

# COMISIÓN MINERA DE PERSONAS COMPETENTES GESTIÓN MINERA-DESAFÍOS DEL SIGLO 21

## VALORIZACIÓN DE CAPEX Y OPEX EN PROYECTOS MINEROS

### TENDENCIAS HISTÓRICAS / ACCIONES DE MITIGACIÓN DE IMPACTO

**Juan Rayo P.**  
Santiago, 21 de noviembre de 2012  
Hotel Radisson, Vitacura

Es habitual encontrar en las revistas mineras especializadas diarios y análisis de carácter público, diversas señales de alarma relativas a los fuertes incrementos de los costos de capital y costos de producción de las empresas mineras.

En general, los medios de comunicación sólo describen los cambios de valores y son escasos los análisis profundos y serios sobre el tema, y prácticamente no existen estudios realistas que den enfoques para mitigar esta escalada.

En esta presentación, se resumirá la experiencia y visión de JRI sobre el tema, primero definiendo las tendencias históricas (y proyección de futuro) y luego explicitando un conjunto de medidas paliativas que de ser aplicables pueden mitigar (en algunos casos) la escalada de costos en los nuevos proyectos mineros.

# **ANÁLISIS DE CAPEX**

Si definimos cómo gran minería la explotación y beneficio de yacimientos metálicos a un ritmo superior a 10 millones de toneladas de mineral por año (27.4 KTPD), Chile tiene más de 100 años de experiencia en este campo (Chuquicamata y El Teniente), Perú más de 60 años (Southern) y Argentina menos de 15 años (Alumbrera).

La gran minería de Chile actual tiene más de 25 yacimientos en operación que pueden ser considerados de gran minería, el Perú más de 10 y Argentina menos de 5.

Los proyectos mineros a materializar esta década suman una inversión total cercana a 104 BUS\$ en Chile, más de 70 BUS\$ en Perú y posiblemente alrededor de 40 BUS\$ en Argentina.

Todos los yacimientos de Chile están en menos de 100 km en línea recta del océano pacífico y sus caminos de acceso desde las grandes ciudades oscilan entre 20 y 200 km.

Los yacimientos del Perú también están cercanos al océano pacífico, pero sus distancias a las ciudades y/o puertos son algo mayores, entre 50 y 300 km.

En general, los yacimientos de Argentina están a más de 1.200 km del océano atlántico y entre 200 y 500 km de las grandes ciudades.

Lo anterior hace aumentar los costos de construcción, operación y mantención de los complejos mineros en Perú y Argentina. En este último caso, la información pública de Pascua Lama lo confirma.

	Chile	Perú	Argentina	Total
<b>Inversión Total (BUS\$)</b>	<b>100</b>	<b>70</b>	<b>40</b>	<b>210</b>
<b>a) Tipo</b>				
- Brownfield	20	10	5	35
- Greenfield	80	60	35	175
<b>b) Status</b>				
- Aprobado (EIA/fondos) y/o construcción/PEM	30	10	10	50
- Exploración/Estudios Pre- Inversionales	70	60	30	160
<b>c) Especie Principal</b>				
- Cu(Mo/Au)	70	40	10	120
- Au (Ag)	20	25	20	55
- Otros (Fe/No Met.)	10	15	10	35

**Nota:** Datos globales aproximados, se incluye remanentes de proyectos gastados en los años 2010/2011/2012 (ESP, DMH, MLCC, otros en Chile; Antupacay, SSPC, otros en Perú; Lama y otros en Argentina).

- El ambiente general en que se están desarrollando los nuevos proyectos mineros, es de una concentración temporal de proyectos nunca antes visto en la región.
- La mayor actividad se traducirá en una mayor competencia dentro del sector minero para conseguir equipos, insumos y personal, lo que podría llevar a un aumento en los costos y a un retraso en los proyectos.
- El 30 de junio de 2011, en reunión formal entre la Cámara Chilena de la Construcción y el Consejo Minero, se declaró lo siguiente:  
  
**“...según antecedentes privados informados por IPPA (Independent Project Processing Association) durante el año en curso, más del 70% de los proyectos mineros mundiales sobre 1000 MUS\$ presentan sobrecostos y atrasos muy por sobre lo presupuestado (más de un 30%)...”.**

- La ley promedio de cobre en los principales proyectos de la región se encuentra en el rango de 0,4 a 0,7%, considerado como el elemento principal en el beneficio. La baja ley de cobre también ha propiciado el gigantismo de algunos equipos, como camiones, molinos y celdas de flotación, pero también con una mayor eficiencia, disponibilidad y mantenimiento.
- Las secciones de molienda SAG tienen ritmos habituales entre 100 y 150 KTPD, dependiendo de la dureza y moliendabilidad del material. Las secciones HPGR normalmente muestran ritmos entre 20 y 40 KTPD.

- Los nuevos proyectos enfrentan un escenario complejo:
  - Rechazo de las comunidades donde se emplazan algunos proyectos. En Perú los proyectos del Norte tienen una probabilidad de materialización sobre el 50%, los del Centro alrededor de un 50% y los del Sur bajo un 40%.
  - Escasez de agua: la gran cantidad de agua que demanda la minería será un tema cada vez más importante en la industria y cada vez será más común la desalinización de agua de mar o el uso directo de agua de mar natural. En Chile el 80% de los nuevos proyectos usa agua de mar.
  - Escasez de energía eléctrica: particularmente en el norte de Chile y el sur de Perú, la disponibilidad de electricidad, ya sea por generación o transmisión, continuará siendo un problema. En Chile la situación es muy crítica ya que los costos se han escapado sobre 150 US\$/MWH.

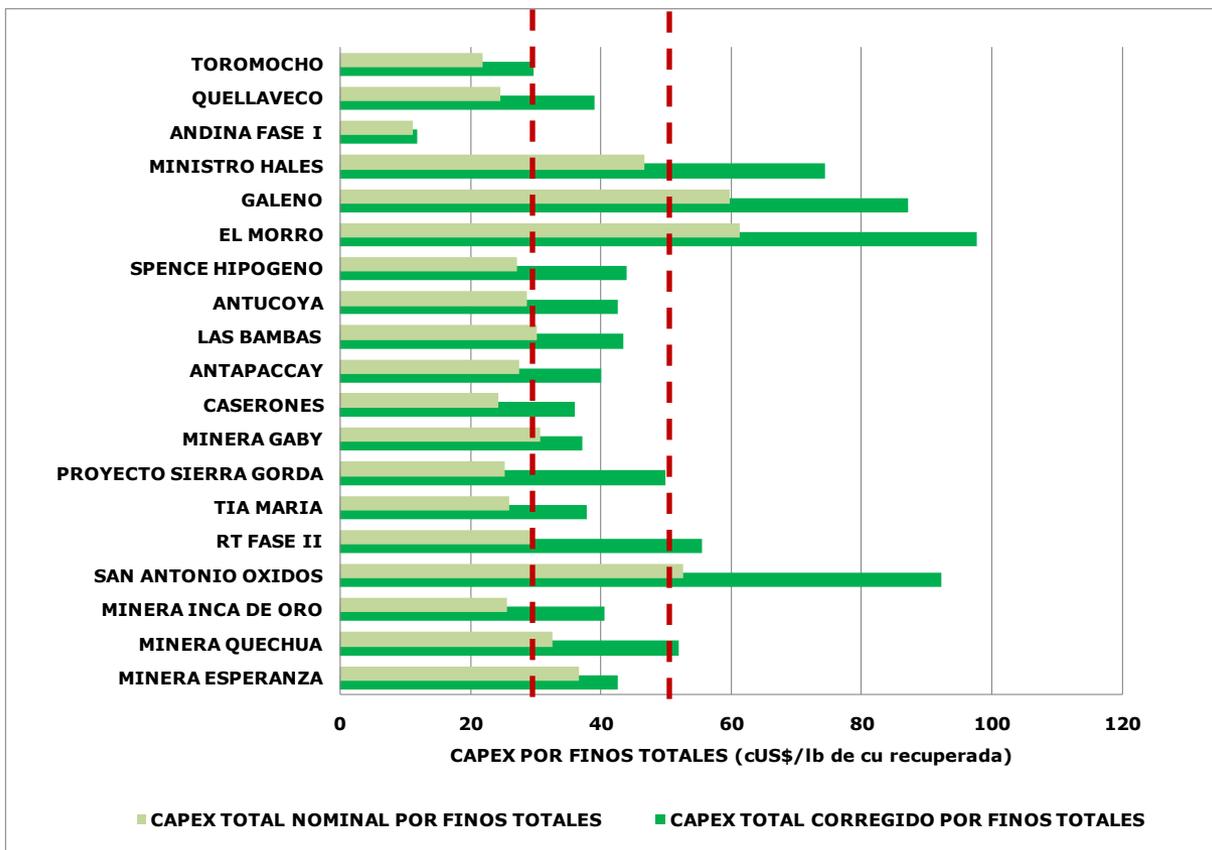
- Para comparar Capex de proyectos mineros que se encuentran en distintas etapas de su ciclo de vida (prefactibilidad, factibilidad, puesta en marcha, entre otras) se requiere usar el producto de factores de corrección.
- El factor de ajuste o corrección se obtiene al multiplicar dos factores asociados al proyecto:
  - **Factor de Crecimiento o “Allowances”**, son provisiones de dinero, producidas por imprecisiones de las cotizaciones de equipos y materiales, aumento de cubicaciones debido al detalle de los diseños y la experiencia del consultor, perdidas y trabajos rehechos. Que se presentan como una variación porcentual, ya sea al costo o a la cubicación, lo que implica un aumento en el costo directo total del proyecto.
  - **Factor de escalamiento**; es una provisión de dinero que cubre la probabilidad de aumentos en los costos del proyecto como ingeniería, equipos, material fungible, mano de obra, equipos de montaje, subcontratos, etc., desde el valor definido al momento de realizar la estimación, hasta que el proyecto está materializado.

## Factor de ajuste de los presupuestos de proyectos greenfield

Estado del Proyecto	Escalamiento	Fluctuación	Factor de Corrección del Capex
Proyecto terminado con ritmo nominal alcanzado	1	1	1
Proyecto terminado, presupuesto final gastado, en proceso de ajuste final (PEM alargada/no ha cumplido ritmo nominal).	1.05	1.05	1.1025
Proyecto en materialización (EPCM en desarrollo, sobre el 20% de la construcción).	1.15	1.1	1.265
Proyecto en nivel de Estudio de Factibilidad (con EIA y fondos aprobados).	1.15	1.2	1.35
Proyecto a Nivel de Estudio de Prefactibilidad (selección de la alternativa definitiva).	1.2	1.25	1.5
Proyecto a Nivel de Ingeniería Conceptual/Perfil (valorizaciones preliminares)	1.25	1.3	1.625

**Para proyectos brownfield los factores se multiplican por 0.5**

## CAPEX DE PROYECTOS POR FINOS DE COBRE, RECUPERADO NOMINAL Y CORREGIDO



### Valor Nominal

corresponde al valor indicado al año de la referencia, sin ningún ajuste.

### Valor Corregido

corresponde al valor ajustado por factores de crecimiento y escalamiento referidos al año de comparación 2011.

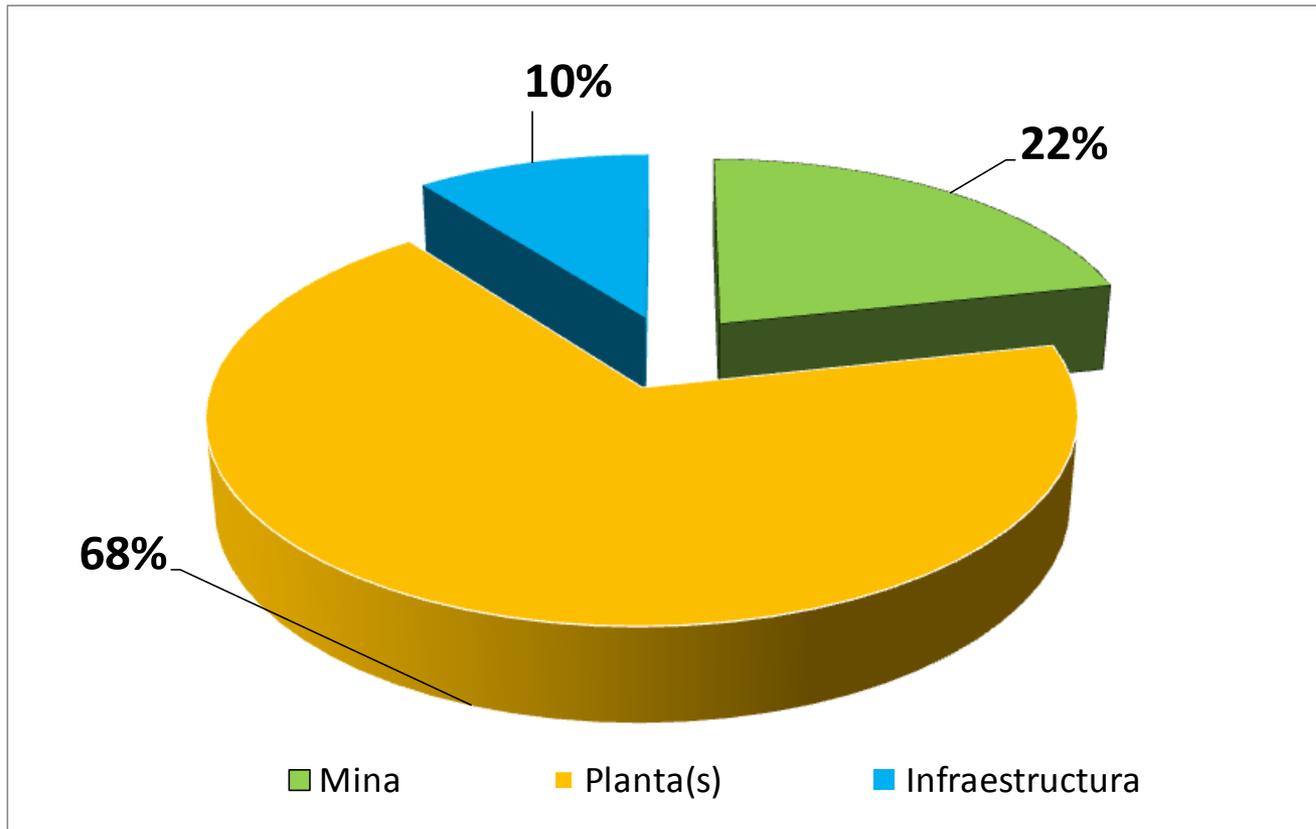
Considerar 50 cUS\$/lb de Cu recuperable del yacimiento detectado es razonable.

## Incremento del capex de los proyectos (Millones de US\$, moneda de 2011)

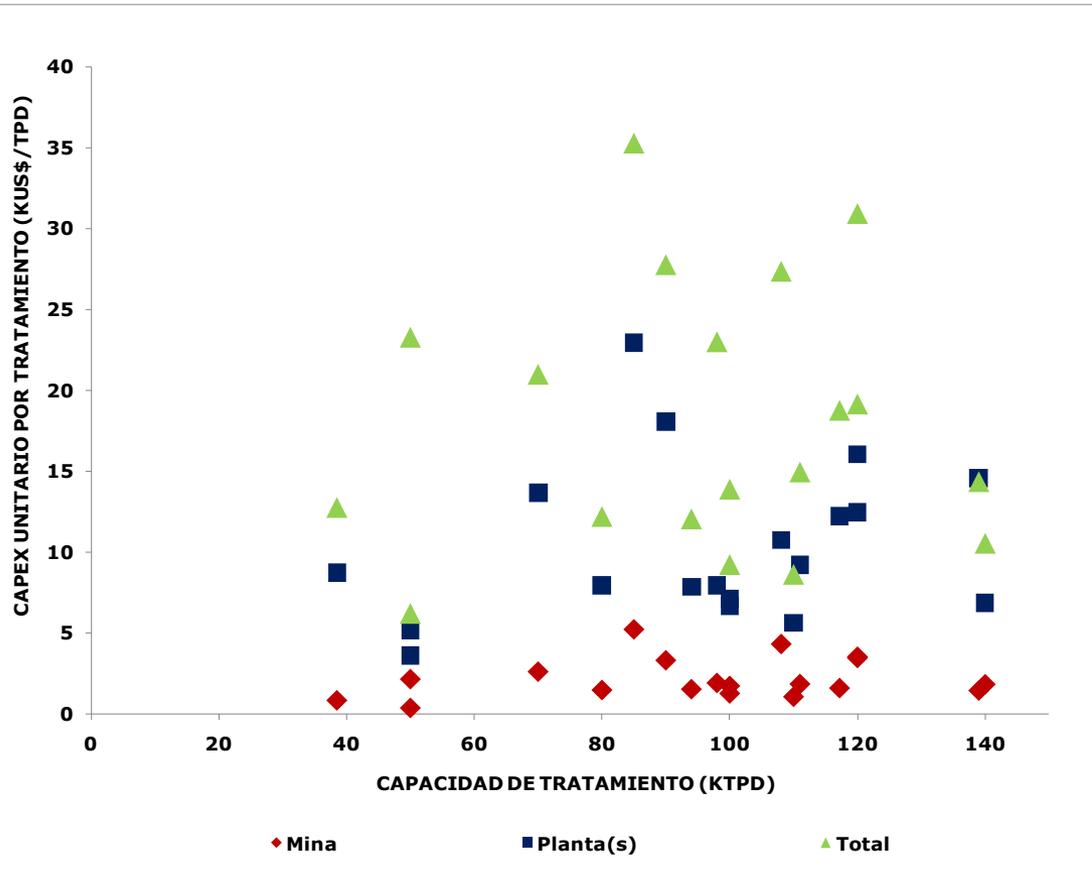
Proyecto	Capex 1			Capex 2			Capex 3			Alza %
	Año	MUS\$	Estado	Año	MUS\$	Estado	Año	MUS\$	Estado	
Galeno	T1/2007	1,142	Prefactibilidad	T3/2009	2,354	Factibilidad	2010	3,862	Término Factibilidad	238
Conga	T2/2008	1,695	Prefactibilidad	T1/2010	2,600-3,536	Factibilidad	2010	3,640	Construcción	115
Cerro Casale	T2/2007	2,760	Prefactibilidad	T1/2010	4,472	Factibilidad	T1/2011	5,250	Aprobado	90
Expansión Antamina	T1/2009	793	Prefactibilidad	T3/2009	1,177	Factibilidad	T1/2010	1,352	Construcción	70
Expansión Los Bronces (61 a 148 KTPD)	T4/2007	2,092	Término Factibilidad	T4/2009	2,880	Construcción	2012	3,000	Real	45
Quellaveco	T2/2008	2,486	Prefactibilidad	T3/2009	2,943	Factibilidad				18
Esperanza	2007	2,280	Término Factibilidad	2009	2,413	Construcción	2011	2,600	Término PEM	14

Es interesante destacar que en algunos casos la reevaluación del capex del proyecto arroja un incremento superior al 200%.

## Distribución del capex para la muestra de proyectos considerada en el estudio



## Capex unitario por tratamiento corregido versus capacidad de tratamiento



El capex unitario de mina es significativamente menor que el capex unitario de planta(s).

El incremento del capex de planta(s) frente al nivel de tratamiento es más sensible.

### CAPEX UNITARIOS

- Mina : 4 a 8 KUS\$/TD
- Planta : 10 a 20 KUS\$/TD
- Infraestruc. : 4 a 10 KUS\$/TD
- Total : 18 a 35 KUS\$/TD**

## Medidas para contener el Capex

- Diseño conceptual exhaustivo
- Diseño básico muy consistente y bien respaldado.
- Equipo del dueño fuerte y competente.
- No contratar empresas de ingeniería que no tengan dotaciones afiatadas disponibles.
- Gestión temprana de compra de equipos críticos por el dueño.
- No empezar el proyecto hasta no tener todos los permisos relevantes.
- Maximizar las compras en fábrica en desmedro del trabajo en terreno (estructuras, armaduras, hormigón pre-tensado, spools, etc.)
- Licitación construcción a suma alzada con más de 80% de avance de ingeniería.
- Comprar equipos/materiales chinos sólo si se establece un buen sistema de control de calidad dual (chileno a chino y chino a chino).
- Privilegiar **EPCM** o EP-CM en vez de EPC si el proyecto es complejo.

# **ANÁLISIS DE OPEX**

La explotación minera de Chile, Perú y Argentina tienen bases similares de buenas prácticas de diseños de rajos, uso de equipos de última generación (perforadoras, cargadores, camiones, etc.), y las únicas diferencias radican en el costo y rendimiento de la mano de obra para operación y mantenimiento.

## Costos Unitarios por Material Removido

	<b>Equipos</b> US\$/ton	<b>Combustibles / Energía</b> US\$/ton	<b>Costos RRHH</b> US\$/ton	<b>Costo Total</b> US\$/ton
Chile	0.8 – 1.0	0.30 – 0.50	0.3 – 0.5	1.40 – 2.00
Perú	0.8 – 1.0	0.35 – 0.45	0.2 – 0.4	1.35 – 1.85
Argentina	0.8 – 1.0	0.30 – 0.40	0.3 – 0.4	1.40 – 1.80

En general, la mano de obra peruana es mucho más barata que la chilena y la mano de obra argentina es algo superior a la peruana.

Las plantas de tratamiento de minerales, para las grandes minas de Sudamérica, tienen los mismos procesos y similares equipos principales (chancadores/molinos/celdas), los diseñadores son los mismos y en general sus obras e instalaciones son parecidos. Existen diferencias en la gestión operacional dada la diferencia en cultura laboral entre los países.

En Chile se trabaja en turnos 4x4 ó 7x7 por 12 horas/día con una fuerte dotación de contratistas (más del doble de los propios), y con un costo laboral alto (40 a 60 KUS\$/año por trabajador). En Perú y Argentina se trabajan más días y más horas por mes que en Chile, la cantidad de contratistas frente al personal propio es similar y el costo unitario es un 30 a 40% peruano menor que el chileno.

Los rangos valores de procesamiento (vía molienda flotación) son:

- Chile : 6 a 10 US\$/ton tratada
- Perú : 5 a 7 US\$/ton tratada
- Argentina : 6 a 8 US\$/ton tratada

## Energía

Chile tiene uno de los costos de suministros de energía más caros del mundo, cualquier nuevo proyecto minero debe considerar costo entre 140 y 180 US\$/MWH. Además hay sectores donde la generación y/o transmisión es escasa y debe considerar la auto generación diesel a costos superiores a 200 US\$/MWH.

Perú tiene un suministro de energía más baratos que Chile, y la minería opera con costos entre 40 y 70 US\$/MWH. Empero, hay restricciones serias de transmisión en algunas zonas de ese país.

Argentina tiene costos de energía intermedios, pero la lejanía de las redes obliga a hacer grandes inversiones en líneas de alta tensión o auto generar en las cercanías de las mineras. Sin embargo es posible esperar que sus proyectos tengan costos efectivos intermedios entre Chile y Perú.

## Agua

El agua es el gran problema de Chile, hay zonas del Norte con todos los recursos hídricos están sobre explotados, ello ha implicado que más del 80% de los nuevos proyectos mineros considera uso de agua de mar y un 10% de los proyectos en operación ya la están usando (en forma natural o desalada). El agua de mar es cara, pero segura con un costo entre 2.0 y 3.5 US\$/m<sup>3</sup> en la mina.

Perú tiene muchos más recursos hídricos que Chile, pero la pugna de la minería con la agricultura es creciente y de difícil solución. Es posible que muchos proyectos mineros deban tener que recurrir a usar agua de mar desalada para sortear dichos conflictos.

Argentina no tendría demasiados problemas de recursos hídricos en sus yacimientos de cordillera, siempre que se efectúen obras de regulación importantes para no empezar a crear conflictos con la agricultura. En todo caso los costos de inversión serán considerables y los costos operacionales razonables.

## Disposición de Residuos

Los costos de disposición de estériles, relaves y rípios en Chile presentan un costo operacional creciente por las dificultades topográficas de los lugares cercanos a las minas, las restricciones ambientales y la magnitud de los depósitos, que obliga a hacer importantes obras de manejo de cauces naturales y otros. Se estima que el costo de manejo de residuos en Chile oscila entre el 40 y el 80% del costo de la explotación minera. Hay esfuerzos relevantes en tratar de lograr un manejo integrado de estériles y relaves para reducir costos y volúmenes de disposición.

Los problemas de manejo de residuos en Perú son algo menores que en Chile, se estima que los costos operacionales de este ítem equivalen entre un 20 y un 40% del costo de la operación minera.

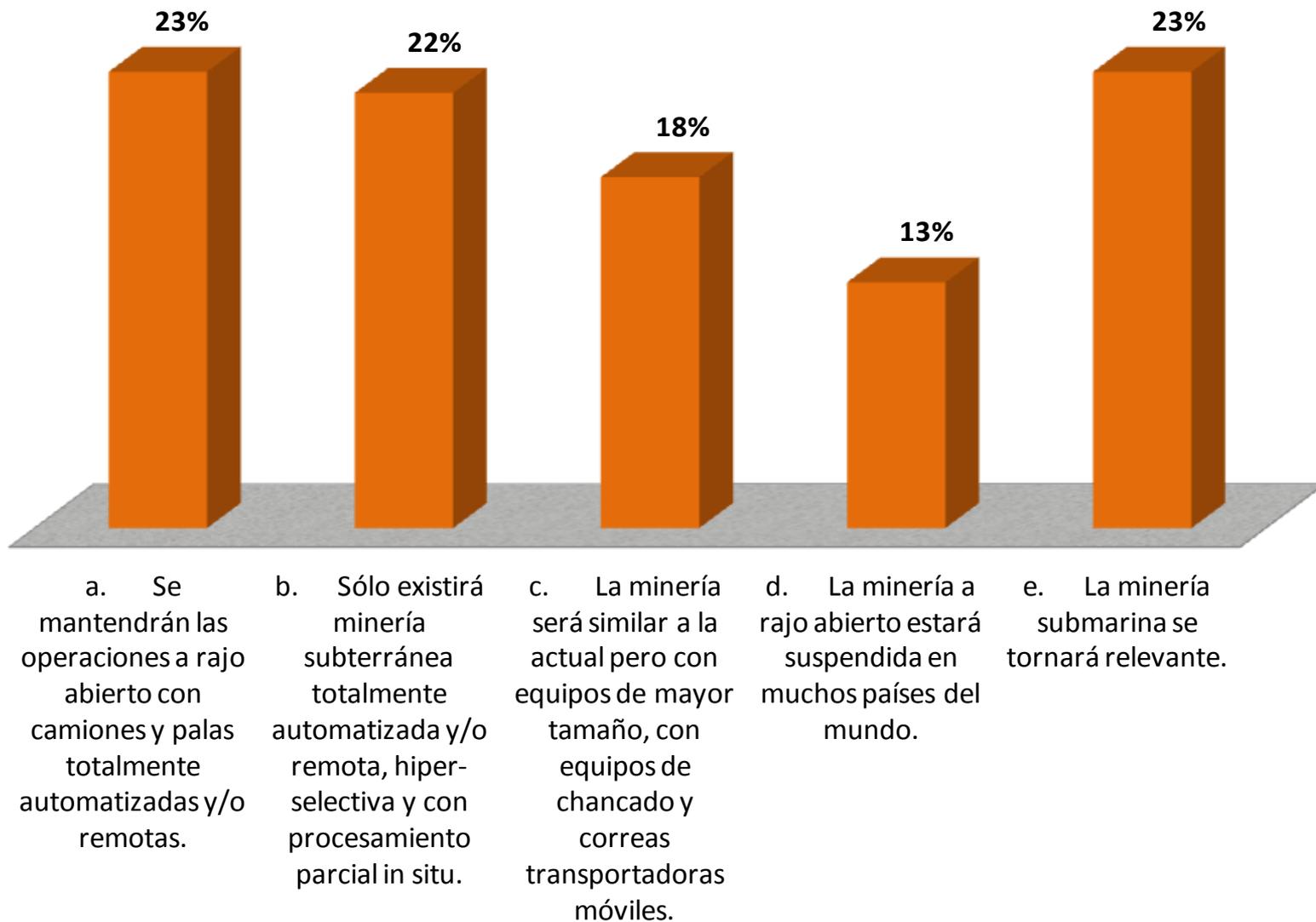
La situación de las minas en Argentina posiblemente sea un valor cercano al de Perú, ya que hay mayor disponibilidad de áreas pero la topografía de cordillera también es abrupta.

## Medidas para contener el Opex

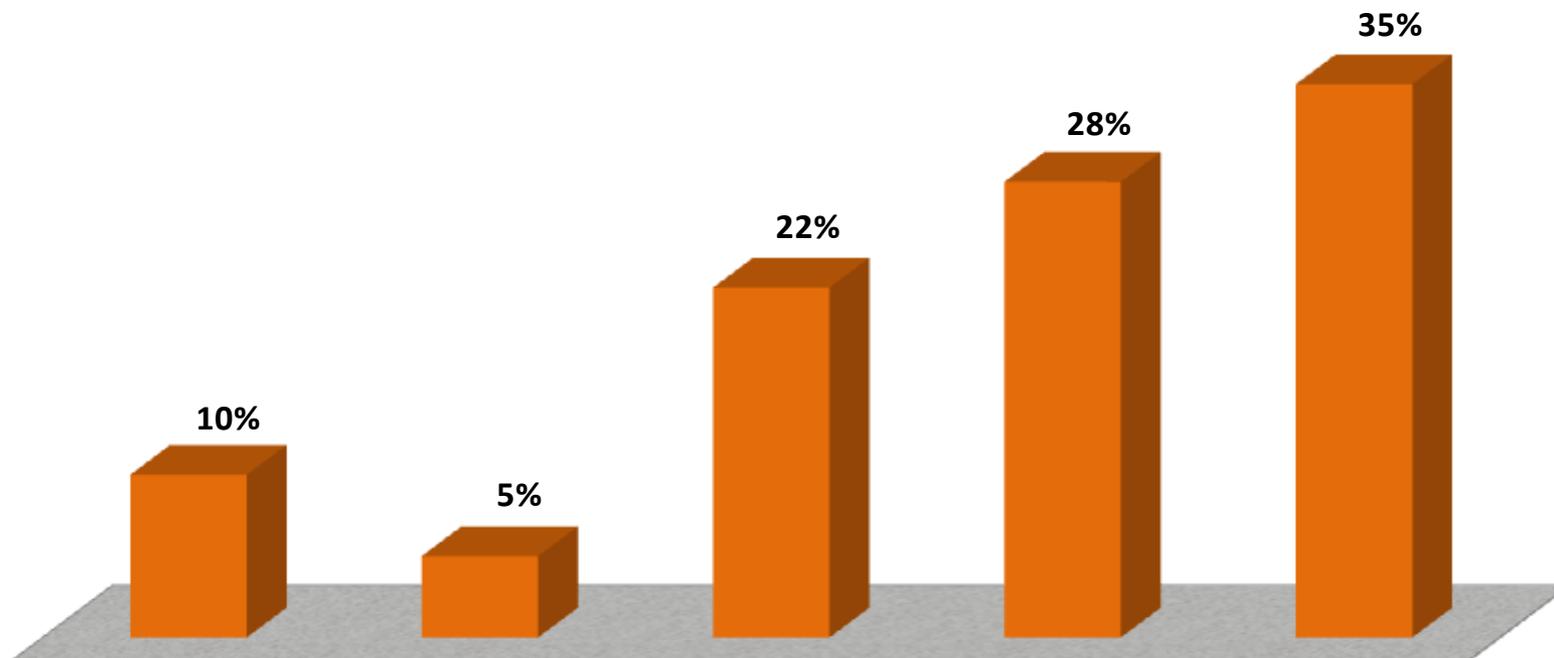
- Minimizar el uso de mano de obra directa (intentar la remotización/robotización al máximo que de la tecnología).
- Reclutar operadores jóvenes y darles fuerte entrenamiento en vez de tratar de levantar personal de otras faenas.
- Licitación de servicios de mantenimiento especializado, con garantías de tiempos de utilización.
- Recuperar desde temprano subproductos comerciales que constituyan un crédito en el costo de operación.
- Hacer competir a los proveedores de insumos (bolas, reactivos, cal) por resultados operacionales y no por costo directo solamente.
- Maximizar los tiempos de utilización de plantas (idealmente sobre el 95%).
- Maximizar las recuperaciones metalúrgicas en detrimento del tonelaje máximo tratable.
- Establecer acuerdos con las generadoras para tener tarifas reducidas por ahorro de consumos en hora peak.

# ¿CÓMO VIENE EL FUTURO?

## ¿Cómo será la explotación minera en el 2040?



## En el 2040, en cuanto al procesamiento de minerales, ¿Qué habrá ocurrido?



a. Se habrán cerrado la gran mayoría de las operaciones LIX.

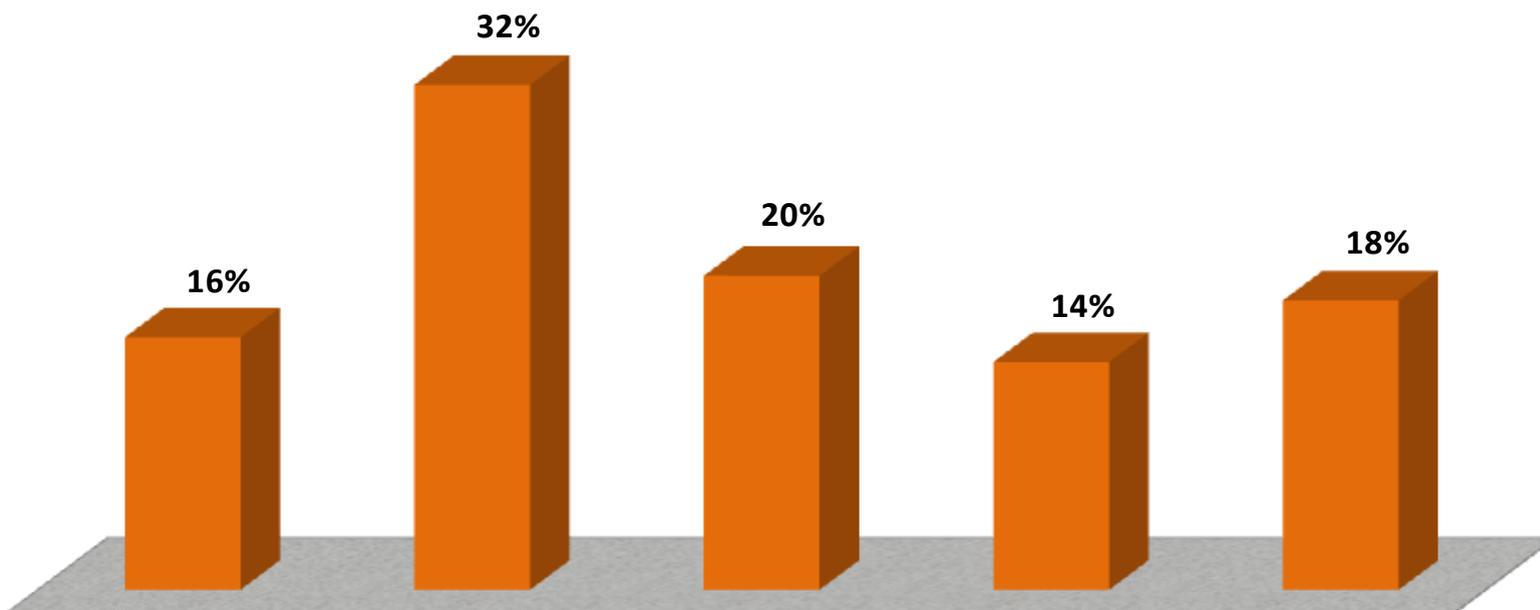
b. Se habrán cerrado la gran mayoría de las plantas de molienda-flotación.

c. Se realizará lixiviación in-situ en gran parte de los yacimientos.

d. Se mantendrá la operación de plantas concentradoras con equipos más grandes y de mejor eficiencia energética.

e. La trituración y molienda se reemplazará por tecnologías de disgregación de material a través de ondas sónica y/o electromagnética.

## ¿Cuál de estos desafíos tecnológicos se habrá logrado el 2040 en la minería?



a. Los minerales primarios (calcopiritas y otros) serán lixiviables en forma rentable.

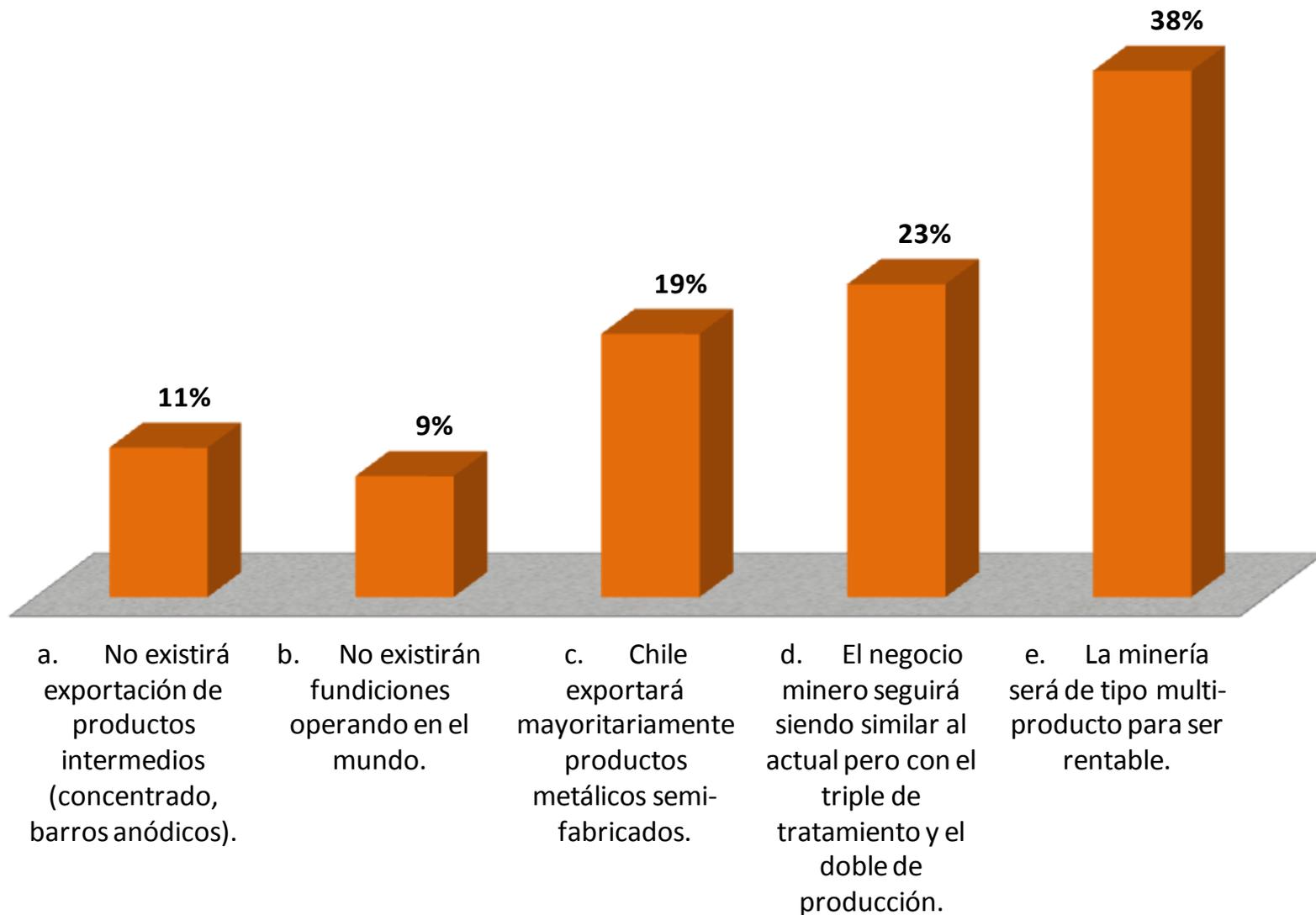
b. El procesamiento minero se realizará mayoritariamente sin agua dulce y gran parte de la minería utilizará agua de mar.

c. No existirá operación manual local en operaciones mineras de gran tamaño, pues todo estaría robotizado telecomandado.

d. Se logrará depositar relaves y ripios sin utilizar suelos (fosas submarinas, interior mina, cráteres, otros).

e. Todos los depósitos de relaves y ripios serán reprocesados y depositados en forma amistosa con el medio.

## ¿Cómo será el negocio minero el 2040?



**COMISIÓN MINERA DE PERSONAS COMPETENTES  
GESTIÓN MINERA-DESAFÍOS DEL SIGLO 21**

**VALORIZACIÓN DE CAPEX Y OPEX EN PROYECTOS MINEROS**

**TENDENCIAS HISTÓRICAS / ACCIONES  
DE MITIGACIÓN DE IMPACTO**

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**

**Juan Rayo P.**  
Santiago, 21 de noviembre de 2012  
Hotel Radisson, Vitacura