineras.

Con respecto a las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales e Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación, se identificó que se imparten más de 130 programas educativos por IES de Zacatecas y la zona de influencia. Sin embargo, estos planes de estudios no sólo carecen de infraestructura para tecnologías avanzadas sino también de conocimiento de las demandas del sector minero y, por ende, en el diseño de programas de especialización para este sector. Debe recordarse que el uso de las TIC y sistemas informáticos es uno de los temas transversales que está impactando en cada etapa de la cadena de valor del sector minero en el mejoramiento y optimización de la eficiencia productiva de equipos y procesos a través del diseño de *software*, manejo de modelos de datos, comunicación entre dispositivos a través del Internet de las cosas, desarrollo de redes y sistemas de seguridad informática, soporte técnico de maquinaria y equipo automático, así como en el mantenimiento preventivo de equipos.

Por otro lado, la evaluación realizada indica que las ingenierías pertenecientes a las divisiones de Mecánica, Industrial, Eléctrica Electrónica, Mecánica, Mecatrónica, Ambiental y Biotecnología carecen de elementos específicos para el sector minero. Por ello, estas carreras deberán profundizar en equipos y procesos propios de la minería, cuya característica es su gran tamaño y el trabajo pesado al que son sometidos.

Adicionalmente, se distinguen tres ejes fundamentales de ajuste a los planes de estudio acordes con las tendencias tecnológicas del sector minero: el primero de ellos se refiere al cuidado del medio, que implica introducir materias como gestión y ética ambiental. El

<sup>35</sup> De acuerdo con el Clúster Minero de Zacatecas (Clusmin), el plan de estudios de la carrera de Ingeniero Minero Metalurgista deberá separarse y formar las carreras de Ingeniería en Minas e Ingeniería en Metalurgia, pues ambos planes de estudios son amplios y difícilmente el egresado obtendrá un conocimiento enfocado en una de estas áreas en específico.

segundo se basa en una observación constante que se recibe por parte de las empresas mineras y se relaciona con el necesario fortalecimiento de los planes en cuanto a la formación de capacidades genéricas. En opinión de los empresarios, se confirma que hay debilidades en temas transversales a los diferentes planes de estudio de las carreras, las cuales se reflejan en problemas que tienen los egresados para satisfacer exitosamente las demandas de la industria. Se trata de competencias que deben ser fomentadas o fortalecidas como parte del proceso de formación profesional. Entre ellas destacan:

- ▶ Capacidad para investigar. Una de las principales inquietudes de los empleadores se relaciona con las limitantes que jóvenes egresados de carreras profesionales y técnicas presentan respecto a la investigación. Pertenecientes a una generación que ha crecido con el Internet como un elemento de su vida cotidiana, suelen utilizarlo como una herramienta para buscar información, de mera consulta, pero no lo aprovechan como una plataforma de aprendizaje autónomo. Más aún la práctica de copiar y pegar sin analizar el contenido de los textos es recurrente y va en detrimento del pensamiento crítico y la capacidad para redactar.
- ▶ Es importante formar a los alumnos para enfrentarse a contextos diferentes, por lo que la capacidad de investigar facilitará la adaptación y la generación de soluciones.
- ▶ Conocer el entorno laboral y regional. Otro aspecto por reforzar en los jóvenes son sus nociones sobre el entorno socioeconómico regional para comprender integralmente las actividades que ha de desempeñar en una industria como la minera y adoptar una postura proactiva ante factores ambientales, sociales y económicos.
- ▶ Manejo de diferentes idiomas. Los egresados tienen deficiencias en este rubro, lo cual les impide manejar textos, manuales y comunicación. El conocimiento del inglés es ya un requisito elemental.
- ▶ Trabajo en equipo e integración multidisciplinaria. Un punto que también se debe fortalecer es la actitud y habilidades para la interacción entre diferentes áreas, profesiones y personas.
- ▶ Iniciativa, creatividad, liderazgo y toma de decisiones. Múltiples son las situaciones que, como parte de los diferentes procesos, pueden presentarse en el trabajo y requerir que se elija la mejor opción para resolverlas, por lo que la capacidad para tomar decisiones de forma autónoma es indispensable.
- ▶ Adaptación a ambientes y situaciones laborales diversas. Los entornos laborales difieren, las técnicas y herramientas para el trabajo cambian, los horarios de las actividades se modifican, por lo que se requiere actitud para adecuarse a las circunstancias particulares.
- ▶ La capacidad para comunicarse efectivamente, oralmente y de forma escrita, constituye uno de los primeros elementos que detectan y evalúan los reclutadores de personal. Redactar coherentemente un currículum, tener un léxico amplio y expresarse bien verbalmente es necesario para desenvolverse con seguridad desde el momento en que la persona se presenta a una entrevista de trabajo para exponer sus cualidades.
- ▶ De acuerdo con los empresarios consultados, las necesidades más importantes de profesionistas calificados para la minería están en los puestos medios, donde los objetivos de seguridad económica, aprendizaje y promoción están relacionados con las habilidades de liderazgo, pensamiento estratégico y manejo de personal.

En la búsqueda de talento humano, cuya integración a una organización favorezca su desarrollo, los empresarios destacan el valor de las competencias actitudinales, entre las que sobresalen, además del liderazgo:

- ▶ La visión de negocio: en el sentido de que el egresado sepa trazarse metas, no sólo para cumplir con sus funciones sino, asimismo, para crecer profesionalmente en el sector minero.



- ▶ El espíritu competitivo y emprendedor: que implica tener la iniciativa para resolver problemas y para proponer cambios que conduzcan a mejoras.

El tercer eje está directamente relacionado con las TIC, cuya aplicación en minería requiere incluir en los planes de estudio asignaturas basadas en la aplicación de sistemas de control a distancia, fundamentos de inteligencia artificial, Internet de las cosas, computación en la nube, manejo de *big data* y desarrollo de aplicaciones para redes inteligentes y robótica. Por otro lado, existen dos elementos que deben reforzar las instituciones de educación superior de Zacatecas, el primero es relativo a la capacitación del cuerpo académico, por lo que se requiere de programas para mejorar la docencia, realización de posgrados por parte de los profesores, iniciar programas de investigación en los temas de vanguardia identificados en este estudio y vinculación institucional con las empresas del sector. También debe aumentarse sustantivamente la inversión en infraestructura educativa para la implementación de laboratorios, talleres y plantas de prueba, así como la adquisición de materiales, equipos y maquinaria para la práctica docente.

### 5.3.2. Carreras técnicas (bachillerato tecnológico)

La oferta educativa a nivel bachillerato tecnológico se analizó con base en los sistemas educativos del Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (Conalep), el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios (CBTis) y el Centro de Estudios Tecnológicos Industriales y de Servicios (CETis), en conjunto se identificaron 57 programas educativos afines al sector minero impartidos a nivel nacional<sup>36</sup>.

Actualmente en el estado de Zacatecas, el sistema Conalep imparte en tres planteles educativos las carreras técnicas de Electromecánica Industrial, Máquinas Herramienta, Motores a Diésel, Metalmecánica, y Seguridad, Higiene y Protección Civil. Las carreras técnicas de los CBTis se imparten en seis planteles y están dirigidas a la Administración de Recursos Humanos, Electricidad, Electromecánica, Logística, Mantenimiento Automotriz, Mecánica Industrial, Minería, Programación y Soporte y Mantenimiento de Equipo de Cómputo. El sistema CETis aporta recursos humanos con conocimientos técnicos en administración de recursos humanos, mantenimiento automotriz, programación, y soporte y mantenimiento de equipo de cómputo impartidas en tres planteles. En conjunto se imparten 35 programas educativos que representan a 19 carreras técnicas distribuidas en 12 planteles<sup>37</sup>.

De acuerdo con las tendencias tecnológicas y las entrevistas realizadas a las unidades mineras y empresas proveedoras, el conocimiento a nivel técnico es cada vez más requerido en las actividades auxiliares del proceso minero, principalmente en las áreas de mantenimiento, laboratorio y sistematización. Por lo tanto, se definieron como carreras técnicas prioritarias la de Minería, Minero- Metalurgista, Mantenimiento de Sistemas Automáticos, Mantenimiento de Sistemas Electrónicos, Manufactura Metalmecánica, Electromecánica Industrial, Motores a Diésel, Conservación del Medio Ambiente, y Seguridad e Higiene y Protección Civil<sup>38</sup>.

El análisis de las características actuales de estos planes de estudio en Zacatecas y la zona de influencia del Clusmin, indica que existe sólo un plan de estudios dirigido a la formación de técnicos en minería del cual, según datos de la Secretaría de Educación Pública (SEP) en 2016, egresaron 69 técnicos. Esto resulta insuficiente, principalmente para un estado donde la principal actividad es la minería. Por otro lado, las tendencias tecnológicas analizadas señalan que se requerirán técnicos en minería y minero metalurgista como

<sup>36</sup> Véase a detalle la descripción de los datos en el Anexo 5.4.

<sup>37</sup> Véase a detalle la descripción de los datos en el Anexo 5.5.

<sup>38</sup> Véase a detalle la descripción de las características en el Anexo 5.6.

apoyo en la aplicación de técnicas de análisis de minerales refractarios, en actividades de operación, mantenimiento y seguridad de minas, así como personal para la aplicación de trituración y molienda, en el uso de equipos de medición, identificación de factores de riesgo, y en el uso de simuladores de realidad aumentada y capacitación de equipos y maquinaria de vanguardia. Los planes de estudio actuales carecen de capacitación en temas de seguridad, higiene y protección civil y de personal docente con capacidad en el uso de *software* especializado, así como débil comunicación y colaboración con el sector minero de Zacatecas.

Para el sector minero, la mayor demanda de recursos humanos con conocimientos técnicos será para el mantenimiento de sistemas automáticos utilizados para la instalación de maquinaria y equipo, diagnóstico de fallas y mantenimiento correctivo; así como técnicos en mantenimiento de sistemas electrónicos para la eficiencia en los procesos autónomos, operación de sistemas electrónicos digitales y en técnicas de mantenimiento preventivo y correctivo; estas carreras técnicas se basan en nuevas tecnologías relacionadas con la automatización, operación de sistemas electrónicos digitales, programación de robots, aplicación de sistemas inteligentes, y el uso de sensores y nanomateriales. De acuerdo con la oferta educativa actual, las carreras técnicas apropiadas no se imparten en el estado de Zacatecas.

Los talleres mecánicos, áreas de filtrado y mantenimiento eléctrico de las unidades mineras requerirán de técnicos en metalmecánica, electromecánica industrial y motores a diésel y eléctricos que conozcan del manejo de sistemas computacionales en el monitoreo de equipos y procesos, mantenimiento preventivo, conocimiento de maquinaria pesada, manejo de macro y micro materiales, mejoras de materiales para evitar su desgaste y programación y operación de máquinas herramienta. Tanto en el estado de Zacatecas como en la zona de influencia, estas carreras técnicas son impartidas, aunque se encuentran limitadas en cuanto a prácticas profesionales y de vinculación con el sector minero, así como en el diseño de programas técnicos dirigidos a actividades específicas como el uso de maquinaria y equipo jumbo.

Debido a las políticas ambientales internacionales y nacionales que se establecen para la conservación del medio ambiente por parte de la industria minera, se prevé el requerimiento de conocimiento técnico capacitado en seguridad y legislación ambiental, prevención y manejo de riesgos y en la aplicación de procedimientos normalizados. En este sentido, las nuevas tecnologías se basan en la operación de equipos de monitoreo atmosférico, aplicación de energías alternativas y la operación de equipos de tratamiento de agua. Por su relevancia debe promoverse entre la industria y el sistema Conalep, el diseño de un plan de estudios enfocado a atender las necesidades de conocimiento para subsanar las repercusiones ambientales ocasionadas por la explotación, extracción y cierre de minas.

La seguridad laboral es otro de los temas considerados como transversales y su aplicación y conocimiento se convierte en una ventaja competitiva para las empresas mineras. Por lo tanto, la seguridad e higiene y protección civil dirigido al sector minero requiere de conocimientos como la prevención, evaluación, gestión de riesgos, operación de equipos de seguridad, capacitación a personal sobre sistemas de seguridad e higiene e interpretación de legislación y normas de seguridad laboral. Revisando los planes de estudio referente a este tema impartidos en Zacatecas y los estados que conforman la zona de influencia, se destaca la enseñanza en el manejo de materiales peligrosos, la administración de riesgos por sustancias peligrosas, maquinaria y equipo, interpretación del marco normativo de protección civil y el aprendizaje de técnicas de sensibilización del personal. Asimismo, se ha identificado la falta de asignaturas en legislación laboral y ambiental y en la resolución de problemáticas ambientales específicas de la industria minera.

Con base en este análisis se concluye que los sistemas educativos de bachillerato tecnológico deberán coordinar esfuerzos con la industria para rediseñar los planes de estudios con el objetivo de crear perfiles técnicos que respondan a las tendencias tecnológicas y sociales del sector, así como para promover en el personal operativo de las minas la especialización técnica.

## 5.4. Síntesis de brechas entre la oferta y demanda de capital humano

El análisis de la situación presentada fue discutido con representantes de los sectores industrial y académico en sendos talleres, lo cual ha permitido identificar las brechas que los perfiles prioritarios deberán cubrir para enfrentar la evolución tecnológica y el entorno social que rodea a la minería zacatecana. En consecuencia, como principales brechas identificadas se encuentran las siguientes:

- ▶ Egresados de las carreras afines al sector minero se encuentran limitados en conocimiento y especialización en el uso y aplicación de nuevas técnicas, equipos, maquinaria y procesos en los que predominan ventajas tecnológicas basadas en electrónica, tecnologías de la información y comunicación, mecánica y nuevos materiales. Asimismo, los egresados en minas y metalurgia carecen de preparación técnica en gestión de la calidad, seguridad, salud operacional, legislación minera, sustentabilidad y políticas públicas, temas que han recobrado fuerza en los últimos años con la aplicación de normas más rígidas para la regulación ambiental, seguridad y protección civil y laboral (sindical). Otro aspecto es la falta de capacitación para la resolución de conflictos operativos y laborales.
- ▶ Reducida formación de profesionales en el área de geociencias (geología, geofísica y geomática) que aportan conocimiento en la etapa de exploración a través del uso y aplicación de la tecnología basada en el Internet de las cosas, modelación de cuerpos geológicos subterráneos, sistemas autónomos, exploración a distancia, prospección y explotación georreferenciada (SIG y percepción remota), uso de espectrometría de infrarrojo (SWIR), radares, mapeo de alternancias geológica, caracterización de condiciones mineralógicas a mayor detalle, geomodelación, modelación geológica en 3D, drones para toma de muestras y análisis geofísicos a lugares pocos accesibles. Por otro lado, las tendencias mundiales muestran que la industria minera comienza a diversificarse, considerando metales que se encuentran en pocas concentraciones, pero con un alto valor económico (tierras raras). Sin embargo, existen pocos expertos de esta área.
- ▶ No existen en los planes de estudio de las carreras transversales a la minería que promuevan la aplicación de conocimientos para el desarrollo de aplicaciones en diseño de minas subterráneas ultraprofundas y a cielo abierto, aplicaciones de sensores utilizados para mejorar la seguridad.
- ▶ Los egresados de carreras profesionales y técnicas que se incorporan a la industria minera no se encuentran capacitados para el planteamiento de problemas, tomar decisiones, diseñar proyectos y desarrollar habilidades interpersonales, alineadas a las competencias específicas de cada área de estudio. Actualmente, los planes de estudio incluyen en poca medida materias optativas dirigidas al desarrollo de habilida-

des, aptitudes, actitudes y valores<sup>39</sup>; sin embargo, el entorno competitivo demanda adquirir destrezas para enfrentar los retos laborales y contribuir al desempeño productivo desarrollando capacidades genéricas basadas en capacidad de abstracción, análisis y síntesis; aplicar conocimientos en la práctica para resolver un problema definido; planificación y gestión del tiempo; capacidad de investigar en el campo específico; capacidad de aprender y actualizarse permanentemente; habilidades de gestión de la información; capacidad de juicio crítico; capacidad de innovar y transformar el campo específico de intervención profesional; capacidad de trabajar en un equipo interdisciplinar; respeto a la diversidad y multiculturalidad; habilidad para trabajar en un contexto internacional; diseño, gestión y evaluación de proyectos; creatividad; emprendedurismo; compromiso ético y solidario; capacidad para intervenir en la política pública; y compromiso social y ambiental (Bravo Salinas, 2007). Así como técnicas más específicas que complementen el conocimiento profesional como administración, contabilidad, finanzas, gestión empresarial, entre otras.

- ▶ De manera comparativa entre instituciones de educación nacional e internacionales que forman capital humano en áreas de ciencias de la tierra, geociencias e ingenierías, se distingue una brecha en la infraestructura y equipamiento para el desarrollo de la investigación, prácticas profesionales, uso y capacitación de equipos con tecnologías avanzadas. Las IES nacionales carecen de laboratorios de análisis fisicoquímicos para dar servicio a la industria; asimismo, existen modelos matemáticos de simulación insuficientes para el proceso productivo; se requiere de laboratorios y simuladores para la capacitación en maquinaria automatizada y alta tecnología; así como la adquisición de simuladores y laboratorios de realidad virtual. Por otra parte, equipos computacionales y de programación para el desarrollo y uso de *software* para el manejo de datos en la formación de mapas geológicos; para el modelamiento terrestre con técnicas complejas que convierten datos geofísicos en modelos terrestres en 3D; modelos de explosivos, fragmentación de rocas y diseño de voladuras; y desarrollo de *software* para el seguimiento de los trabajadores y gestión del personal. Además, equipos para el levantamiento electromagnético aerotransportado, mediciones geofísicas, geoquímicas y tecnologías de perforación, mediciones de alta profundidad, geófonos digitales para la prospección sísmica y sensores magnéticos de baja frecuencia para la prospección electromagnética; y la adquisición de robots móviles, sensores, exploradores y drones.
- ▶ La falta de actualización y capacitación constante de los formadores de capital humano de ciencias de la tierra trae como consecuencia impartición de asignaturas atrasadas en comparación con el conocimiento que demanda el sector minero. Por lo que el personal docente deberá capacitarse por medio de diplomados o maestrías profesionalizantes para enfrentarse a los cambios tecnológicos. Los principales posgrados en Ciencias de la Tierra a nivel nacional incluyen: el Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM, el del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (Cicese), el del Instituto Politécnico Nacional, el de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en la Universidad de Sonora, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el del Instituto Mexicano del

39 Habilidades: Observación y memoria visual, organización, planeación, eficiencia, manejo de *software* especializado en la minería, uso y manejo de explosivos, relación con comunidades, relación con sindicalizados, idioma inglés.

Aptitudes: Conocimientos, capacidad de trabajo bajo presión, orientado a resultados, seguridad, manejo de personal, análisis y solución de problemas, buena condición física, adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y sociales.

Actitudes: Iniciativa, proactivo, propositivo, liderazgo, trabajo en equipo, puntualidad, disposición de servicio, curiosidad y con ganas de aprender, facilidad para vivir en zonas mineras y cambiar de domicilio, facilidad de comunicación oral y escrita.

Valores: Honradez, franqueza y confidencialidad, ética, respeto y lealtad, compromiso con el medio ambiente. (UNAM-Facultad de Ingeniería, 2014)

Petróleo, el del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C., el de la Universidad de Guadalajara, y la Universidad Autónoma de Fresnillo. Se debe señalar que no todos ellos se enfocan en aspectos mineros. Además de los mencionados, estas y otras instituciones tienen planes relacionados a la metalurgia, minería y ciencia de materiales. Las líneas de investigación son: yacimientos minerales, minería y ciencias ambientales; geociencias ambientales, geofísica aplicada, geología y sismología; exploración y explotación de recursos naturales, geociencias y planificación del territorio; mineralogía; ciencia y tecnología de la metalurgia; administración y economía minera; y doctorado en ciencia y tecnología de materiales.

## 5.5. Conocimientos técnicos y estrategias al 2025

Ante este escenario actual, el reto será reducir las brechas entre las características de la oferta educativa actual y la prospectiva de los perfiles profesionales que requerirá la industria de acuerdo con las tendencias tecnológicas para los próximos años. Se realizó para cada etapa de la cadena de valor un mapa de ruta en el tiempo (2015 – 2025) que señala los conocimientos más relevantes a adquirir para enfrentar los avances y desarrollos tecnológicos. Estos conocimientos impactan en la reducción de costos operativos, conservación del medio ambiente y seguridad laboral. Una vez identificados los conocimientos y las tecnologías se diseñaron estrategias de vinculación, colaboración y capacitación entre instituciones y empresas nacionales e internacionales del sector minero<sup>40</sup>. Como resultado de este análisis, en el cuadro 5.8 se resumen las estrategias recomendadas para mejorar las condiciones para la formación de capital humano al 2025.

Cuadro 5.8. Resumen de las estrategias recomendadas para fortalecer las capacidades educativas al 2025

Etapas	Estrategias recomendadas
Prospección	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Convenios de colaboración para el análisis de tecnologías de sondeo profundo y desarrollo de TIC aplicadas a las geociencias con el Instituto Federal de Tecnología de Suiza, Universidad de Queensland y la Universidad de Ciencias Aplicadas del Noreste de Suiza.</li> <li>– Instalación de simuladores en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Instituto Politécnico Nacional-Unidad Zacatecas.</li> <li>– Redes de colaboración y programas de becas con el Instituto Federal de Tecnologías de Suiza, Universidad de Queensland.</li> <li>– Seminarios y congresos para la discusión de técnicas analíticas con la UAZ, Facultad de Química y el Instituto de Geofísica.</li> </ul>
Explotación	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vinculación del personal de mina y académicos del estado de Zacatecas con la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Universidad de Chile, Centro Avanzado de Tecnologías para la Minería (AMTC), Escuela de Minas de Colorado y la Universidad Técnica de Alemania para el conocimiento de sistemas automatizados en la ejecución, control y rastreo de personal.</li> <li>– Desarrollo de tecnologías en automatización, robotización y técnicas de voladura en colaboración con la Corporación Nacional del Cobre (Codelco), Río Tinto, Dundee Precious Metals y Northern Centre for Advanced Technology (Norcat).</li> </ul>

40 Véase a detalle las estrategias en el Anexo 5.7.

Etapa	Estrategias recomendadas
Beneficio	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Firma de convenios con la Escuela de Minas de Colorado, Universidad de Oxford, Consejo de Innovación Minera de Canadá (CMIC), Atlas Copco, Centro de Investigación Científico Tecnológico de la Minería (Cicitem) y Sustentable use of earth’s natural resources (Outotec) para el conocimiento de tecnologías en los procesos de conminución, separación y flotación.</li> <li>– Acuerdos de colaboración con el Instituto Tecnológico de Massachusetts, Instituto Lowell en Arizona y Facultad de Química de la UNAM para la atracción de expertos en ciencias computacionales de materiales y para la optimización de procesos fisicoquímicos de separación y concentración respectivamente.</li> </ul>
Extracción	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Apoyo en proveedores como Sandvik, FLSmidth y Barrick para el desarrollo de tecnologías en hidrometalurgia y electrometalurgia.</li> <li>– Implementación de nuevos procesos y técnicas de concentración de mineral con la Facultad de Química de la UNAM, Cicitem, Codelco y Codelco Tech.</li> </ul>
Cierre y rehabilitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desarrollo de una red temática para la revisión del uso y aplicación de tratamientos biotecnológicos en colaboración con la UNAM, IPN, UAZ, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), empresas mineras y proveedoras.</li> <li>– Acuerdos de colaboración con la Universidad de California para la mitigación y prevención del impacto ambiental y con instituciones nacionales para la identificación de microorganismos extractores de metales.</li> <li>– Capacitación en programas de posgrado para la especialización en tecnologías para la prevenir el daño ambiental impartidas en la Universidad Politécnica de Madrid y en la Universidad de Stanford en temas ambientales con un enfoque holístico.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia con datos de la Anuiés, 2015-2016.

Estas estrategias están enfocadas en la necesidad de ampliar y especializar los conocimientos técnicos tanto de los docentes, estudiantes y trabajadores de las unidades mineras y empresas proveedoras, a través de relaciones con instituciones y centros de investigación nacionales e internacionales de amplio reconocimiento, para realizar convenios de colaboración, establecer redes temáticas y programas de colaboración interinstitucional. Desarrollar conjuntamente tecnologías con las empresas proveedoras de maquinaria y equipo, así como esquemas de soporte técnico facilitará el entrenamiento de trabajadores para el manejo de las tecnologías de vanguardia requeridas por el sector minero.

## Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con lo analizado, para que la oferta educativa actual cumpla con las necesidades técnicas y sociales que demanda el sector minero será necesario promover por parte del sector educativo, gobierno y el Clúster Minero de Zacatecas una serie de políticas dirigidas al desarrollo profesional de estudiantes, docentes y trabajadores de las unidades mineras y empresas proveedoras del sector y los aspectos adicionales que esto involucra<sup>41</sup>.

- ▶ Actualizaciones periódicas a los planes de estudio de las carreras afines al sector minero incorporado las especificidades técnicas que, por su formación, cada una de estas requiere de acuerdo con la prospectiva tecnológica y las demandas del sector minero. Asimismo, considerar cambiar los enfoques en la formación de los recursos humanos de acuerdo con las tres grandes tendencias generales para todas las etapas de la cadena de valor de la minería: mejoramiento de la eficiencia, disminución de consumo energético y cuidado del medio ambiente.

41 En el Anexo 5.8, se incorporan las áreas y estrategias de mejora para alcanzar los objetivos del sector minero de acuerdo con cada uno de los perfiles profesionales.

- ▶ Incluir en los enfoques de los planes de estudio de las carreras profesionales y técnicas transversales el conocimiento de las demandas del sector minero. Así como fomentar en éstas el uso de tecnologías de la información, equipos, maquinaria y materiales de vanguardia.
- ▶ Desarrollo de competencias genéricas más allá de habilidades, aptitudes y actitudes incorporadas en los planes de estudio actuales, sino también de aquellas necesarias para diseñar escenarios futuros, planteamiento y resolución de problemas, planificar y gestionar el tiempo, tomar decisiones y diseñar proyectos. Por otro lado, impulsar habilidades específicas como economía minera, administración de proyectos, legislación minera, y considerara el inglés como una materia de asignatura.
- ▶ Generar programas de capacitación, talleres, cursos, diplomados que actualicen los conocimientos de técnicos y profesionales ocupados en las unidades mineras y empresas proveedoras en temas como sensores, sistemas inalámbricos, microprocesadores, microcontroladores, procesamiento de señales, instalaciones eléctricas en minas, así como en temas de impacto social como legislación minera, ambiental, economía y conflictos sociales.
- ▶ Diseñar planes de estudio flexible dirigidos a los técnicos y operativos de las empresas mineras y proveedoras con el objetivo de impulsar la profesionalización a través de planes de carreras acreditados por instituciones de educación media superior y superior, como por ejemplo el programa de 'trayectorias técnicas' promovido por el Conalep.
- ▶ Estimular la certificación a través de Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (Conocer) generando empleados con competencias y certificando además a capacitadores, alumnos y egresados ligados a procesos específicos de la industria.
- ▶ Formalizar las estancias, prácticas profesionales, servicio social, otorgamientos de becas, programas de vinculación, etc., a través de convenios de colaboración de largo plazo que certifiquen el compromiso de ambas partes en la formación de profesionales y su compromiso con la sociedad.
- ▶ Diseñar programas de difusión y divulgación de los requerimientos de recursos humanos del sector minero a través de foros, eventos, ferias de empleo, seminarios, pláticas, entre otras, que promuevan la interdisciplinaridad y acercamiento de los estudiantes a la industria.
- ▶ Creación de un centro de capacitación y pruebas para el desarrollo de capacidades y competencias del personal. Cabe mencionar que, debido a la experiencia y resultados del programa de Ingeniería Metalúrgica del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Zacatecas, se propone replicar el modelo de educación dual en diferentes carreras profesionales y técnicas, con el objetivo de involucrar no sólo al estudiante sino también al docente en las prácticas profesionales (en minas) enfrentando las problemáticas actuales del sector.
- ▶ Promover por parte del gobierno y el sector educativo convenios, programas de investigación y otorgamiento de becas en universidades y centros de investigación internacionales que estimulen el desarrollo académico y especialización en procedimientos técnicos de acuerdo con los perfiles profesionales y las necesidades tecnológicas de cada etapa de la cadena de valor.
- ▶ Invertir en infraestructura educativa. Capacitación y actualización de formadores de capital humano en instituciones nacionales e internacionales con base en los requerimientos de tecnológicos de cada una de las etapas de la cadena valor. Equipar laboratorios con equipos, maquinaria y nuevos materiales; así como la instalación de platas piloto y adquisición de minas para pruebas.

- ▶ El Clusmin<sup>42</sup> deberá realizar diversas actividades, diseñar estrategias y apoyar políticas que propicie el acercamiento con los actores indirectos e instituciones de apoyo en busca del beneficio común. Como parte de estas políticas que debe impulsar el Clusmin se encuentra el crear un programa intensivo de desarrollo de proveedores con el objetivo de satisfacer las demandas del sector de manera oportuna y efectiva con altos estándares de calidad; así como un centro de investigación para la minería que cuente con el equipamiento de laboratorios y simuladores que contribuyan a la investigación, desarrollo, innovación, servicios científico-técnicos de la industria y se desarrolle tecnología nacional.

## Recomendaciones al sector minero y al Clusmin

- ▶ Formalizar convenios de colaboración y vinculación con las universidades y bachilleratos técnicos que motive en los estudiantes la vocación, el desarrollo profesional y la capacitación, así como también la actualización de la planta docente ante los retos que enfrenta el sector.
- ▶ Debido a la falta de conocimiento sobre los alcances que carreras profesionales como Mecatrónica, Robótica, Informática, Bioquímica, Biotecnología, Nanotecnología, TIC, entre otras, pueden aportar para solucionar problemas técnicos y operativos basados en la aplicación de nuevos materiales, uso de equipos de vanguardia, utilización de sistemas computacionales y el desarrollo de innovaciones específicas, se recomienda asistir, participar o realizar conjuntamente con las IES eventos, ferias de empleo, exposiciones, jornadas universitarias, seminarios que promuevan la vinculación y la interdisciplinariedad entre ambos sectores.
- ▶ Para formar técnicos en Seguridad e Higiene y Protección Civil, Conservación del Medio Ambiente, Mecatrónica y Química Industrial especializados en el sector minero, se recomienda generar de manera conjunta con el Conalep el diseño de carreras o 'trayectorias técnicas' basadas en la fusión de planes de estudio de estas carreras con las relacionadas con minero metalurgista y metalurgia. Estas podrán ser impartidas a trabajadores de la industria o en la formación de nuevo capital humano.
- ▶ Se recomienda promover el desarrollo de capacidades genéricas en los trabajadores a través de la certificación de cursos técnicos (uso de *software* especializado, mantenimiento y operación de equipos y maquinaria, uso de explosivos y voladuras, operación de vehículos, seguridad y protección civil, técnicas de primeros auxilios) adquiridos de acuerdo con las características técnicas del puesto. Apoyándose de capacitadores de instituciones de educación media superior y superior se avala ante el Conocer la calidad de los cursos. De esta manera la certificación de las competencias de los trabajadores promueve la competitividad laboral y el escalamiento de mejores remuneraciones.
- ▶ Es necesario trabajar en sensibilizar a los actores sobre el concepto de industria, más allá del de empresa individual. El Clusmin requiere el trabajo cooperativo para impulsar un sector más eficiente y competitivo.

---

42 A pesar de que el principal papel del Clusmin es promover y fortalecer la industria minera metálica a través de trabajos conjuntos con proveedores, instituciones de educación e instancias gubernamentales, cabe señalar que, éste se encuentra apenas en el proceso de lograr la articulación de la industria, ya que los intereses e idiosincrasia de algunas empresas, centros de enseñanza o grupos políticos, han limitado la cooperación necesaria para lograr la eficiencia colectiva.



## Recomendaciones al sector educativo de Zacatecas

- ▶ Trazarse el escenario futuro de los contenidos educativos de las carreras de Ingeniería en Minas, Minero Metalurgista, Metalúrgica y Geología de acuerdo con las necesidades y características que la industria minera local está requiriendo y actualizarlos en periodos de cada cinco años. Asimismo, para mejorar las técnicas de introspección y exploración se recomienda incluir planes de estudio relativos a la Geofísica y Geomática, carreras que no se imparten en Zacatecas o promover el intercambio académico con universidades y centros de investigación internacionales para estudiantes de las carreras de geociencias.
- ▶ Construir redes temáticas multidisciplinarias entre investigadores y personal que labora en las minas y empresas proveedoras, en las cuales se aborden problemáticas específicas del sector como las técnicas de mitigación de impacto ambiental en minas a cielo abierto, la reducción de polvo en la etapa de extracción y los daños que produce en la maquinaria, con las comunidades cercanas y con las autoridades regulatorias, o para la definición del *software* especializado para realizar modelos geológicos que permita diseñar la geometría de la extracción.
- ▶ Generar programas de capacitación, talleres, cursos, diplomados que actualicen los conocimientos de técnicos y profesionales ocupados en las unidades mineras y empresas proveedoras en temas como sensores, sistemas inalámbricos, microprocesadores, microcontroladores, procesamiento de señales, instalaciones eléctricas en minas, así como en temas de impacto social como legislación minera, ambiental, economía y conflictos sociales.
- ▶ Diseñar una estrategia de difusión y divulgación de la oferta educativa técnica y profesional dirigida al sector minero, empresas proveedoras, instancias gubernamentales y la comunidad estudiantil, que tenga como resultados la realización de convenios, acuerdos de colaboración, apoyo a proveedores, desarrollo de programas, identificación de expertos y diseño de nuevos programas educativos especializados.

## Anexo 5.1. Instituciones de educación superior con programas afines al sector minero en el estado de Zacatecas

Institución de Educación Superior	No. Programas	Matriculados	Egresados
Universidad Tecnológica del Estado de Zacatecas	17	1,589	612
Universidad Autónoma de Zacatecas	15	4,678	409
Instituto Tecnológico de Zacatecas	9	2,376	255
Universidad Politécnica de Zacatecas	5	1,146	159
Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo	8	1,316	113
Instituto Tecnológico Superior de Loreto Zacatecas	3	709	77
Instituto Tecnológico Superior de Jerez	4	198	58
Universidad Autónoma de Fresnillo A.C.	3	250	58
Instituto Tecnológico Superior de Zacatecas Occidente	8	587	38
Instituto Politécnico Nacional (Unidad Zacatecas)	4	649	27
Instituto Tecnológico Superior de Zacatecas Norte	3	430	27
Instituto Tecnológico Superior de Nochistlán	6	535	27
Instituto Tecnológico Superior de Zacatecas Sur	3	348	25
Universidad Autónoma de Durango (Campus Zacatecas)	2	143	22
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	3	117	22
Universidad de la Vera-Cruz	1	56	15
Universidad Sierra Madre	1	19	13
Universidad Politécnica del Sur de Zacatecas	1	64	7
Instituto de Investigación para las Ciencias Ambientales A.C.	2	3	1
Universidad Insurgentes S.C. (Campus Zacatecas)	1	0	1
Universidad del Desarrollo Profesional A.C. (Plantel Zacatecas)	1	0	0
Universidad Autónoma de Durango (Campus Fresnillo)	1	55	0
<b>Totales</b>	<b>101</b>	<b>15,268</b>	<b>1,966</b>

Fuente: elaboración propia con datos de la Anuiés, 2015-2016.

## Anexo 5.2. Matriculados y egresados de carreras profesionales afines al sector minero impartidas en IES del estado de Zacatecas en el ciclo escolar 2015-2016

Carrera profesional	No. Programas	Matriculados	Egresados
Ingeniería en Sistemas Computacionales	13	1,540	217
Ingeniería Industrial	8	2,391	185
Arquitectura	8	1,714	181
Técnico Superior Universitario en Minería	2	404	133
Ingeniería en Mecatrónica	5	663	110
Ingeniería Civil	2	897	91
Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación	2	125	72
Ingeniería Minero Metalurgista	1	397	66
Técnico Superior Universitario en Mecatrónica. Área Sistemas de Manufactura Flexibles	1	116	61
Ingeniería Agronómica	1	712	59
Ingeniería Industrial en Sistemas de Producción	1	0	58
Ingeniería en Biotecnología	1	274	51
Ingeniería Topógrafo e Hidrógrafo	1	283	49
Ingeniería en Mantenimiento Industrial	1	75	48
Técnico Superior Universitario en Mecatrónica. Área Automatización	1	165	48
Técnico Superior Universitario en Mantenimiento. Área Industrial	1	144	43
Ingeniería Geólogo	1	212	39
Ingeniería en Informática	3	214	33
Técnico Superior Universitario en Procesos Industriales	1	128	32
Ingeniería en Electromecánica	2	254	29
Técnico Superior Universitario en Tecnologías de la Información y la Comunicación. Área Informática	1	61	24
Técnico Superior Universitario en Mantenimiento. Área Maquinaria Pesada	1	54	23
Ingeniería Química	1	249	23
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica	1	249	23
Ingeniería en Procesos y Operaciones Industriales	1	37	22
Técnico Superior Universitario en Tecnología de la Información y Comunicación. Área Redes y Telecomunicaciones	1	43	21
Ingeniería en Energía	1	57	21
Ingeniería Ambiental	3	261	18
Ingeniería en Computación	1	350	17
Técnico Superior Universitario en Tecnología de la Información y Comunicación. Área Sistemas Informáticos	1	40	17
Técnico Superior Universitario en Energías Renovables. Área Calidad y Ahorro de Energía	1	85	16

Ingeniería Arquitecto	1	56	15
Ingeniería Eléctrica	1	220	14
Ingeniería Técnico Minero	1	40	13
Ingeniería Mecatrónica	2	263	13
Ingeniería Electromecánica	2	350	11
Ingeniería Mecánica	1	435	11
Ingeniería Electrónica	1	94	10
Ingeniería Informática	1	51	9
Edificador y Administración de Obras	1	130	9
Ingeniería Industrial y de Sistemas	1	53	8
Matemáticas	1	77	8
Ingeniería en <i>Software</i>	1	189	7
Ingeniería en Tecnologías de Información y Comunicaciones	1	7	3
Física	1	181	2
Informática	4	1	2
Ingeniería en Sistemas de la Información	1	0	1
Ingeniería en Robótica y Mecatrónica	1	74	0
Ingeniería en Minería	2	344	0
Ciencias Ambientales	1	187	0
Ingeniería en Sistemas Computacionales en <i>Software</i>	1	0	0
Ingeniería Arquitectura Ambiental	1	1	0
Ingeniería Metalúrgica	1	48	0
Sistemas Computacionales	1	0	0
Ingeniería en Energías Renovables	1	23	0
Ingeniería Industrial en Procesos y Servicios	1	0	0
Ingeniería en Sistemas y Productividad Industrial	1	250	0
Totales	101	15,268	1,966

Fuente: elaboración propia con datos de la Anuiies, 2015-2016.

### Anexo 5.3. Características de la oferta educativa actual de los perfiles profesionales prioritarios impartidos en Zacatecas y su zona de influencia

Carrera profesional	Estado de Zacatecas	Zona de influencia	Carencias
Ingeniería en Minería	4 programas	5 programas impartidos en Durango, Coahuila, Chihuahua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Plantas de beneficio a nivel laboratorio.</li> <li>– Personal capacitado en el manejo de equipos automatizados.</li> <li>– Área con equipamiento para dar soluciones en el análisis de minerales.</li> <li>– Comunicación entre IES y de estas con el sector productivo minero.</li> <li>– Atención a las demandas técnicas del sector minero.</li> <li>– Convenio con Clusmin para la realización de prácticas de forma regular.</li> </ul>
Ingeniería Minero Metalurgista	1 programa	1 programa impartido en Chihuahua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reestructuración reciente del plan de estudios.</li> <li>– Falta actualización del personal docente.</li> <li>– Equipamiento y laboratorios para metalurgia.</li> <li>– Simuladores de procesos metalúrgicos.</li> <li>– Materias de ética ambiental y cambio climático.</li> <li>– Formación de habilidades genéricas.</li> <li>– Asignaturas relacionadas con aplicaciones avanzadas de TIC.</li> </ul>
Ingeniería Metalúrgica	1 programa	2 programas impartidos en Durango y San Luis Potosí.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Formación en el uso de aplicaciones de <i>software</i>.</li> <li>– Programas de investigación.</li> <li>– Personal capacitado en seguridad, higiene y protección civil.</li> <li>– Laboratorios avanzados de análisis fisicoquímicos.</li> <li>– Colaboración interdisciplinaria.</li> </ul>
Ingeniería en Geología	1 programa	2 programas impartidos en Chihuahua y San Luis Potosí.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reestructuración del plan de estudios.</li> <li>– Falta de actualización del personal docente.</li> <li>– Vinculación con la industria.</li> <li>– Personal capacitado en el área de técnicas de prospección.</li> <li>– Infraestructura para prácticas con tecnología actual.</li> <li>– Un plan de trabajo en las prácticas profesionales con los objetivos bien definidos.</li> <li>– Investigadores en el conocimiento de extracción de ‘tierras raras’.</li> <li>– Equipamiento para el desarrollo de aplicaciones en diseño de minas, bajo tierra y a cielo abierto.</li> </ul>
Ingeniería Geofísica	No se imparte	No se imparte. Sólo se imparte en Campeche, Ciudad de México, Nuevo León, Puebla y Tabasco	No se imparte

Carrera profesional	Estado de Zacatecas	Zona de influencia	Carencias
Ingeniería en Geomática	No se imparte	3 programas impartidos en San Luis Potosí y Chihuahua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Asignaturas relacionadas con TIC y legislación minera</li> <li>– En Zacatecas se carece de capacidades para participar en temas de prospección y exploración.</li> </ul>
Ingeniería Química Metalúrgica	No se imparte	No se imparte. Sólo se imparte en Coahuila y Ciudad de México.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Coordinación entre los ingenieros de plantas metalúrgicas y los académicos.</li> </ul>
Ingeniería Industrial	7 programas, además 8 programas relacionados con Ingeniería Industrial y Sistemas de Producción, Mantenimiento, Procesos.	42 programas impartidos en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango y San Luis Potosí y más de 40 programas relacionados con Ingeniería Industrial Y Mecatrónica, Sistemas, Mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vinculación con la industria minera.</li> <li>– No se cuenta con un registro de alumnos incorporados a esta industria.</li> <li>– Programas de investigación.</li> </ul>
Ingeniería Eléctrica Electrónica	4 programas	14 programas impartidos en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango y San Luis Potosí; además 6 programas relacionadas con Electrónica y Sistemas Digitales, Industrial, Automatización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Formación de habilidades genéricas.</li> <li>– Aplicaciones a equipo propio de la minería.</li> <li>– Visión medioambiental como punto de aplicación de tecnologías en equipo electrónico.</li> <li>– Formación basada en TIC.</li> </ul>
Ingeniería Mecánica	1 programa, además 3 programas en Ingeniería Electromecánica	10 programas impartidos en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango y San Luis Potosí; también 10 programas relacionados con Ingeniería Mecánica y Automotriz, Eléctrica, Materiales, Administración.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Asignaturas desarrolladoras de habilidades genéricas.</li> <li>– Relación directa con la maquinaria y procesos propios del sector minero.</li> <li>– Vinculación dentro del sector minero.</li> <li>– Conocimiento de las demandas del sector minero.</li> </ul>
Ingeniería Mecatrónica	7 programas	56 programas impartidos en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango y San Luis Potosí.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conocimiento de las demandas del sector minero.</li> <li>– Infraestructura de laboratorios adaptados a las operaciones mineras.</li> <li>– Programas de investigación.</li> </ul>

Carrera profesional	Estado de Zacatecas	Zona de influencia	Carencias
Ingeniería Ambiental	4 programas	8 programas impartidos en Chihuahua, Coahuila, Durango y San Luis Potosí; además 11 programas relacionados con Ingeniería Ambiental y Tecnología, Seguridad, Manejo, Ecología.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Asignaturas asociativas entre las TIC y el cuidado ambiental.</li> <li>– Vinculación con la industria.</li> <li>– Fortalecimiento de habilidades genéricas.</li> </ul>
Ingeniería en Biotecnología	1 programa	4 programas impartidos en Aguascalientes, Chihuahua y Durango; además, 2 programas relacionados con Biotecnología y Química.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Conocimiento de las demandas del sector minero.</li> <li>– Acercamiento con el sector minero.</li> </ul>
Ingeniería en Sistemas Computacionales	13 programas	40 programas impartidos en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango y San Luis Potosí; además, 17 licenciaturas relacionadas con Sistemas Computacionales e Informática, Administración y <i>Software</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aplicaciones de las ciencias en computación en el ambiente minero y desarrollo sustentable.</li> <li>– Programas de investigación.</li> </ul>
Ingeniería en Tecnologías de la Información y comunicación	6 programas	40 programas impartidos en Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí; también 21 programas relacionados con TIC y Redes, Informática y Telecomunicación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Programas de investigación.</li> <li>– Infraestructura para tecnologías avanzadas.</li> <li>– Perfil enfocado al sector minero.</li> <li>– Desarrollo de competencias genéricas.</li> <li>– Conocimiento de las demandas del sector minero.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia con datos de la Anuiés, 2015 -2016 y entrevistas realizadas a las unidades mineras, empresas proveedoras, IES del estado de Zacatecas y expertos de la Facultad de Ingeniería y Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Anexo 5.4. Oferta educativa de los sistemas CETis, Conalep y CBTis

No.	CETis	Conalep	CBTis
1	Administración de Recursos Humanos	Conservación del Medio Ambiente	Administración de Recursos Humanos
2	Arquitectura	Electricidad Industrial	Arquitectura
3	Construcción	Electromecánica Industrial	Construcción
4	Electricidad	Mantenimiento Automotriz	Electricidad
5	Electromecánica	Mantenimiento de Motores y Plañeadores	Electromecánica
6	Electrónica	Mantenimiento de Sistemas Automáticos	Electrónica
7	Fuentes Alternas de Energía	Mantenimiento de Sistemas Electrónicos	Fuentes Alternas de Energía
8	Fundición de Metales y Acabados Industriales	Máquinas Herramienta	Laboratorista Químico
9	Laboratorista Químico	Mecatrónica	Logística
10	Logística	Metalmeccánica	Mantenimiento Automotriz
11	Mantenimiento Automotriz	Metalurgia	Mantenimiento Industrial
12	Mantenimiento Industrial	Minero Metalurgista	Mecánica Industrial
13	Máquinas Herramienta	Motores a Diésel	Mecatrónica
14	Mecánica Industrial	Productividad Industrial	Minería
15	Mecatrónica	Química Industrial	Producción Industrial
16	Producción Industrial	Refrigeración y Climatización	Programación
17	Programación	Seguridad, Higiene y Protección Civil	Refrigeración y Climatización
18	Refrigeración y Climatización	Soporte y Mantenimiento de Equipo de Cómputo	Soporte y Mantenimiento de Equipo de Cómputo
19	Soporte y Mantenimiento de Equipo de Cómputo	Telecomunicaciones	
20	Telecomunicaciones		
Carreras impartidas en el estado de Zacatecas			

Fuente: elaboración propia con datos del Conalep, CBTis y CETis, 2017.



## Anexo 5.5. Carreras técnicas afines al sector minero impartidas en el estado de Zacatecas

Sistema	Carrera técnica	Planteles	No. programas
Conalep	Electromecánica Industrial	3	2
	Máquinas Herramienta		1
	Metalmecánica		1
	Motores a Diésel		2
	Seguridad, Higiene y Protección Civil		1
CETis	Administración de Recursos Humanos	3	3
	Mantenimiento Automotriz		2
	Programación		2
	Soporte y Mantenimiento de Equipo de Cómputo		2
CBTis	Administración de Recursos Humanos	6	2
	Electricidad		1
	Electromecánica		2
	Electrónica		1
	Logística		1
	Mantenimiento Automotriz		1
	Mecánica Industrial		2
	Minería		1
	Programación		5
	Soporte y Mantenimiento de Equipo de Cómputo		3
<b>Total</b>		<b>12</b>	<b>35</b>

Fuente: elaboración propia con datos del Conalep, CBTis y CETis, (2017).

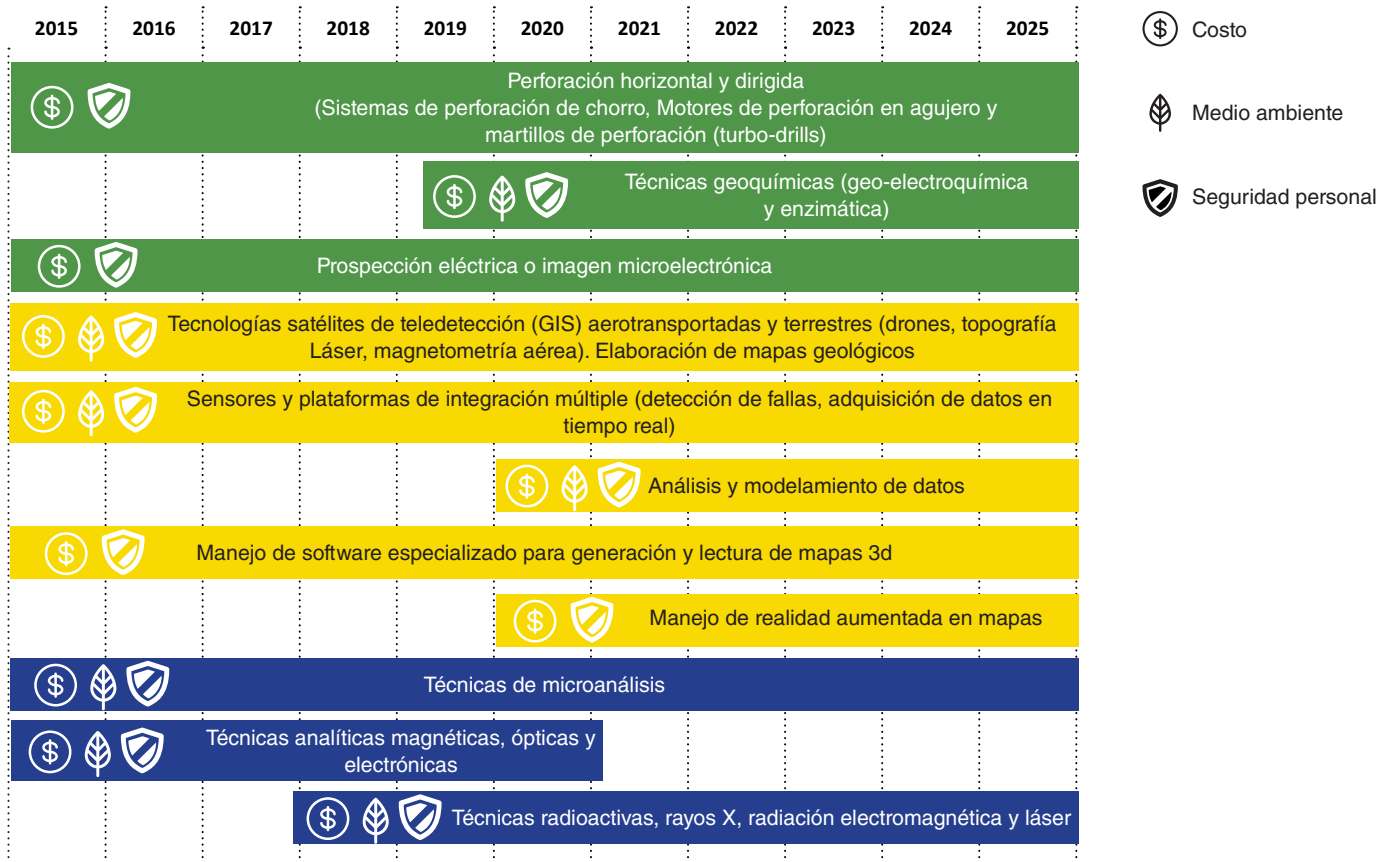
## Anexo 5.6. Características de la oferta educativa actual de los perfiles técnicos prioritarios impartidos en Zacatecas y su zona de influencia

Carrera técnica	Estado de Zacatecas	Zona de influencia	Carencias
Minería / Mine-ro Metalurgista	1 programa	2 programas impartidos en Chihuahua y Durango.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Apertura de carreras técnicas.</li> <li>– Personal con capacidad en uso de <i>software</i>, seguridad, higiene y protección civil.</li> <li>– Capacitación en temas de seguridad.</li> <li>– Equipos para poder desarrollar prácticas de los estudiantes, capacitación de docentes en temas específicos.</li> <li>– Apertura de las empresas para prácticas profesionales.</li> <li>– Poca comunicación y colaboración con el sector minero de Zacatecas.</li> <li>– Difusión y promoción de la oferta educativa.</li> </ul>
Mantenimiento de Sistemas Automáticos	No se imparte	4 programas impartidos en Aguascalientes, Coahuila y Chihuahua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Asignaturas desarrolladoras de habilidades genéricas.</li> </ul>
Mantenimiento de Sistemas Electrónicos	No se imparte	5 programas impartidos en Aguascalientes, Coahuila y Chihuahua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Asignaturas desarrolladoras de habilidades genéricas.</li> </ul>
Metalmecánica	1 programa	2 programas impartidos en Chihuahua y San Luis Potosí.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Programa con perfil en la industria minera.</li> <li>– Conocimientos análisis de fallas de materiales sujetos a servicios cíclicos.</li> </ul>
Electromecánica Industrial	2 programas	10 programas impartidos en Aguascalientes, Coahuila, Chihuahua, Durango y San Luis Potosí.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Asignaturas desarrolladoras de habilidades genéricas.</li> <li>– Vinculación con el sector minero de Zacatecas.</li> <li>– Colaboración con entidades académicas líderes en la enseñanza de ingeniería mecánica a nivel nacional.</li> <li>– Difusión de la oferta educativa en el sector minero del estado y su zona de influencia.</li> </ul>
Motores a Diésel	2 programas	3 programas impartidos en Chihuahua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Trayectos técnicos perfilados en maquinaria y equipo jumbo.</li> <li>– Impartición de habilidades genéricas.</li> <li>– Colaboración con el sector minero del Zacatecas.</li> <li>– Apertura del sector para el desarrollo de prácticas profesionales.</li> </ul>
Conservación del Medio Ambiente	No se imparte	No se imparte Se imparten en Guanajuato y Sinaloa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Desarrollo de habilidades genéricas.</li> <li>– Perfil de carrera enfocado a la industria minera.</li> </ul>
Seguridad e Higiene y Protección Civil	1 programa	4 programas impartidos en Aguascalientes, Coahuila y Chihuahua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Un perfil de carrera enfocado a instalaciones mineras.</li> <li>– Asignaturas acerca de legislación laboral y medioambiental en el ámbito minero.</li> <li>– Impartición de conocimientos sobre las técnicas en primeros auxilios.</li> <li>– Comunicación y colaboración con el sector minero de Zacatecas.</li> <li>– Sentido de seguridad ambiental.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia con datos del Conalep, CBTis, CETis y entrevistas realizadas a las unidades mineras, empresas proveedoras, Conalep Nacional y del estado de Zacatecas.

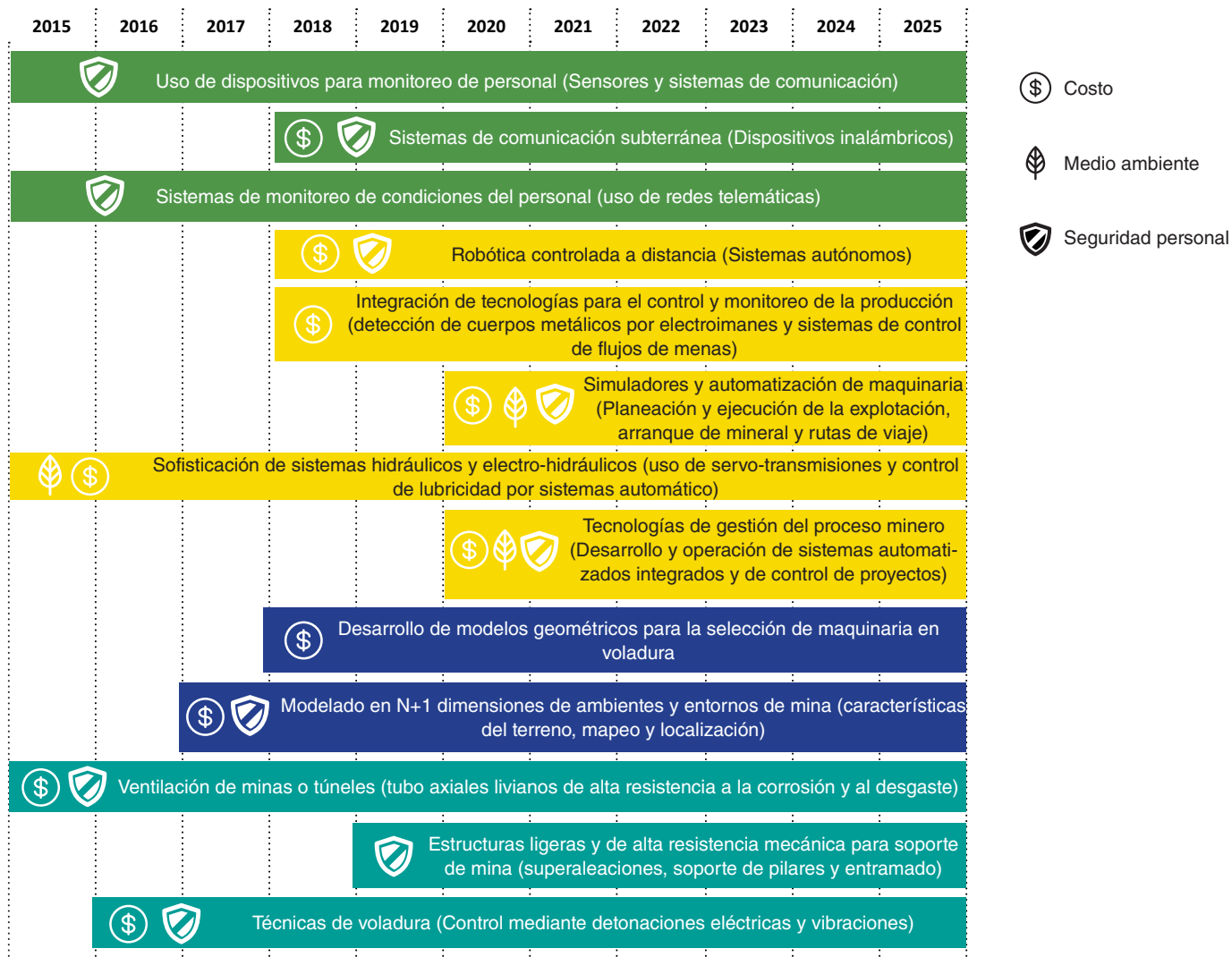
## Anexo 5.7. Conocimiento técnico y estrategias al 2025

### Prospección



Tecnología	Estrategia
Tecnologías de sondeo profundo. Manejo de equipos especializados en perforación profunda	Firmar convenios de colaboración con: el departamento de Ingeniería Civil, Ambiental y Geomática del Instituto Federal de Tecnología de Suiza; Escuela de Ingeniería Mecánica y Minera de la Universidad de Queensland; Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil y Geomática de la Universidad de Ciencias Aplicadas del Noreste de Suiza.
	Instalación de simuladores en Universidad Autónoma de Zacatecas, Instituto Politécnico Nacional-Unidad Zacatecas. Convenios de cooperación con minera Peñasquito para uso de simulador.
	Actividades de cooperación con empresas internacionales para aprendizaje y adopción de buenas prácticas en perforación profunda: Corporación Nacional del Cobre (Codelco).
	Atracción de expertos internacionales para servicios de consultoría y capacitación en adecuación o diseño de prácticas con CRC ORE, Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia (IM2).
TIC	Desarrollo de redes para la colaboración con: el Centro de Servicios en TI del Instituto Federal de Tecnología de Suiza; Escuela de Ingeniería Mecánica y Minera de la Universidad de Queensland; Facultad de Arquitectura, Ingeniería Civil y Geomática de la Universidad de Ciencias Aplicadas del Noreste de Suiza.
	Establecer programas de becas para la formación de profesionales en geociencias con manejo avanzado de TI: área de datos en Instituto Federal de Tecnología de Suiza; departamento de ingeniería en la Universidad de Queensland..
	Desarrollo de proyectos en colaboración con proveedores.
Técnicas analíticas	Desarrollo de seminarios y congresos para la actualización de la UAZ con conocimiento de instituciones nacionales como UNAM: departamento de Ingeniería Química Metalúrgica para Facultad de Química; Geomagnetismo y Exploración Geofísica del Instituto de Geofísica.
	Establecimiento de laboratorios de análisis geoquímico y capacitación de investigadores de la entidad.
	Convenios de colaboración con Escuela Occidental de Australia de la Universidad de Curtin en el área de exploración geofísica.

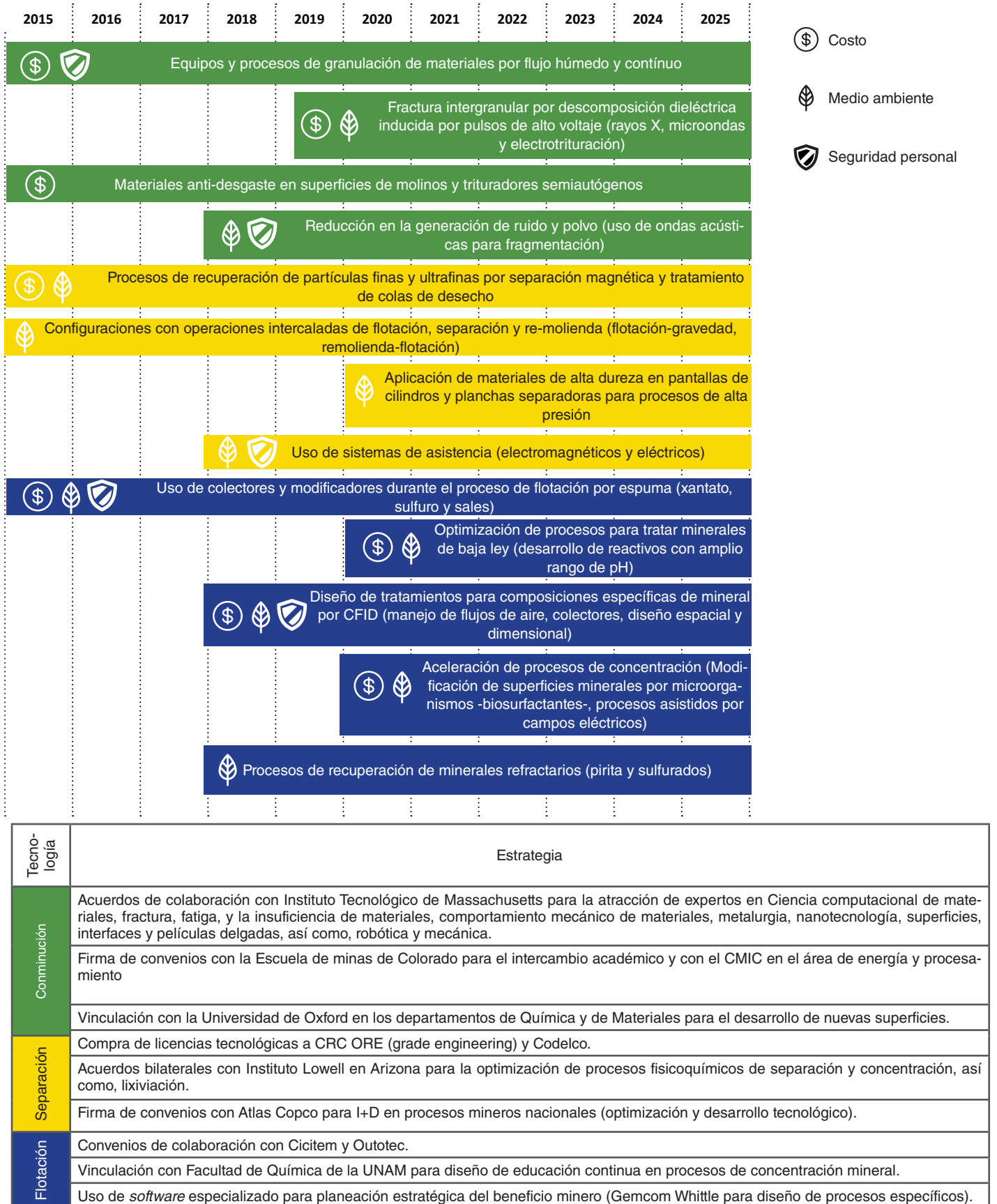
## Explotación



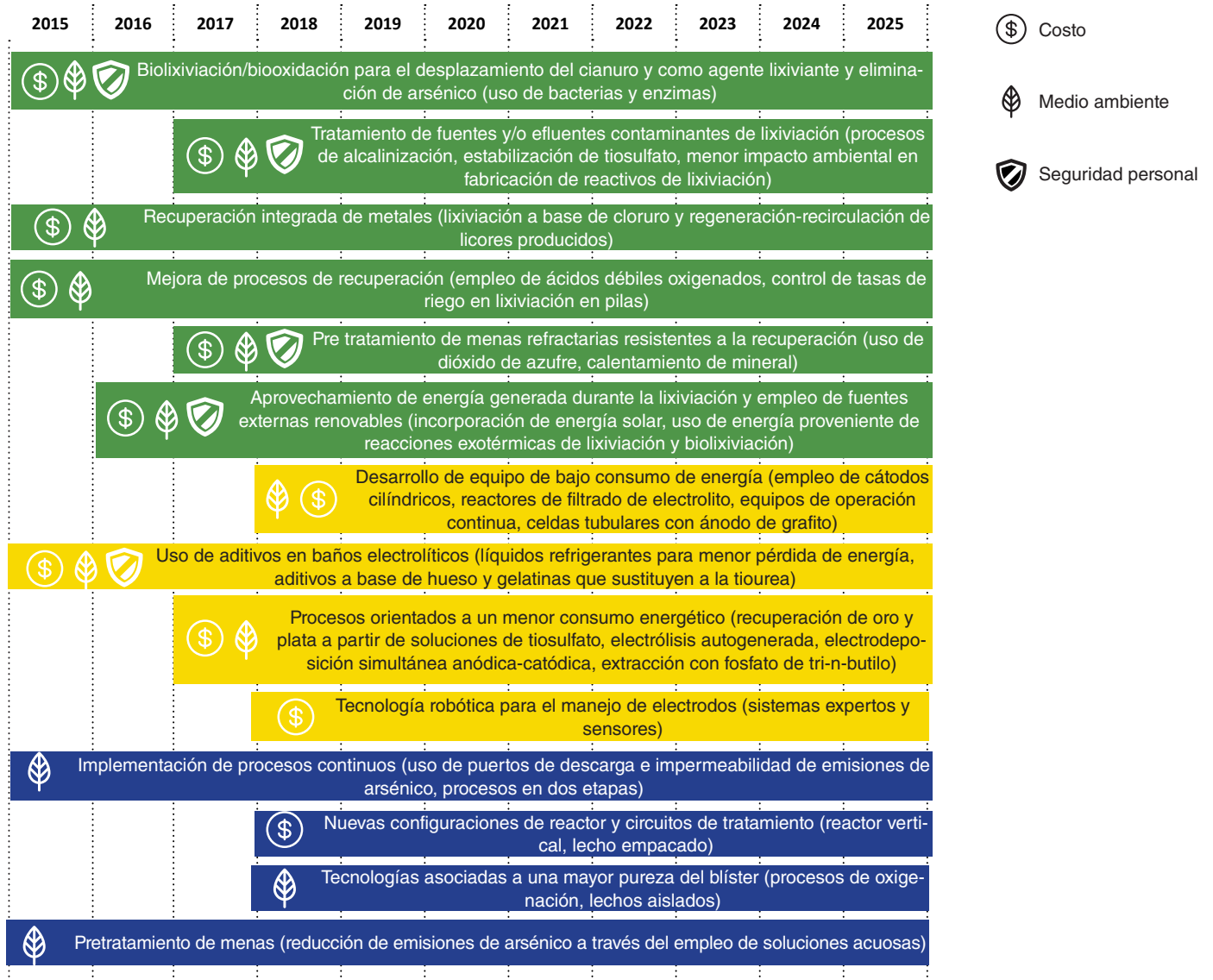
Tecnología	Estrategia
Sistemas automatizados para rastreo de personal	Establecer convenios de colaboración nacional con la coordinación de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM e ingeniería Mecatrónica del Instituto Politécnico Nacional-Unidad Zacatecas, así como con la Secretaría de Comunicaciones y Transporte para el desarrollo y/o implementación de nuevas tecnologías de comunicación.
	Convenios de colaboración con la Universidad de Queensland y Curtin en las áreas de TIC, minería y energía.
	Atracción de expertos e intercambio académico a nivel maestría entre las IES del estado de Zacatecas, la Facultad de Ingeniería de la UNAM y la Universidad de Chile en ingeniería en redes de comunicaciones.
	Desarrollo de tecnologías en colaboración y capacitación de personal en telecomunicaciones con empresas internacionales del sector, Corporación Nacional del Cobre (Codelco).

Tecnología	Estrategia
Sistemas automatizados para ejecución y control	Vinculación del personal de mina y académicos con la coordinación de la Maestría en Minería, en Gestión de Operaciones y Tecnologías de la información de la Universidad de Chile, así como, a nivel doctorado en Ciencias de la ingeniería y modelación matemática.
	Establecimiento de redes de cooperación con el Centro Avanzado de Tecnología para la Minería (AMTC) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.
	Alianza de cooperación con la Technische Universität Bergakademie Freiberg en Alemania en ejes de investigación sobre geoinformática, topografía de mina y geodesia aplicada.
	Desarrollo de tecnologías en colaboración y capacitación de personal con Codelco en áreas de información y gestión, automatización y robótica, firma de convenios con Río Tinto y Dundee Precious Metals
	Vinculación académica entre carreras de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, Instituto Politécnico Nacional-Unidad Zacatecas, Universidad Autónoma de Zacatecas y el Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo con la Escuela de minas de Colorado y la Universidad de Queensland con el fin de perfilar a los estudiantes hacia el sector minero.
Modelado	Desarrollo de seminarios y congresos para la actualización de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Instituto Tecnológico Superior de Fresnillo y el Instituto Politécnico Nacional-Unidad Zacatecas con la participación de la Universidad de Curtin, Universidad de Queensland, Universidad de Chile, Universidad de British Columbia, UNAM y empresas proveedoras de <i>software</i> .
Soporte estructural de mina	Establecimiento de relaciones con la Mina Operativa de Norcat en Canadá para la capacitación y prueba de técnicas de voladura y desarrollo de prototipos.
	Contratación de servicios de consultoría y capacitación en la Oficina de Investigación y Desarrollo de la Escuela de Minas de Australia Occidental de la Universidad de Curtin en pruebas, análisis de rayos X, geomecánica y pruebas en rocas y análisis geológico.
	Intercambio académico con la Universidad de British Columbia para estudiantes de las carreras de geociencias.
	Desarrollo de tecnologías en colaboración y capacitación de personal (estudios de Modelo teórico de voladura y desarrollos verticales) con Codelco junto con su filial IM2.

## Beneficio



## Extracción



Tecnología	Estrategia
Hidrometalurgia	Convenios de colaboración con Cicitem y Codelco Tech (BioSigma) para el desarrollo de biotecnologías extractivas.
	Vinculación con Facultad de Química de la UNAM para diseño de educación continua con nuevas técnicas en procesos de concentración mineral.
	Atracción de expertos en el área de metalurgia extractiva para implementación de nuevos procesos (CRC ORE y/o Codelco) u optimización de los actuales.
	Firma de acuerdos de colaboración con proveedores para desarrollo de tecnologías en el tratamiento de minerales refractarios e implementación de tecnologías de mayor eficiencia. Así como, diseño de capacitaciones (FLSmith, Barrick).
	Colaboración o compras de licencia de empresas con tecnologías avanzadas (Grupo México).
Electrometalurgia	Apoyo en proveedores para desarrollo de nuevas tecnologías en procesos de mayor selectividad (Sandvik).
	Desarrollo de programas teórico-prácticos para la puesta en práctica de las técnicas actuales.
	Consultoría con Codelco y atracción de expertos para la optimización y adopción de nuevas técnicas.
Pirometalurgia	Desarrollo de tecnologías a desafíos comunes y capacitación de personal con Codelco en áreas de información y gestión, automatización y robótica.
	Implementación de técnicas de pirometalurgia para el refinado de metales.
	Atracción de expertos del Instituto de Tecnología de Massachusetts y contratación de servicios de consultoría.

## Cierre



Tecnología	Estrategia
Tratamiento por procesos biotecnológicos	Acuerdos de colaboración con Universidad de California (UCB) para la atracción de expertos y capacitación de personal en las tecnologías más importantes para la mitigación y prevención del impacto ambiental.
	Desarrollo de una red temática de ciencias ambientales aplicadas en la gestión minera en colaboración con UNAM, UVM, UAM, IPN, UAG, UAZ, Semarnat y empresas.
	Acuerdos de colaboración con instituciones nacionales y en el extranjero para identificación de microorganismos extractores de metales y su producción industrial.
Tecnologías para la prevención	Aplicar correcciones diferentes para reducir los impactos durante y después de los trabajos de movimientos de material, Desarrollo de capacidad para integrar colaboraciones con otras áreas.
	Sensibilizar al resto de los perfiles para la adopción de prácticas y procesos de bajo impacto ambiental
	Programa de Maestría Europeo en Cambio Climático y Restauración de Áreas Degradadas (Recland), Universidad Politécnica de Madrid.
	Capacitación de personal técnico y actualización de operarios para la adaptación de procesos a entornos cambiantes e implementación de TIC en los procesos de gestión ambiental.
	Universidad de Stanford temas ambientales con un enfoque holístico.



## Anexo 5.8. Áreas y estrategias de mejora para cada uno de los perfiles profesionales y técnicos

### Área de Ciencias de la Tierra

Carreras	Áreas y estrategias de mejora
Ingeniería de Minas Ingeniería Minero Metalurgista Ingeniería Metalúrgica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Habilitar una mina para enseñanza y prácticas.</li> <li>– Introducir simuladores de operaciones mineras.</li> <li>– Incluir materias de políticas públicas y sustentabilidad .</li> <li>– Renovación de planes de estudio cada cinco años.</li> <li>– Modernizar laboratorios.</li> <li>– Introducir programas de investigación para enfrentar a los académicos a conocimiento de vanguardia.</li> <li>– Introducir la materia de inglés como obligatoria.</li> <li>– Planes de estudios flexibles (necesidades de la sociedad).</li> <li>– Comunicación de las IES con la sociedad.</li> <li>– Diseñar un modelo de educación dual involucrando al estudiante y al docente.</li> <li>– Establecer convenios entre industria privada, gobierno y las IES para lograr el equipamiento y las prácticas necesarias para el aprendizaje significativo.</li> <li>– Capacitación continua del personal docente.</li> <li>– Complementar los planes de estudio con asignaturas como: Fundamentos de Programación, Legislación Minera, Administración Aplicada a la Minería, Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión y Gestión de Seguridad e Higiene.</li> <li>– Generación de programas y convenios por parte de gobierno para la generación de programas e incentivos.</li> <li>– Lanzar un programa de especialización de docentes en universidades y centros de investigación internacionales.</li> <li>– Generar programa de becas para la especialización de docentes.</li> <li>– Capacitar personal de las IES en disciplinas enfocadas a la resolución de conflictos de la industria minera.</li> <li>– Construir redes temáticas multidisciplinarias entre investigadores y personal que labora en las minas y empresas proveedoras.</li> <li>– Convenios para fortalecer la comunicación entre cuerpos académicos para lograr recursos especiales.</li> <li>– Vinculación de las IES con centros autorizados y unidades mineras para la capacitación en el manejo de explosivos y voladuras .</li> <li>– Adquirir <i>software</i> para diseño de minas.</li> <li>– Capacidad para cambiar los procesos metalúrgicos.</li> <li>– Ofrecer incentivos a las IES que generen modelos de simulación para procesos metalúrgicos.</li> <li>– Contar con simuladores de procesos metalúrgicos.</li> <li>– Contar con plantas de beneficio a nivel laboratorio.</li> </ul>

## Área de Geociencias

Carreras	Áreas y estrategias de mejora
Ingeniería en Geología Ingeniería Geofísica Ingeniería en Geomática (o topografía)	<p>Transversales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Incrementar y mejorar la calidad docente.</li> <li>– Fortalecer los temas de ciencia básica y minería en los planes de estudio.</li> <li>– Prácticas profesionales con objetivos y actividades claras y sistematizadas.</li> <li>– Actualizar los planes de estudio con asignaturas enfocadas en el uso de las TIC.</li> <li>– Introducir el tema de legislación minera, economía y gestión de proyectos.</li> <li>– Reforzar con la creación de nuevos planes educativos en el área de geociencias en el estado de Zacatecas y la zona de influencia.</li> <li>– Programa de especialización en universidades y centros de investigación internacionales.</li> <li>– Generar programa de becas para la especialización de docentes.</li> <li>– Vinculación entre las IES y operadores mineros para desarrollar aplicaciones para el fortalecimiento y/o análisis de mejores fundamentales.</li> <li>– Adquisición de simuladores y capacitación.</li> <li>– Prácticas y observación en los procesos in situ y capacitación en la empresa.</li> <li>– <i>Software</i> de procesamiento de diseño de minas.</li> <li>– Desarrollo y aplicación de sensores utilizados para mejorar la seguridad (de proximidad, de gases).</li> </ul>

## Ingenierías afines al sector minero

Carreras	Áreas y estrategias de mejora
Ingeniería Química Metalúrgica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Apertura de asignaturas optativas disciplinarias en función de los requerimientos que se tienen en la industria.</li> <li>– Asignaturas relacionadas a emprender.</li> <li>– Solución a ciertos problemas que existen en planta a través de materias optativas.</li> <li>– Se están desarrollando técnicas de reciclados de metales comerciales.</li> <li>– Ampliar la investigación en 'tierras raras'.</li> <li>– Desarrollo de habilidades transversales a través de asignaturas socio-humanísticas.</li> <li>– Enfatizar la importancia del habla, redacción, comprensión y lectura en idioma inglés.</li> <li>– Mantener colaboración con universidades, enfatizando diferentes áreas de colaboración.</li> </ul>
Ingeniería Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Proporcionar herramientas a los alumnos el uso de <i>software</i> especializado en áreas de logística, simulaciones industriales, planeación y costos.</li> <li>– Impulsar las certificaciones en el campo laboral (alumnos y egresados) ligadas a procesos específicos de la industria minera.</li> <li>– A través de diplomados y de temas selectos acercar la formación a temas de la industria.</li> <li>– Especialización en temas relacionados con la industria minera. Mayor interacción con otras carreras en trabajos multidisciplinarios.</li> <li>– Incluir asignaturas relacionadas con el uso y aplicación de las TIC para simulación y automatización de operaciones.</li> </ul>

Carreras	Áreas y estrategias de mejora
Ingeniería Eléctrica Electrónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Generar programas de investigación en temas de futuro como sensores, sistemas inalámbricos, microprocesadores, microcontroladores, procesamiento de señales, instalaciones eléctricas en minas.</li> <li>– Convenios de colaboración con empresas proveedoras de maquinaria y equipo, así como de soporte técnico para el sector minero.</li> <li>– Capacitación del personal de unidades mineras.</li> <li>– Actualización periódica de la plantilla docente de acuerdo con el surgimiento de nuevas tecnologías relacionadas al proceso minero.</li> <li>– Convenios de equipamiento de laboratorios para desarrollar mejores prácticas, enfocadas a la resolución de problemas de mantenimiento.</li> </ul>
Ingeniería Mecánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Colaboración directa con empresas mineras, para incrementar la vinculación y disminuir el efecto de la regionalización.</li> <li>– Programas de investigación para desarrollar capacidades en diseño, selección, optimización, operación y mantenimiento de equipamiento complejo.</li> <li>– Refuerzo de infraestructura de laboratorios.</li> <li>– Introducción de cursos sobre maquinaria y dispositivos propios de la minería.</li> <li>– Ampliar el énfasis en conocimientos en matemáticas y física.</li> <li>– Enseñanza basada en proyectos, con la finalidad de que los alumnos desarrollen habilidades transversales.</li> <li>– Acceso a las tecnologías e infraestructura más avanzadas.</li> <li>– Incluir asignaturas relacionadas con el uso y aplicación de las TIC.</li> </ul>
Ingeniería Mecatrónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Programas de investigación para desarrollar capacidades en diseño, selección, optimización, operación y mantenimiento de equipamiento complejo.</li> <li>– Refuerzo de infraestructura de laboratorios.</li> <li>– Introducción de cursos sobre maquinaria y dispositivos propios de la minería.</li> <li>– Programas de educación dual en convenio con empresas proveedoras.</li> <li>– Incentivar a los alumnos con charlas de divulgación por parte de la industria minera.</li> <li>– Mediante pláticas, eventos, ferias del empleo y foros aumentar el interés y acercamiento de las empresas mineras a los estudiantes.</li> <li>– Incentivar la vinculación del sector estudiantil a diversos proyectos en minas.</li> <li>– Ampliar la visión de los alumnos de la carrera hacia la minería y contextualizarlos de su participación dentro de este sector de la industria.</li> <li>– Contar con laboratorios y simuladores para la capacitación en maquinaria automatizada y alta tecnología.</li> </ul>
Ingeniería Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Docentes con experiencia en el sector minero y estudios de posgrado.</li> <li>– Fortalecimiento de las TIC como área de oportunidad para el aprovechamiento de la energía.</li> <li>– Fortalecimiento de la planta docente en programa de especialización en universidades y centros de investigación internacionales.</li> <li>– Conformar grupos multidisciplinarios para atender problemas específicos como revegetación, reutilización de las zonas mineras, calidad del agua, tratamiento y purificación, evaluación de áreas mineras.</li> <li>– Para la restauración minera realizar colaboraciones con expertos en arquitectura paisajística, reforestación, tratamientos de suelos contaminados, agricultura y ganadería.</li> </ul>

Carreras	Áreas y estrategias de mejora
Ingeniería en Biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Convenios de colaboración con entidades de educación superior e investigación a nivel nacional.</li> <li>– Colaboración estrecha con empresas mineras desde la etapa de planeación hasta cierre de mina.</li> <li>– Desarrollo de prácticas profesionales que atiendan necesidades específicas del sector.</li> <li>– Incentivar el desarrollo de proyectos dentro de la industria como parte de un programa dual de educación.</li> <li>– Las empresas mineras deberán migrar a tecnologías más limpias y apoyarse de la biotecnología para cumplir con los objetivos que demandará las políticas ambientales.</li> </ul>
Ingeniería en Sistemas Computacionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Programas de investigación.</li> <li>– Capacitación de docentes en las nuevas tecnologías.</li> <li>– Establecimiento de asignaturas o paquetes finales relativos a la automatización de maquinaria pesada.</li> <li>– Fortalecimiento de TIC no exploradas como realidad aumentada e Internet de las cosas, aplicados a procesos productivos.</li> <li>– Vinculación con empresas proveedoras de servicios del sector minero.</li> <li>– Incentivos a IES que realicen proyectos enfocados a la resolución de problemas tecnológicos propios de la industria minera.</li> </ul>
Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicación	<p>Estrategias en las empresas mineras:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Plan de desarrollo de capacidades.</li> <li>– Centro de capacitación y pruebas.</li> <li>– Desarrollo de programas de capacitación en línea y de instructores.</li> <li>– Capacitación de líderes en áreas de TIC en programas de posgrado.</li> <li>– Implantación de programas, capacitación y evaluación de capacidades desarrolladas.</li> </ul> <p>Estrategias para las IES:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Desarrollo de nuevos programas educativos en TIC.</li> <li>– Plan de desarrollo de capacidades de docentes.</li> <li>– Convenios con otras IES para apoyo a doctores y maestros en programas de TIC.</li> <li>– Vinculación con empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones a instalaciones mineras.</li> <li>– Actualización de la plantilla docente de acuerdo con surgimiento de nuevas TIC.</li> <li>– Proporcionar herramientas a los alumnos para el uso de <i>software</i> especializado en áreas de logística, simulaciones industriales, planeación y costos.</li> <li>– Incentivar a los alumnos con charlas de divulgación por parte de la industria minera.</li> <li>– Vinculación con las unidades mineras e IES para la creación de sistemas de rastreo de personal (realizar I+D+i).</li> <li>– Crear grupos multidisciplinarios entre personal de las IES, empresas mineras y proveedoras para atender temas específicos relacionados con el uso y aplicación de las TIC en el sector minero.</li> </ul>

## Carreras técnicas afines al sector minero

Carreras	Áreas y estrategias de mejora
Minería / Minero Metalurgista  Mantenimiento de Sistemas Automáticos  Mantenimiento de Sistemas Electrónicos  Metalmecánica  Electromecánica Industrial Motores a Diésel  Conservación del Medio Ambiente  Seguridad e Higiene y Protección civil	<p>Transversales:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Prácticas profesionales con equipo actualizado y en campo.</li> <li>– Colaboración con el clúster minero para la creación de ‘trayectorias técnicas’ para la formación de especialistas técnicos. (Sistema Conalep).</li> <li>– Para la colaboración interdisciplinaria se requiere una transversalidad de actividades.</li> <li>– Las empresas mineras deben apoyarse en la capacitación especializada a trabajadores ofrecida por los sistemas de bachillerato técnico.</li> <li>– Convenios de colaboración de largo plazo con el sector minero del estado.</li> <li>– Actualización conjunta academia-industria de los planes de estudios.</li> <li>– Las empresas mineras deben comprometerse con ser receptoras de estancias profesionales.</li> <li>– Incentivar a los alumnos con charlas de divulgación por parte de la industria minera.</li> <li>– Diseño de planes de estudio en conjunto con la industria con el fin de atender necesidades específicas.</li> <li>– Colaboración estrecha con otras entidades académicas para la implementación de nuevas tecnologías en la enseñanza.</li> <li>– Difusión y promoción de las certificaciones.</li> <li>– Desarrollo de prácticas profesionales basadas en la resolución de problemas reales dentro de la industria y con ello desarrollar habilidades genéricas en el alumno.</li> <li>– Ampliar la visión de los alumnos de la carrera hacia la minería y contextualizarlos de su participación dentro de este sector de la industria.</li> <li>– Capacitación a personal del área de mantenimiento de empresas mineras.</li> </ul> <p>Específicas por carrera:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Proporcionar herramientas a los alumnos para el uso de <i>software</i> especializado en áreas de logística, simulaciones industriales, planeación y costos (TIC, Electrónica).</li> <li>– Actualización periódica de la plantilla docente de acuerdo con el surgimiento de nuevas TIC relacionadas al proceso minero (TIC).</li> <li>– Equipamiento de laboratorios (Mantenimiento de sistemas electrónicos).</li> <li>– Colaboración con las instituciones federales de protección civil (Conservación del Medio Ambiente).</li> <li>– Diseño conjunto con el sector industrial de un trayecto técnico de cierre de mina (Conservación del Medio Ambiente - Conalep)</li> <li>– Establecimiento de asignaturas basadas en el diseño, maquinado y acabado de componentes sujetos a desgaste en maquinaria y equipo pesado (Metalmecánica).</li> <li>– Desarrollo de prácticas y estadías en el área de mantenimiento de las unidades mineras y con empresas proveedoras de servicios (Metalmecánica).</li> <li>– Estrecha colaboración con entidades académicas líderes en la enseñanza de la ingeniería automotriz (Motores a Diésel).</li> <li>– Enfatizar la importancia de la conservación del medio ambiente (Motores a Diésel).</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

## Referencias

Bravo, N. (s.f.). Competencias Proyecto Tuning-Europa, Tuning-América Latina.

Universidad Nacional Autónoma de México y Facultad de Ingeniería (2014). Proyecto de modificación del plan de estudios de la Licenciatura en Ingeniería en Minas y Metalurgia. México: UNAM-FI.

## Capítulo 6

# Recomendaciones y conclusiones

De acuerdo con el taller realizado con los representantes de la industria, son cuatro los puntos a los que se dirigen las principales sugerencias a fin de que las instituciones educativas incrementen la calidad de sus programas y, consecutivamente, mejore el perfil de sus egresados y su desempeño laboral.

1. Impulsar un proceso de enseñanza-aprendizaje, con un equilibrio entre la práctica y la teoría, para la asimilación de conocimientos técnicos del área de estudio (cuadro 6.1).
2. Desarrollar propuestas académicas (asignaturas cursos, talleres, seminarios, etc.) que propicien o complementen el desarrollo de habilidades y destrezas que son indispensables para la ejecución de sus actividades profesionales (cuadro 6.2).
3. Introducir un mapa curricular que incluya la formación de actitudes que favorezcan el desempeño laboral y el crecimiento profesional dentro del sector productivo (cuadro 6.3).
4. Promover esquemas o modelos de emprendimiento (cuadro 6.4).

Cuadro 6.1. Recomendaciones para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje y la asimilación de conocimientos técnicos

Sugerencias	Posibles acciones
Acercar al alumno a las situaciones reales del entorno laboral a fin de que, mediante la práctica en el campo de acción (mina o empresa proveedora), adquiera la experiencia para insertarse con mayor facilidad en el sector productivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluir prácticas obligatorias dentro del plan de estudios de las diferentes carreras con seguimiento por parte de las instituciones y la interacción cercana de éstas con los empleadores donde dichas prácticas se realicen.</li> <li>• Formalizar convenios de colaboración con las empresas a través del Clúster Minero de Zacateca (Clusmin).</li> <li>• Realizar visitas a minas y plantas industriales de proveedores, con reportes de los alumnos que sean sometidos a evaluación.</li> <li>• Continuar implementando el modelo dual o un régimen de trabajo similar al de la Unidad de Zacatecas del Instituto Politécnico Nacional (IPN), pero con una supervisión puntual que permita, tanto a la institución como a la empresa, conocer los avances y resultados del alumno que participa en este esquema, al tiempo que favorezca la retroalimentación al respecto entre las dos instancias. Esto requiere el involucramiento de profesionales de las empresas para realizar la supervisión académica, así como una planeación logística cuidadosa incluyendo aspectos de seguridad para alumnos y docentes que visitan las instalaciones empresariales.</li> </ul>
Inversión en infraestructura (laboratorios, equipo y materiales).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación de simuladores en la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), IPN - Unidad Zacatecas o en una instalación administrada por el Consejo Zacatecano de Ciencia Tecnología e Innovación (Cozcyt) para la especialización en tecnologías de sondeo profundo y manejo de equipos especializados en perforación profunda.</li> <li>• Laboratorios y planta piloto de procesos metalúrgicos.</li> <li>• Mina de entrenamiento práctico.</li> <li>• Contar con plantas de beneficio a nivel laboratorio o piloto.</li> <li>• Adquirir <i>software</i> para el diseño de minas.</li> </ul>

Sugerencias	Posibles acciones
<p>Mejorar las técnicas de prospección y exploración, por lo que, se recomienda incluir planes de estudio relativos a la geofísica y geomática, e investigación; carreras que no se imparten en Zacatecas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contratar docentes especializados en los temas de vanguardia para prospección y exploración.</li> <li>• Considerar abrir una nueva carrera en este tema con un enfoque fuerte hacia investigación.</li> <li>• Generar infraestructura de laboratorios.</li> <li>• Promover el intercambio académico con universidades y centros de investigación internacionales para estudiantes de las carreras de ciencias de la tierra y geociencias como con el Centro Avanzado de Tecnología para la minería de la Universidad de Chile; Corporación Nacional de Cobre (Codelco); Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Escuela de Minas de Australia, entre otras.</li> </ul>
<p>Construir redes temáticas multidisciplinares entre investigadores y personal que labora en las minas y empresas proveedoras, en las cuales se aborden problemáticas específicas del sector.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abordar prioritariamente técnicas de mitigación de impacto ambiental en minas a cielo abierto, la reducción de polvo en la etapa de extracción y los daños que produce en la maquinaria, con las comunidades cercanas y con las autoridades regulatorias.</li> <li>• Definición y uso de <i>software</i> especializado para realizar modelos geológicos que permita diseñar la geometría de la extracción.</li> <li>• Desarrollo de contenidos académicos para la capacitación en temas relevantes para la operación de las unidades mineras, notablemente el mantenimiento de equipo prioritario.</li> </ul>
<p>Conformar una planta docente que posea conocimientos sólidos en su área, incluyendo los temas emergentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar docentes especializados en las materias que imparten o que al menos tengan alguna experiencia para que pueda impartir tanto la parte teórica como la práctica.</li> <li>• Apoyar la superación académica de los docentes actuales, dando facilidades para que realicen estudios de posgrado.</li> <li>• Facilitar los procesos para que los docentes puedan tener contacto con los empleadores en caso de que sus alumnos participen en programas como el modelo dual.</li> <li>• Transmitir a los docentes la visión y misión de la institución para que estos a su vez la permeen a los alumnos.</li> <li>• Reforzar competencias genéricas en los docentes, pues son ellos los encargados de difundirlas ante los alumnos.</li> </ul>
<p>Incorporar profesionales de las empresas mineras y proveedoras en las plantillas docentes como profesores de asignatura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dada la ubicación de las empresas, habría que pensar en la impartición de asignaturas “en bloque”, es decir ofreciendo los contenidos de las materias en tiempos compactados (por ejemplo, en una semana).</li> <li>• Docencia de personal de las empresas <i>in-situ</i>, es decir, con cursos en las instalaciones empresariales.</li> </ul>
<p>Fomentar el espíritu de investigación entre la comunidad del tecnológico, universidad o centro de bachillerato en cuestión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar procesos de enseñanza que enfatizan el aprendizaje basado en proyectos.</li> <li>• Otorgar estímulos a docentes y alumnos que participen en actividades de investigación, sobre todo si se hacen en colaboración con empresas.</li> <li>• Fortalecer la realización de proyectos conjuntos de investigación con las empresas.</li> </ul>
<p>Mejorar la relación con la industria.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar una estrategia de difusión y divulgación de la oferta educativa técnica y profesional dirigida al sector minero, empresas proveedoras, instancias gubernamentales y la comunidad estudiantil (ferias de oferta educativa; seminarios de aplicaciones técnicas a demandas específicas del sector; casos de éxito en la vinculación con la industria minera).</li> <li>• Negociar convenios de colaboración con objetivos múltiples (refuerzo a la docencia, estancias en la industria, conferencias de personal de la industria, investigación, prestación de servicios técnicos por parte de las escuelas, tecnológicos o universidades, etc.).</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.



Cuadro 6.2. Recomendaciones para desarrollo de habilidades

Sugerencias	Posibles acciones
Identificar debilidades y fortalezas de los alumnos y docentes a fin de subsanar a tiempo las primeras y potenciar las segundas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar una evaluación o diagnóstico de habilidades a los jóvenes que ingresan a nivel superior para detectar las competencias en las que tienen debilidades y aquellas donde tienen potencial, y en el transcurso de la carrera ir fortaleciendo los aspectos donde hay deficiencias.</li> <li>Establecer cursos propedéuticos orientados a mejorar el nivel de los estudiantes que ingresan, sobre todo en las disciplinas básicas de las carreras.</li> <li>Realizar talleres para docentes orientados a desarrollar competencias genéricas, por ejemplo, en periodos intersemestrales.</li> </ul>
Capacitar a los alumnos en temas elementales para su desempeño adecuado en una sociedad permeada por la revolución de las tecnologías de la información y la comunicación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseñar cursos para la enseñanza y certificación de un segundo idioma extranjero (en niveles medio y avanzado) además del inglés, y también para reforzar la comunicación oral y escrita.</li> <li>Incluir como asignaturas básicas, en el mapa curricular de las diferentes carreras, las que tengan por objetivo preparar al alumno en el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), incluyendo paquetería especializada, programación y uso de aplicaciones.</li> </ul>
Lanzamiento de cursos de educación continua relevantes para la industria minera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generar programas de capacitación, talleres, cursos, diplomados que actualicen los conocimientos de técnicos y profesionales ocupados en las unidades mineras y empresas proveedoras en temas como sensores, sistemas inalámbricos, microprocesadores, microcontroladores, procesamiento de señales, instalaciones eléctricas en minas, así como en temas de impacto social como legislación minera, ambiental, economía y conflictos sociales.</li> </ul>
Crear oportunidades de especialización para los docentes, estudiantes y egresados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instrumentar cursos de especialización en temas específicos de acuerdo con las necesidades de cada programa académico.</li> <li>Crear programas a nivel posgrado que apoyen la superación académica de los docentes y abran espacios para proyectos de investigación.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 6.3. Recomendaciones para mejorar aspectos actitudinales

Sugerencias	Posibles acciones
Fomentar y fortalecer en el alumnado actitudes positivas que impacten favorablemente su desempeño.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integrar al plan de estudios asignaturas que propicien y faciliten el desarrollo humano de los alumnos.</li> <li>Organizar seminarios sobre este tipo de temáticas con miras a coadyuvar a interiorizar competencias actitudinales como el trabajo en equipo, el liderazgo, la responsabilidad, la disciplina, la honestidad, el compromiso y la iniciativa.</li> <li>Abordar de manera específica, como parte de la formación en las instituciones, la administración del tiempo del individuo para mantener el equilibrio entre las actividades de su vida personal y profesional.</li> <li>Trabajar en un proyecto que le permita al alumno integrar sus conocimientos alrededor de un objetivo lo cual lo hará más competitivo.</li> <li>Evitar los esquemas que facilitan la acreditación o titulación pero que impiden tener la práctica y desarrollar competencias como las arriba referidas.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 6.4. Recomendaciones sobre emprendimiento

Sugerencias	Posibles acciones
Promover esquemas o modelos de emprendimiento que les brinden a los alumnos y egresados la oportunidad de crear su propio negocio, ampliando así la oferta de servicios y productos para la industria minera.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar o reforzar programas de formación empresarial e incubación de empresas.</li> <li>• Organizar cursos para estructurar un plan de negocios y habilidades de dirección y administrativas.</li> <li>• Realizar encuentros entre jóvenes emprendedores y empresarios consolidados.</li> <li>• Presentar casos de éxitos sobre el tema, incluyendo las experiencias de egresados de la institución.</li> <li>• Negociar con el Instituto Nacional del Emprendedor (Inadem) y la IME que se otorguen recursos semilla para apoyar la creación de empresas.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

**Recomendaciones de política para la Secretaría de Educación de Zacatecas para mejorar el nivel de los egresados de las instituciones de educación superior y media superior.**

Lograr cambios significativos en la formación del talento humano de las Instituciones de Educación Superior (IES) y las de media superior requiere cambios que se traduzcan en mejores condiciones de empleabilidad de los egresados y mayor desempeño en el empleo. Esto exige políticas que surjan de los altos niveles de gobierno. Por ello, para ir a la solución de problemas de fondo, algunas recomendaciones para la Secretaría de Educación expresadas por las personas consultadas en el marco de este estudio son:

- 1) Diseñar un esquema que impulse el modelo educativo dual y el programa de estadías, para mantener un vínculo constante con los empleadores de la industria minera. Esto requiere mejorar la promoción de manera que las empresas tengan mayor apertura para colaborar.
- 2) Fomentar un marco normativo propicio para que las instituciones realicen acciones permanentes de vinculación, a partir de ofrecer a las empresas servicios específicos relacionados con las carreras.
- 3) Realizar convocatorias periódicas a empleadores y egresados para participar en reuniones de análisis para retroalimentar los contenidos de las carreras.
- 4) Fomentar la actualización periódica de planes de estudio para adaptar los contenidos a las necesidades del contexto cambiante de la industria, considerando el punto de vista de los empresarios y los resultados de este estudio.
- 5) Fomentar que las instituciones hagan seguimiento a sus egresados, quienes retroalimentan el trabajo académico.
- 6) Proponer una iniciativa para establecer que todos los alumnos tengan oportunidad de realizar prácticas o estadías profesionales en empresas de la industria minera.
- 7) Establecer una política industrial para promover actividades económicas para reforzar la articulación local a la cadena de valor de la minería. La política de educación superior debe contemplar un mecanismo de coordinación permanente con dicha política industrial y sus instrumentos específicos (marco normativo, incentivos, inversiones en infraestructura, etc.) para alcanzar sinergias.
- 8) Para propiciar la movilidad estudiantil, es importante crear un fondo que apoye económicamente y facilite que estudiantes de las instituciones puedan realizar estadías en organizaciones fuera de su entorno mediante esquemas de becas otorgadas por el estado, para cubrir gastos de manutención, con complementos de apoyo económico por parte de las empresas, las cuales en reciprocidad sean retribuidas con estímulos fiscales.
- 9) También es relevante la realización de proyectos educativos conjuntos entre varias instituciones educativas que optimicen el uso de infraestructuras y promuevan la

cooperación entre docentes y estudiantes de diferentes planteles. Esta exposición de los estudiantes a proyectos de esta naturaleza reforzaría su formación técnica, pero también la generación de competencias genéricas.

- 10) Se debe crear mecanismos que estimulen la participación del sector productivo en el modelo dual. Estos mecanismos pueden incluir incentivos tributarios especiales para las empresas que inviertan en la formación de capital humano en el marco de este programa.
- 11) Asignación de salarios complementarios para los docentes que son tutores de los alumnos que participan en esquemas afines al modelo dual. Esto estimularía la calidad y cantidad de las participaciones por parte del personal académico.
- 12) Debe diseñarse y ejecutarse un mecanismo de homologación de los planes de estudio de los tecnológicos que participan en el modelo dual.
- 13) Otorgar incentivos a las empresas que acepten recibir a los estudiantes en el marco de los esquemas de prácticas profesionales, estadías y modelo dual.
- 14) Trabajar articuladamente con las secretarías federales de Hacienda, Economía, y Trabajo y Previsión Social a fin de impulsar e incrementar el número de convenios que promuevan la inserción de los estudiantes en la industria mediante los esquemas mencionados.
- 15) Fortalecer el vínculo de las áreas de educación superior con las de educación básica y media superior para coordinar esfuerzos orientados a un mejor desempeño en la formación académica de nivel secundaria y preparatoria en las materias básicas para las carreras de nivel superior, así como para trabajar en la formación de valores y competencias genéricas desde temprana edad. Esto mejoraría sustantivamente el nivel académico de ingreso al nivel superior.
- 16) Tener mayor vinculación por parte de la Secretaría de Educación con el sector productivo para lograr un mejor proceso de retroalimentación en cuanto al perfil de los egresados que se traduzca en planes de estudio más adecuados a la demanda del mercado.
- 17) Asignar partidas presupuestales para la investigación y programas de estímulos a docentes y alumnos que participen en actividades de investigación y de transferencia de tecnología. Es indispensable fortalecer la INVESTIGACIÓN en todos los campos de la cadena de valor de la industria minera, lo cual permitirá, además de mejorar la formación académica, visibilizar y posicionar a las universidades como instituciones de alto nivel, lo cual incidirá en la percepción positiva de los empresarios.
- 18) Impulsar la contratación de profesores de tiempo completo y la carrera académica de los docentes para propiciar mayor calidad en las aulas. Se requiere conformar plantillas docentes permanentes, con mejor preparación y actualizados en su campo profesional, con formación o capacitación como docentes, también incentivar su carrera docente a partir de mejores salarios e incentivos.
- 19) Buscar la pertinencia no sólo de los programas académicos sino también del tipo institución y modelo educativo que se establece, de tal manera que el capital humano se forme de acuerdo con las necesidades de las unidades económicas de cada región.
- 20) Establecer y fortalecer mecanismos de política pública para que en las IES se establezcan centros de investigación acordes con las necesidades de la región. Esto se puede hacer en coordinación con el Cozcyt en el marco del Fondo Mixto Zacatecas.
- 21) Flexibilizar el marco normativo de las instituciones para la elaboración de convenios con empresas privadas de manera que se intensifique la vinculación.
- 22) Establecer unidades que fortalezcan el emprendedurismo y la incubación de empresas proveedoras del sector minero, para ello se deberá:
  - Desarrollar un programa de capacitación en emprendedurismo transversal (en todas las carreras) y longitudinal (a lo largo de toda la carrera) como parte

de la formación integral, en todas las carreras de las IES.

- Diseñar y ejecutar un Plan Estratégico de Emprendedurismo, que incluya vínculos con las instituciones capacitadoras y fondeadoras, concretamente el Instituto Nacional del Emprendedor (Inadem), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y Consejo Zacatecano de Ciencia Tecnología e innovación (Cozcyt).
  - Formar un equipo multidisciplinario para que guíe los proyectos de emprendedurismo que se desarrollen en cada institución académica.
  - Generar un grupo de mentores integrado por profesionales de gran experiencia (por ejemplo personal de las empresas mineras) que puedan orientar a los jóvenes emprendedores sobre las mejores modalidades de conducción de un nuevo negocio.
  - Que cada institución cuente con su incubadora de empresas, coordinada y apoyada por una unidad de Formación para el Emprendedurismo e Incubación de Empresas dependiente de la Secretaría de Educación.
- 23) Incorporar en los planes de estudio materias de ciencias sociales y humanidades que generen conciencia en los estudiantes sobre su entorno socioeconómico y fomenten su formación integral.
- 24) Incluir actividades transversales a las diferentes carreras para abordar temas centrales para la formación de competencias genéricas como liderazgo, comunicación, trabajo en equipo, creatividad y solución de problemas complejos.
- 25) La Secretaría de Educación debe consolidar una comisión de trabajo orientada a crear una responsabilidad laboral tripartita que promueva la calidad de la educación superior en el estado y mejores condiciones de empleabilidad. Esto requiere establecer trabajo conjunto entre gobierno (otorgar incentivos a la demanda), empresas (mediante mecanismos internos para propiciar la incorporación expedita y efectiva de talento en formación) y academia (adaptando sus programas de estudio conforme a las necesidades del mercado de trabajo). Esta comisión se plantearía como objetivo incrementar la competitividad y progreso de los recursos humanos.

### Recomendaciones para el sector minero y el Clusmin

- 1) Formalizar convenios de colaboración y vinculación con las universidades, centros de investigación y empresas proveedoras nacionales y extranjeras para el desarrollo de personal capacitado en atención a las demandas tecnológicas por ejemplo: relación con Norcat de Canadá para la capacitación y prueba de técnicas de voladura y desarrollo de prototipos; desarrollo de tecnologías en áreas de información, gestión, automatización, robótica con Codelco; energía y procesamiento con CMIC.
- 2) Se recomienda asistir, participar o realizar conjuntamente con las IES eventos, ferias de empleo, exposiciones, jornadas universitarias, seminarios que promuevan la vinculación y la interdisciplinariedad
- 3) Para formar técnicos en seguridad e higiene y protección civil, conservación del medio ambiente, mecatrónica y química industrial especializados en el sector minero, se recomienda generar de manera conjunta con el Conalep el diseño de carreras o 'trayectorias técnicas' basadas en la fusión de planes de estudio de estas carreras con las relacionadas con minero metalurgista y metalurgia.
- 4) Se recomienda promover el desarrollo de capacidades en los trabajadores a través de la certificación de cursos técnicos (uso de *software* especializado, mantenimiento y operación de equipos y maquinaria, uso de explosivos y voladuras, operación de vehículos, seguridad y protección civil, técnicas de primeros auxilios) adquiridos de acuerdo con las características técnicas del puesto. Estimular la certificación a través de Consejo Nacional de Normalización y Certificación de Competencias Laborales (Conocer) y las instituciones de educación media superior y superior.

- 5) Es necesario trabajar en sensibilizar a los actores sobre el concepto de industria, más allá del de empresa individual. El Clusmin requiere el trabajo cooperativo para impulsar un sector más eficiente y competitivo.
- 6) El Clusmin puede realizar diversas actividades, diseñar estrategias y apoyar políticas que propicien el acercamiento con los actores indirectos e instituciones de apoyo en busca del beneficio común, tales como el crear un programa intensivo de desarrollo de proveedores y promover la creación de un centro de investigación para la minería.
- 7) Las empresas mineras y sus proveedoras, en el marco del trabajo del Clusmin, deben desarrollar un espíritu de industria y tener la apertura y flexibilidad que se requieren para que haya eficiencia colectiva para resolver los problemas de la minería. El anteponer el interés individual de las empresas puede ofrecer soluciones a corto plazo (por ejemplo, cuando se practica la piratería de personal calificado); la cooperación del clúster puede consolidar el desempeño competitivo y ofrecer soluciones sustentables a largo plazo. Si le va bien a la industria, también le habrá de ir bien a las empresas que la integran.

## Conclusiones generales

Condicionada fuertemente por un panorama económico que se caracteriza por la inestabilidad y el bajo crecimiento, la formación de recursos humanos enfrenta un conjunto de retos que inician con la falta de condiciones para realizar las inversiones requeridas. Por ello, se requiere la formalización de arreglos público-privados que faciliten el desarrollo de las condiciones propicias para ir al encuentro de las tendencias tecnológicas del sector.

Un verdadero impulso al desarrollo competitivo de la minería sólo existe con la presencia de un capital humano que cuente con las habilidades, competencias y conocimientos suficientes para integrarse exitosamente al mercado de trabajo en cualquier momento de su vida.

Para mejorar la empleabilidad de los egresados de los diferentes sistemas educativos, éstos deben contar con los conocimientos técnicos necesarios para desempeñar sus actividades de trabajo. La opinión de los empresarios es que dichos egresados cuentan conocimientos básicos, pero con poca adaptación a los procesos y necesidades de esta industria. Hay que aumentar la formación con sentido práctico.

Hay que trabajar también en el fortalecimiento de la formación en áreas transversales y competencias genéricas. Las habilidades mayormente demandadas son: dominio del idioma inglés; uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC), uso de redes sociales, conocimientos de programación, herramientas de colaboración y programas estadísticos; capacidades técnicas en gestión de la información, procesos, matemáticas, lógica, orden y análisis de datos, así como otras habilidades blandas (*soft skills*) definidas como el conjunto de herramientas y destrezas que permiten a un profesionista relacionarse de la mejor manera con sus compañeros y ser más productivos. Se considera dentro de estas habilidades la actitud positiva en el trabajo, la capacidad de negociación y solución de problemas, el pensamiento lógico, analítico y estratégico, trabajo en equipo, comunicación efectiva y dominio de idiomas.

Los empleadores buscan candidatos con entusiasmo y motivación; profesionalismo (apariencia, puntualidad, discreción y responsabilidad); habilidad para comunicarse; flexibilidad y adaptabilidad; capacidad de hacer frente a la ambigüedad y la complejidad; resolución de problemas; mentalidad de aprendizaje y curiosidad intelectual; pensamiento analítico y crítico; atención al detalle e idiomas. Este es un reto muy grande para las instituciones educativas, pues sus alumnos tienen un origen de bajo nivel socioeconómico el cual determina características microsociales que dificultan la generación de estos atributos.

Precisamente las competencias genéricas (actitudinales e instrumentales) constituyen un punto débil de la oferta educativa de las instituciones educativas. Porque si bien los egresados de ellas en general tienen los conocimientos técnicos para desempeñarse profesionalmente, requieren ser fortalecidos en aspectos como trabajo en equipo, liderazgo, iniciativa, toma de decisiones, comunicación efectiva, idiomas, los cuales en la actualidad marcan la diferencia entre los profesionistas exitosos y los que no lo son.

Generar un espíritu de investigación entre su población estudiantil sigue siendo una de las principales asignaturas pendientes para las instituciones educativas que, paradójicamente, desde su creación, establecieron esa función como una misión prioritaria.

Ciertamente es responsabilidad de las instituciones realizar esta tarea que, entre otras cuestiones, demanda el contar con una planta docente con conocimientos sólidos en su área de estudio, experiencia y capaz de transmitir la visión de la universidad o tecnológico a los alumnos. Sin embargo, los empleadores también tienen un papel activo que cumplir en la formación profesional del individuo, a quien deben saber orientar, canalizar y capacitar a fin de que éste logre crecer en el sector minero y, de esta manera, se convierta en capital humano valioso.

El binomio academia-empresa empieza a operar desde los convenios para que los estudiantes realicen, prácticas, estadías y residencias profesionales en los campos de trabajo que les permiten interactuar y mostrar sus aptitudes a los posibles empleadores. Mas estos esquemas (a los cuales se puede sumar el modelo dual), que han resultado muy útiles para las instituciones, no son acogidos por todas las empresas. Cambiar esto requiere de políticas específicas que incentiven la participación y mayor apertura por parte de la industria.

Por ello, la intervención de instancias gubernamentales con poder de decisión resulta fundamental para implementar políticas públicas que, por ejemplo: garanticen el derecho de los estudiantes a un espacio en el sector productivo para efectuar esas prácticas que les brinden experiencia; estimulen la participación de los diferentes actores involucrados en este tipo de esquemas (docentes y empleadores) y, principalmente, flexibilicen el marco normativo de las instituciones para la elaboración de convenios con empresas privadas. Porque una mayor apertura posibilitaría un mayor campo de acción.

También es evidente que se requieren medidas para homologar los procesos de seguimiento a egresados de las instituciones educativas a fin de contar con información sistematizada que revele con mayor precisión la situación de empleabilidad de ese sector poblacional, y que coadyuve en la toma de decisiones para mejorar las condiciones al respecto. Esto puede lograrse mediante un instrumento de coordinación para la generación de información en forma de un observatorio de la educación superior.

## Otras fuentes de información

- Bravo, N. (2007). Competencias Proyecto Tuning-Europa, Tuning-América Latina. Recuperado de [http://www.cca.org.mx/profesores/cursos/hmfbc\\_ut/pdfs/m1/competencias\\_proyectotuning.pdf](http://www.cca.org.mx/profesores/cursos/hmfbc_ut/pdfs/m1/competencias_proyectotuning.pdf)
- Bustamante, O., Gaviria, A.C. y Restrepo, O.J. (2008). Notas de clase de la asignatura: concentración de minerales, 53-83. Universidad Nacional de Colombia.
- Consejo Nacional de Innovación y Competitividad [CMYDC] (2014). Una plataforma de futuro para Chile, Santiago de Chile: Consejo Nacional de Innovación y Competitividad.
- Corporación Nacional del Cobre [CODELCO] (2017). CODELCO Educa. Recuperado de <https://www.codelco.com/>
- Deloitte (2017). Predicciones sobre tecnología, medios y telecomunicaciones. Recuperado de: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cr/Documents/technology-media-telecommunications/estudios/TMT-Predictions-2017-spanish.pdf>
- Didden, F. K., Kersey, A. D., Davis, M. A., Rothman, P. J., Fernald, M. R., O'keefe, C. V., & Adamson, D. H. (2013). US Patente nº US2012618046P.
- Facultad de Ingeniería, UNAM (2014). Proyecto de modificación del plan de estudios de la Licenciatura en Ingeniería en Minas y Metalurgia. México: UNAM, FI.
- Gerencia (2012). TI en la minería. El aporte de la tecnología en los procesos mineros. Revista Gerencia. Recuperado de <http://www.emb.cl/gerencia/articulo.mvc?xid=273>
- Huawei (2017). *The Progression of Holography into Business— An interview with Dr. V. Michael Bove, Jr. MIT Media Lab.* Recuperado de: <http://www1.huawei.com/enapp/2679/hw-311139.html>
- Haojie J., Zicheng L., Bin, Z. y Guoli Z. (2016). *Advanced geological detection instrument for TBM tunneling based on AC induced polarization method. IEEE*, (63591719), 29-31. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7587159>
- He-Zx (2005). *New progress and application of integrative geophysical survey techniques. Geophysical Prospecting*, 108(112), 41.
- Instituto Politécnico Nacional [IPN] (2017). Oferta educativa. Licenciatura en ingeniería ambiental. Recuperado del sitio web: Zacatecas IPN, <http://www.zacatecas.ipn.mx/OfertaEducativa/Documents/Programa%20ambiental.pdf>
- International Telecommunication Union [ITU] (2017). *Recommendations, ITU*. Recuperado de: [www.itu.int](http://www.itu.int); <http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=y.2060>
- Lavecchia, G. et ál. (2016). *Ground deformation and source geometry investigated through analytical and numerical modeling of Dinsar measurements and structural-geological data. Geophysical Research Letter.* DOI: 10.1002/2016GL071723
- Matschullat, J. (2000). *Arsenic in the Geosphere - A Review. The Science of the Total Environment.* DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00524-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00524-0)
- Mosusu, N. (2016). *Identifying Potential Mineralisation Targets Through Airborne Geophysics - The Western Papua New Guinea Case Study.* Society of Exploration, 25, 865-869.
- National Academy of Sciences (2002). *Evolutionary and Revolutionary Technologies for.* Washington, D.C.: National Academies Press.
- Nel, S. (2011). *Improving truck shovel matching. 35th APCOM Symposium - Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industry. Proceedings*, 381-391.
- Neuland, M.B., Grimaudo, V., Mezger, K., Moreno-García, P., Riedo, A., Tulej, M. y Wurz, P. (2016). *Quantitative measurement of the chemical composition of geological standards with a miniature laser ablation/ionization mass spectrometer designed for in situ application in space research. Measurement Science and Technology*, 27(3).

- Ortiz, O. (2009). Explotación minera sin voladura. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 12(24), 117-126.
- Pastusek, P. (2016). *Drill Rig Control Systems: Debugging, Tuning, and Long-Term Needs*. *Society of Petroleum Engineers*. DOI <https://doi.org/10.2118/181415-MS>.
- Pezo, R.B. (2010). Los retos de la industria minera [Blog de Quk]. Recuperado de <http://www.blogdequk.com/2014/02/el-grupo-como-sistema-rony-b-pezo.html>
- Plan de Desarrollo Municipal [PDM] (2015). Plan de desarrollo regional, Zacatecas. Recuperado de <http://www.sombrete.gob.mx/archivos/1390850221.pdf>
- ProMéxico (2013). Perfil del sector minero en México. Recuperado de [http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Perfil\\_del\\_sector\\_bio/\\_lang/es](http://mim.promexico.gob.mx/swb/mim/Perfil_del_sector_bio/_lang/es).
- QS World University Ranking (2017). *QS World University Rankings by Subject*. Recuperado <https://www.topuniversities.com/subject-rankings/2017>
- Priore, R., Dougherty, J., Cohen, O., Bikov, L. y Hirsh, I. (2016). *Design of a miniature SWIR hyperspectral snapshot imager utilizing multivariate optical elements*. *Emerging Imaging and Sensing Technologies*. DOI: 10.1117/12.2254369.
- Secretaría de Economía [SE] (2002). Ley Minera. Recuperado de <http://www.economia.gob.mx/files/LeyMinera.pdf>
- SE (2017). Instituciones de educación superior (IES) nacionales con oferta educativa en Ciencias de la Tierra y relacionadas. Recuperado de [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/mineria/pdf/instituciones\\_educativas\\_mayo2013.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/mineria/pdf/instituciones_educativas_mayo2013.pdf)
- Seguridad Minera (2016). Monitoreo permanente de gases tóxicos en minería subterránea. Recuperado de <http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/monitoreo-permanente-gases-toxicos-mineria-subterranea/>
- Servicio Geológico Mexicano [SGM] (2015). Anuario Estadístico de la Minería Mexicana 2014. México y Servicio Geológico Mexicano. Recuperado de: <http://www.sgm.gob.mx/Gobmx/productos/Anuarios-historicos.html>
- Shahi, H. (2016). *Detection of deep and blind mineral deposits using new proposed frequency coefficients method in frequency domain of geochemical data*. *Elsevier*, 162, 29 - 39.
- Universidad Nacional de San Juan [UNSJ] (2015). Tendencias en la minería del futuro. Universidad Nacional de San Juan y Facultad de Ingeniería. Recuperado de <http://www.unsj.edu.ar/>
- Universidad Politécnica de Madrid [UPM] (2012). El proceso de exploración minera. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Vaikuntam, E.A. (2016). *Innovative Processes in Electrometallurgy*. En: *Innovative Process Development in Metallurgical Industry*. Ohio, E.U.A.: Springer International Publishing, 385-392.
- Wang, X.G. (2016). *Development of a low noise induction magnetic sensor using magnetic flux negative feedback in the time domain*. *AIP Review of Scientific Instruments*, 87(10), 5.
- Williams, M. (2001). *Arsenic in Mine Waters: An International Study*. *Environmental Geology*, 40(3), 12.
- Xiao, K.(2016). *Research on GIS-Based 3D Prospectively Mapping and a Case Study of Jiama Copper-Polymetallic Deposit in Tibet, China*. Springer International Publishing, 735-740.
- Zhou X., Yang, G., Cai, Q. y Wang, J (2016). *A Novel Gravity Compensation Method for High Precision Free-INS Based on "Extreme Learning Machine"*. *Sensors*, 12(18), 16.



**Futuro** de la  
**minería zacatecana**  
y los **retos** en **capital humano**

Se terminó de imprimir en noviembre de 2017 en Impresos Vacha S.A. de C.V., Juan Hernández y Davalos No. 47, Col. Algarin, Cuauhtemoc, Ciudad de México, C.P. 06880, con un tiraje de 1000 ejemplares.





# **Futuro** de la **minería zacatecana** y los retos en **capital humano**

En este libro se analizan los requerimientos de capital humano del sector minero y programa de formación, con proyección al 2025, en la zona de influencia del clúster minero de Zacatecas; en él se describe el panorama económico de la minera y los factores que influyen en su evolución, los retos productivos, sociales, ambientales, de seguridad y de certidumbre gubernamental que enfrenta actualmente la industria minera zacatecana, así como las tendencias tecnológicas que dominan y predominarán para los próximos diez años a lo largo de la cadena de valor de la minería, destacando aquellas áreas tecnológicas como maquinaria y equipo, tecnologías de la información y comunicación y gestión ambiental que impactaran en la industria minera; para posteriormente, destacar las capacidades técnicas y genéricas de recursos humanos y los perfiles profesionales que requerirán las empresas mineras y proveedoras de servicios especializados, así como las brechas actuales entre la oferta y demanda de capital humano en el estado de Zacatecas y su zona de influencia. Como parte de las conclusiones se propone una serie de recomendaciones dirigidas al sector minero e instituciones de educación superior y media superior con la finalidad de generar estrategias empresariales y políticas educativas orientadas a incentivar y reforzar la formación de capital humano que demandan las tecnologías del sector minero, de tal manera que la industria minera zacatecana asegure su competitividad en el mediano y largo plazo.