

Juan Herrera Herbert

Introducción al sector de la minería subterránea y características generales

Madrid - 2022



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minasyenergia.upm.es



Introducción al sector de la minería subterránea y características generales

Autor: Juan Herrera Herbert (juan.herrera@upm.es).

Foto de portada: Minería Pan-Americana. Minería del siglo XXI
(<https://www.mineria-pa.com>)

Copyright © 2022. Todos los derechos reservados

DC: <https://oa.upm.es/89331/>
OAI: [oai:oa.upm.es:89331](https://oai.upm.es/89331)

Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Laboratorio de Tecnologías Mineras

Calle Rios Rosas 21
28003 Madrid (España)

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.
Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

- Cada yacimiento **requiere un modelo específico de excavaciones** para su extracción minera.
- El método de explotación es la **arquitectura** que permite la extracción de las reservas mineras de una manera tecnológicamente eficiente y económicamente viable.
- El diseño de una explotación minera subterránea es el proceso de ingeniería de minas que define tal arquitectura con el soporte del cálculo de los siguientes aspectos asociados a una arquitectura dada:
 - Recuperación Minera
 - Dilución
 - Seguridad
 - Coste
 - Rentabilidad y beneficio económico
 - Fiabilidad de las estimaciones de producción
 - **Sostenibilidad e impacto social y ambiental**

- El **programa de producción** se refiere a como el diseño se despliega y desarrolla en el tiempo y como se van alcanzando las metas de producción con la herramienta de diseño, gestión, etc.

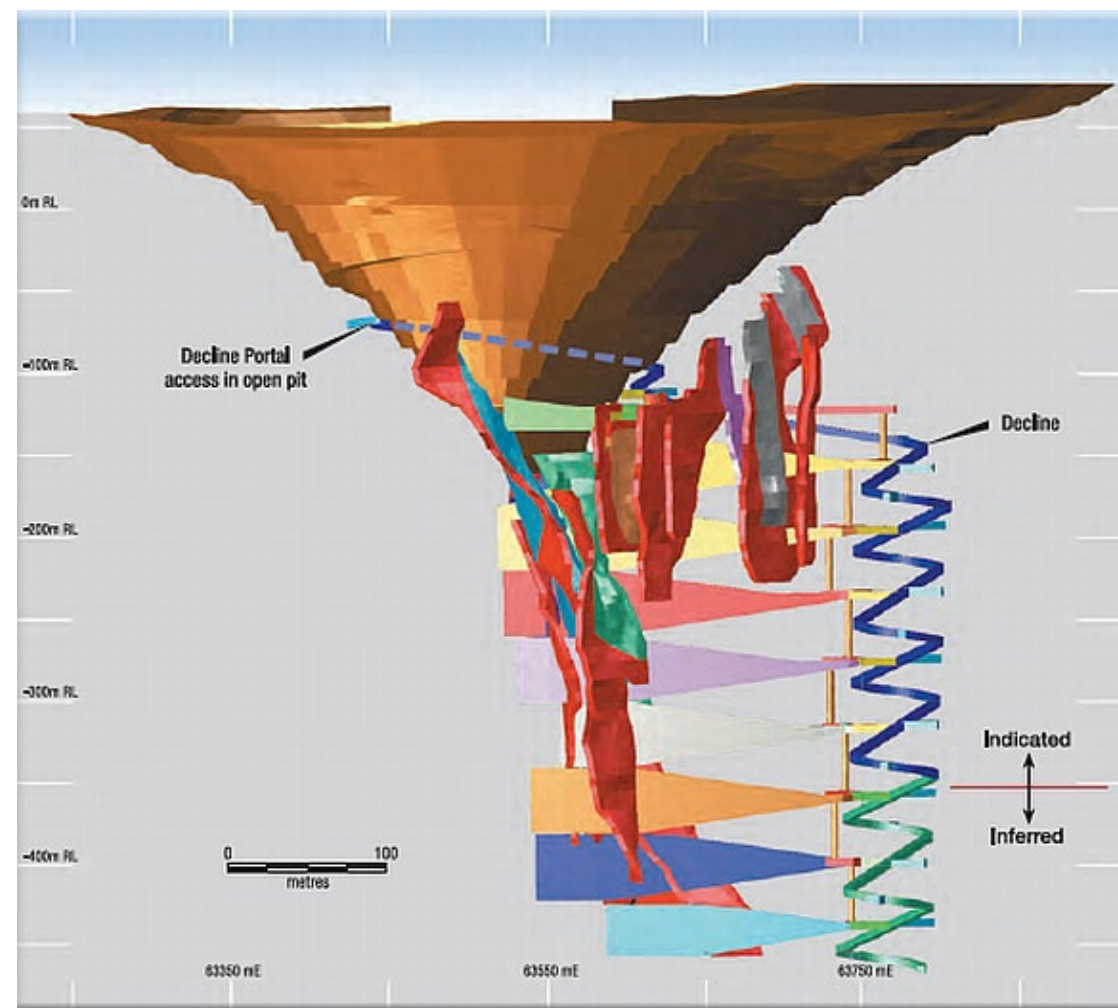
- Los métodos de explotación aplicables para la explotación de un yacimiento dependen, entre otros factores, de:
 - La naturaleza del depósito mineralizado.
 - Potencia del yacimiento.
 - Forma y extensión del cuerpo.
 - Distribución de la mineralización.
 - Propiedades geomecánicas.

 - Consideraciones técnico-económicas que rodean al proyecto.
 - Disposiciones, normativas y regulaciones.

**Plan to mine and
mine as planned**

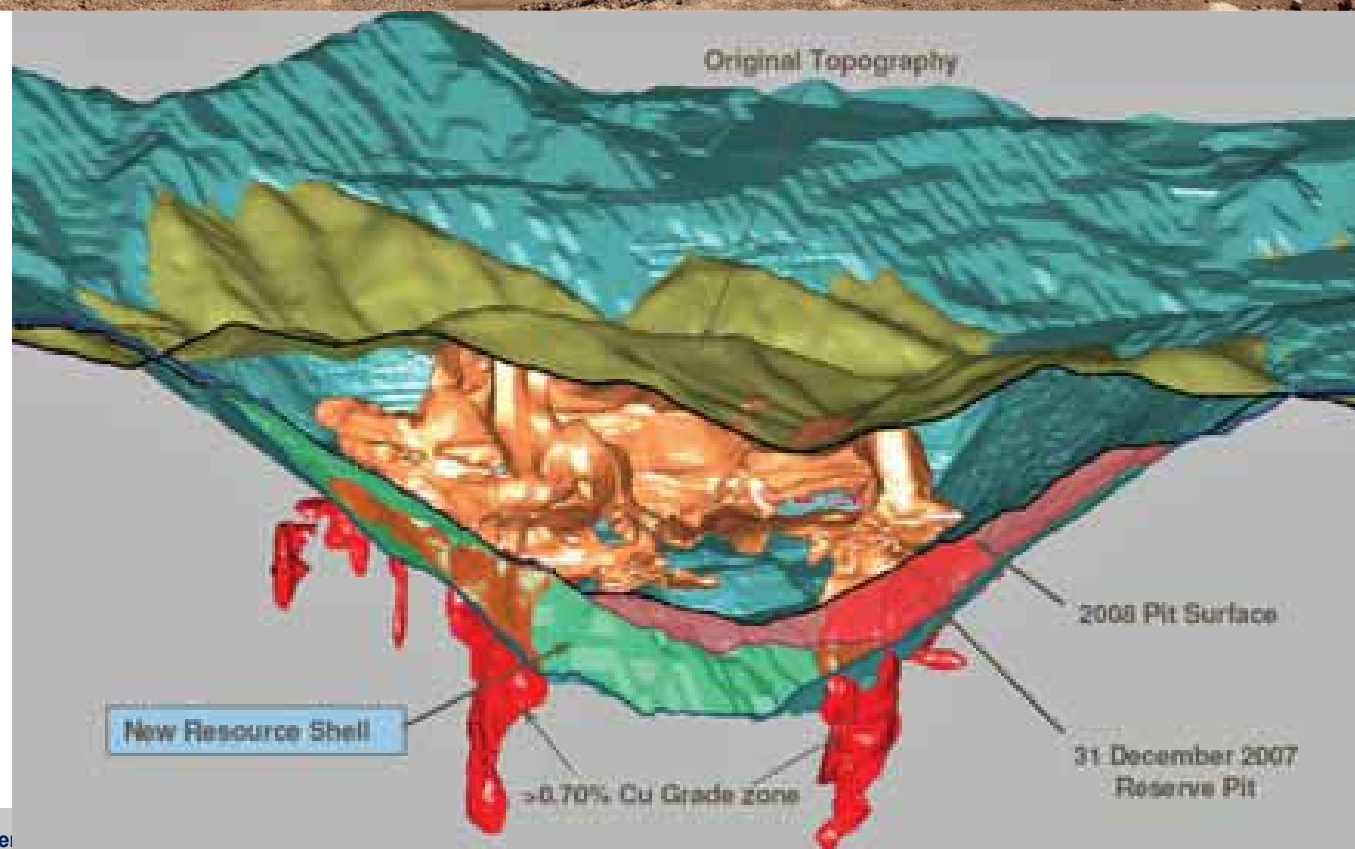
Concepción de una mina subterránea

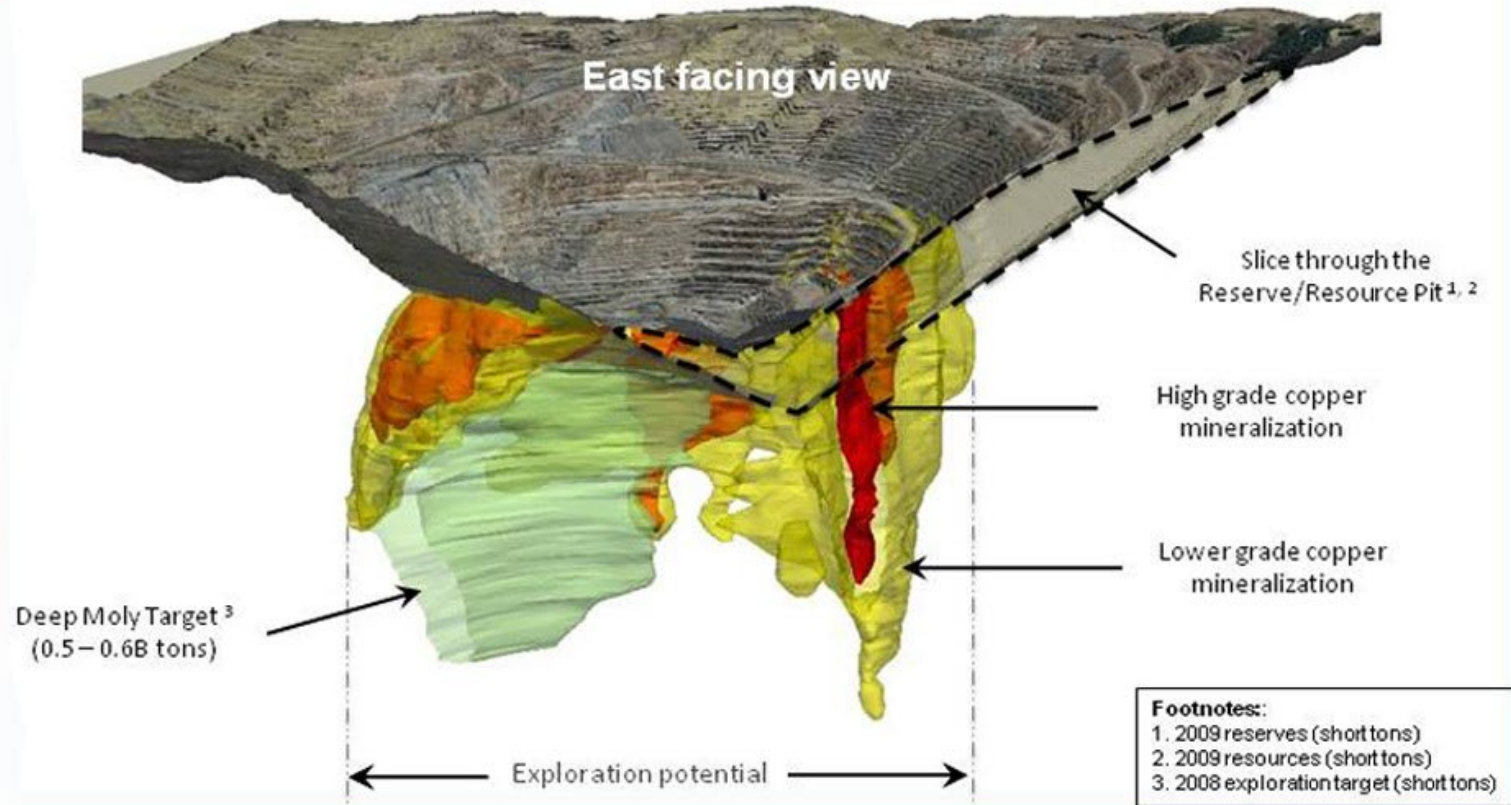
Se llama mina de interior o mina subterránea al **conjunto de pozos, galerías, rampas y chimeneas o coladeros, así como de labores de explotación, destinados a permitir la explotación eficiente** de un mineral o conjunto de minerales de un yacimiento situado a una cierta profundidad y que no es accesible por métodos de explotación a cielo abierto, **bien sea por razones técnicas, económicas, ambientales o sociales.**





Bingham
Canyon (USA)





Concepción de una mina subterránea

- El proyecto, la construcción, operación y cierre de una mina subterránea involucra un amplio conjunto de actividades de excavación y construcción.
- Estas actividades varían de un proyecto a otro y dependen de:
 - Las condiciones del emplazamiento.
 - Las condiciones geológicas y geomecánicas del yacimiento.
 - Las condiciones de cierre.
- Si el yacimiento se encuentra suficientemente próximo a la superficie, es probable que su explotación se inicie con una explotación a cielo abierto y que ésta pase posteriormente a ser por interior.
- La excavación y extracción del mineral constituye solo una parte del proceso minero, que también incluye la investigación geológica, el proceso mineralúrgico, la gestión de residuos mineros, la protección medioambiental y de la seguridad, etc.

Minería a cielo abierto

■ Ventajas:

- Alta productividad y bajo coste.
- Inicio de la producción más temprano.
- Flexibilidad.
- Equipos de mayor tamaño.
- Bajo coste de fragmentación.
- Buena recuperación.
- Buenas condiciones de trabajo.

■ Inconvenientes:

- Limitaciones por profundidad (ratio estéril/mineral).
- Alta inversión.
- Coste de restauración.
- Impacto de la meteorología en la operación.
- Mayor extracción de estéril (escombreras).
- Estabilidad de taludes.



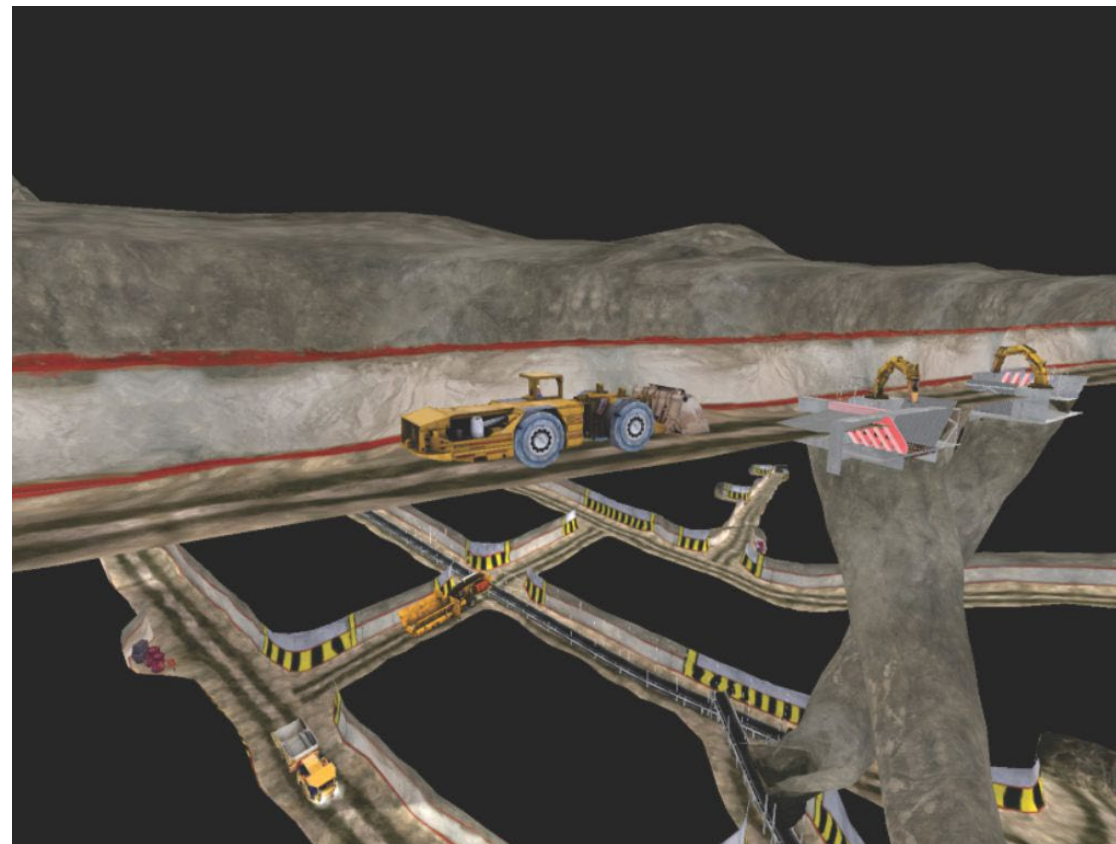
Minería de interior o subterránea

■ Ventajas:

- Menor producción de estéril
- Menor impacto ambiental
- Menor coste de restauración
- Mayor precisión en la extracción.

■ Inconvenientes:

- Puesta en producción más larga.
- Necesidad de ventilación y control de estabilidad de techos.
- Trabajo en espacios confinados.
- Mayores consideraciones concernientes a la seguridad, lo que hoy día no quiere decir menor seguridad en las operaciones.
- Mayor consumo de energía por tonelada producida.
- Difícil control de leyes y de la dilución.
- Ritmos de producción más bajos.



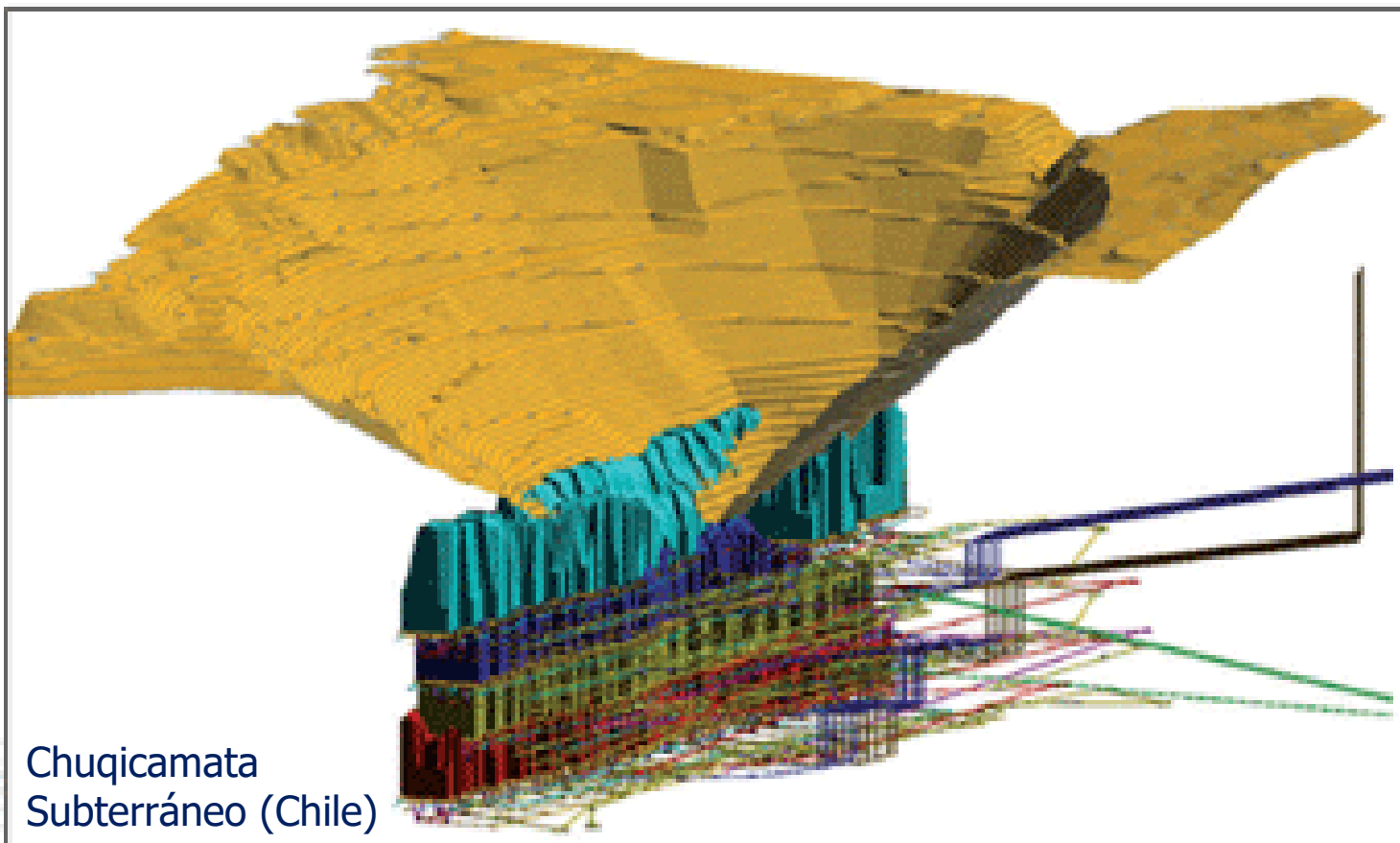


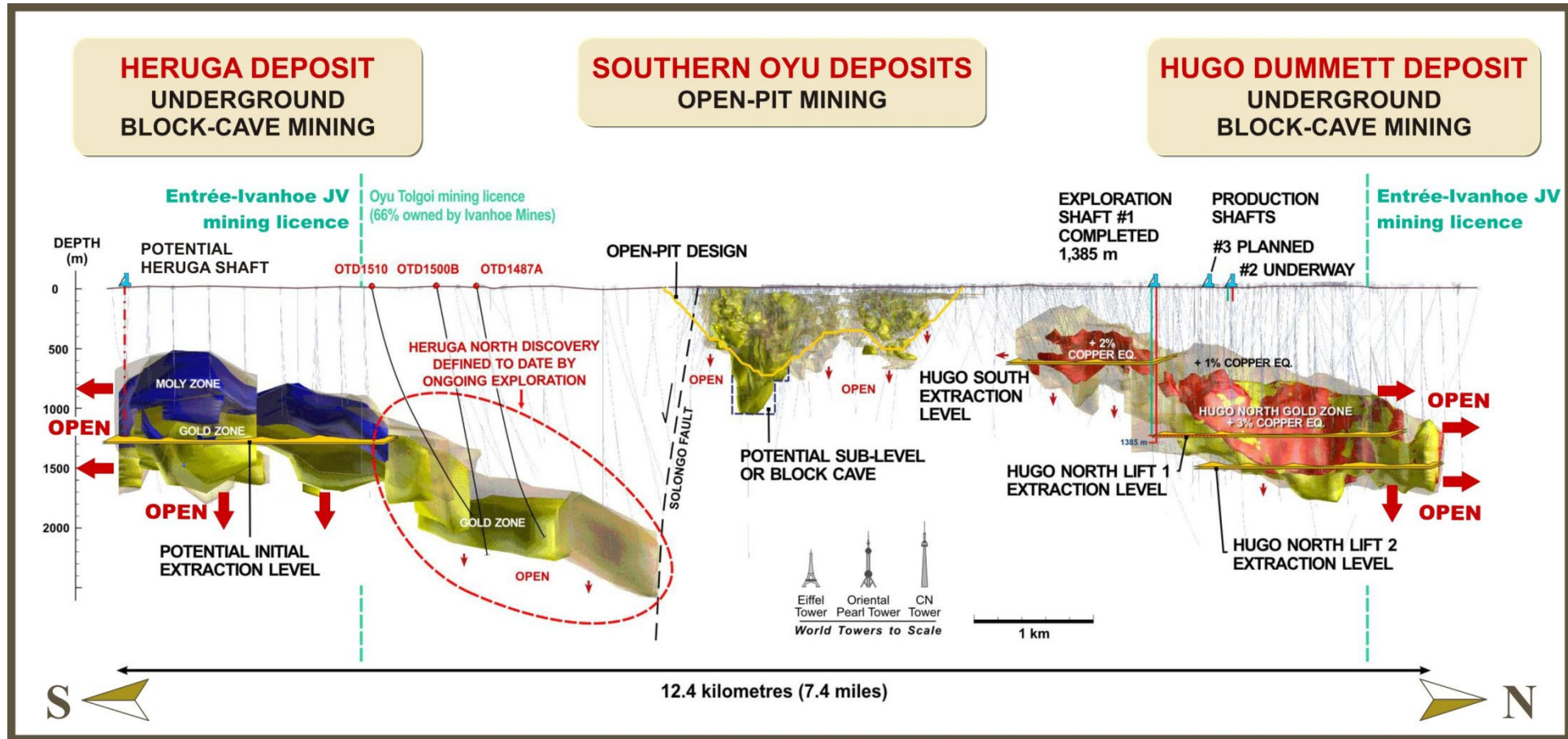




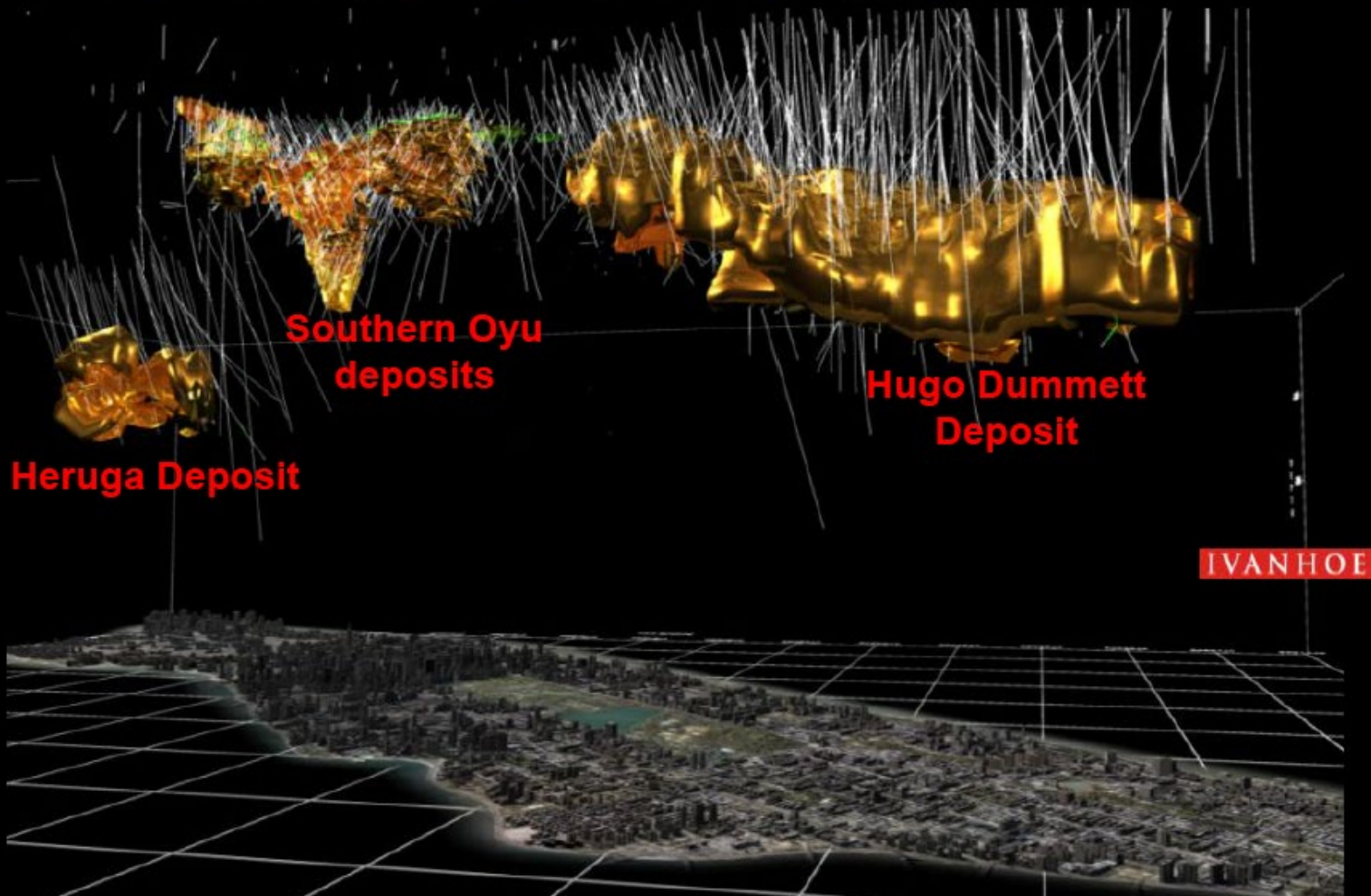
MODELO

Chuqicamata
Subterráneo (Chile)





Deposits at Oyu Tolgoi after 10 years of drilling shown to scale over Manhattan, NY



Métodos de interior

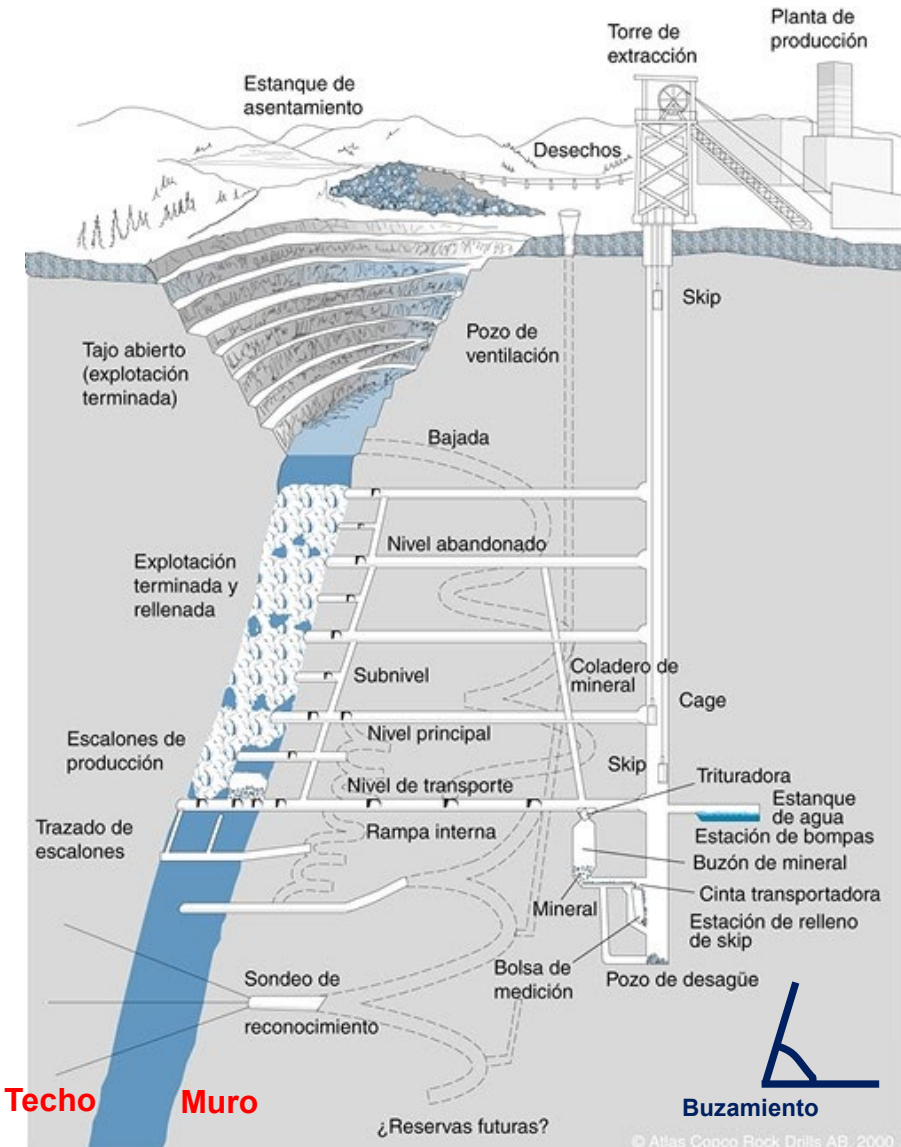
- Son métodos utilizados de leyes de mineral de media a alta
- Ritmos de producción: generalmente, entre 500-50.000 t/día aproximadamente.
- Tienen un carácter más selectivo que el método de cielo abierto (a excepción de los métodos por hundimiento).
- Problemas de diseño:
 - Geometría de la mina subterránea
 - Estabilidad y sostenimiento
 - Ubicación de los accesos
 - Logística para el transporte y movimiento de mineral
 - Ventilación y drenaje
 - Infraestructura y operación
 - Maquinaria

Labores de preparación y desarrollo

Para conseguir la extracción eficiente de las reservas mineras en condiciones de suficiente rentabilidad, seguridad y protección ambiental, todo yacimiento requiere la construcción de un proyecto específico.

- Este proyecto específico,
 - Se crea y desarrolla en una fase previa a la producción del mineral,
 - Es **íntimamente dependiente del método de explotación** seleccionado y,
 - Tiene por finalidad la creación de los componentes básicos del conjunto de la mina y necesarios para asegurar una **producción eficiente y sostenible**.

- Este proyecto se articula necesariamente en torno a:
 - Los accesos
 - La preparación (construcción) de la mina: desarrollo, sostenimiento, ventilación, iluminación, servicios, etc.
 - La selección de los métodos de explotación

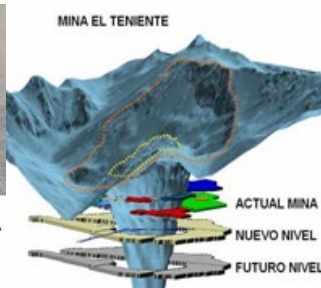
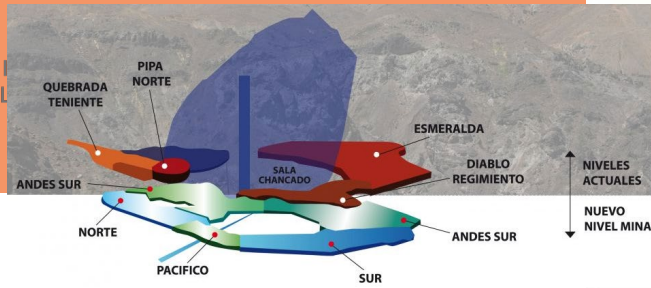


- Los accesos son las labores mineras que abren el camino desde la superficie al cuerpo mineralizado para su explotación.
- La **preparación** y **desarrollo** incluye todas las excavaciones y construcciones que **preceden al proceso minero** de extracción de mineral, al tiempo que preparan al yacimiento para que pueda llevarse a cabo la producción minera.
- Incluye, por tanto, la configuración de una red cuidadosamente planificada de desarrollos mineros que integra:
 - Pozos de acceso, producción y/o ventilación (en su caso, plano inclinado o socavón según proceda).
 - Rampas interiores y secundarias
 - Túneles y pozos de exploración
 - Galerías (principales y secundarias)
 - Configuración y preparación de cámaras y tajos
 - Pozos auxiliares, piqueras, chimeneas, rampas, etc.
 - Infraestructura para el personal
 - Infraestructura de servicios auxiliares: ventilación, drenaje, seguridad, etc.
 - Infraestructura de trituración
 - Estaciones de carga
 - Infraestructura para el mantenimiento y estaciones de servicio
- La preparación **esta íntimamente conectada con los métodos de explotación** y **define la infraestructura** de la mina.



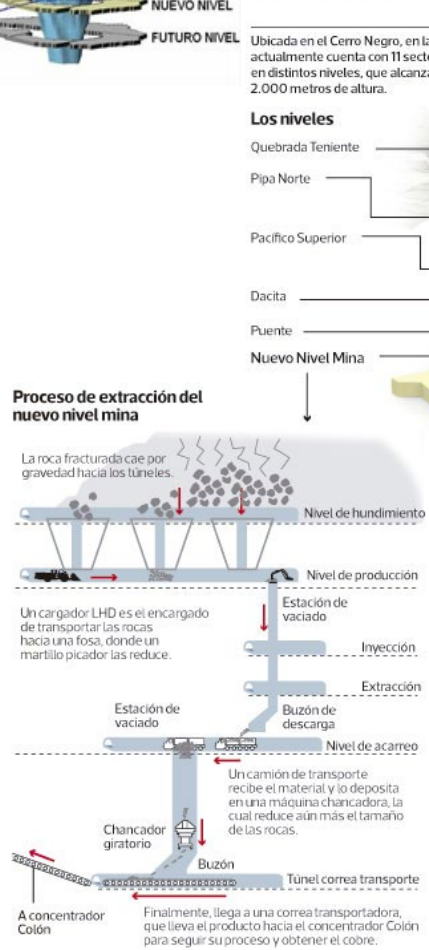
Rio Tinto Eagle Mine. Vista de infraestructura de superficie



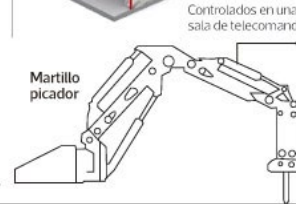
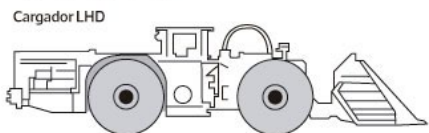


Nuevo Nivel Mina El Teniente
Cortesía Codelco

Proceso de extracción del nuevo nivel mina



Algunas maquinarias

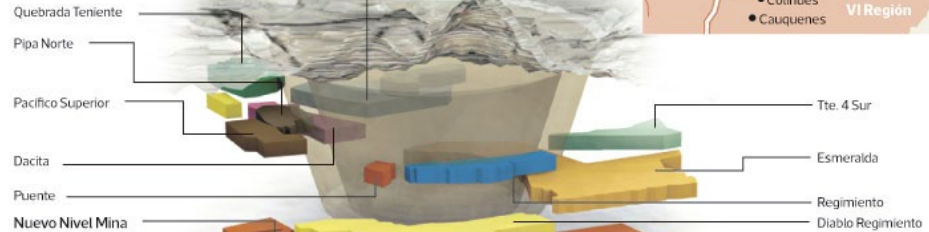


FUENTE: División El Teniente, Codelco

EL INTERIOR DEL YACIMIENTO DE COBRE

Ubicada en el Cerro Negro, en la comuna de Machalí, actualmente cuenta con 11 sectores de explotación, en distintos niveles, que alcanzan los 2.000 metros de altura.

Los niveles



Barrio cívico

Ubicados en los túneles, se habilitan con comedores, postas, oficinas, museos, auditorios, baños, para contribuir a la calidad de vida de los trabajadores.

Casino

En el interior hay un casino donde los trabajadores de la mina pueden almorzar y cenar.

Oficinas

Las oficinas de administración y control cuentan con la más alta tecnología.

Los túneles



Ropa de seguridad

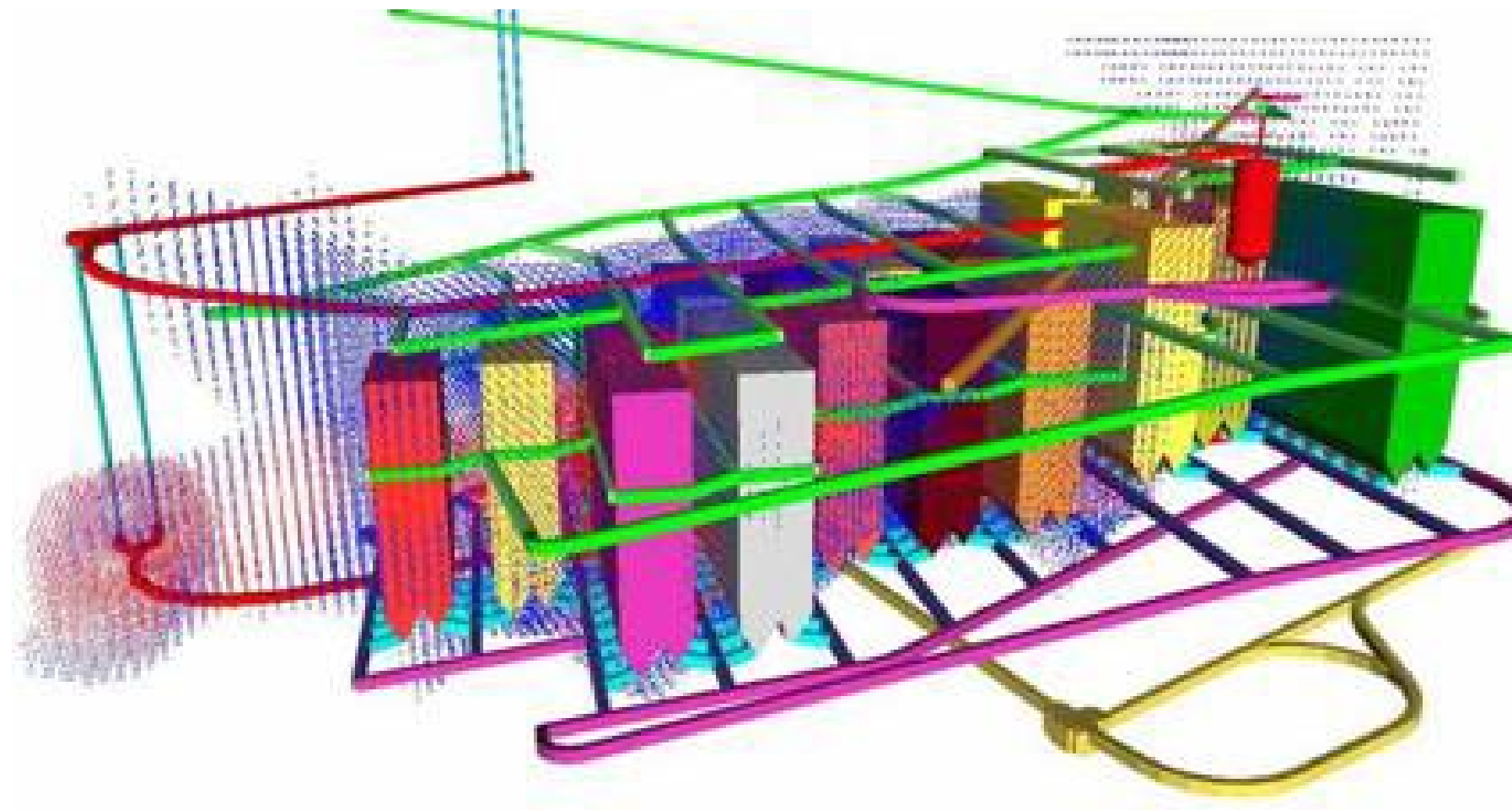


Semáforo

Cada cierta distancia, en el túnel de acceso a la mina existen semáforos que controlan el tránsito en el interior.



INFOGRAFIA: Heglar Fleming - LA TERCERA





Tendencias actuales

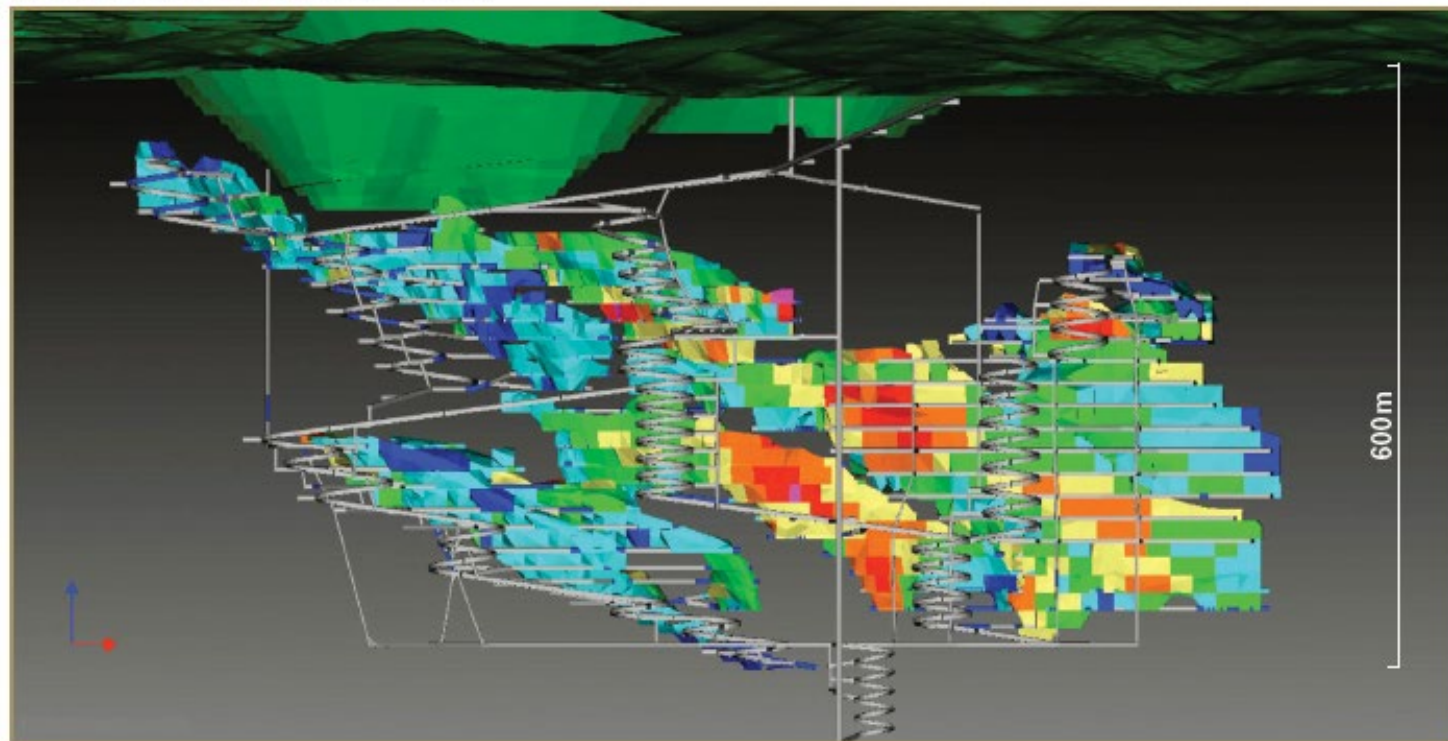
- Creciente desarrollo de proyectos ejecutados por métodos de minería de interior y muy presumiblemente, esta tendencia seguirá siendo predominante en los próximos 20 años.
-
- Se espera que el 55% de la producción minera mundial sea subterránea hacia el año 2025.
- En su mayor parte, el desarrollo tecnológico existente actualmente en la minería está enfocado hacia éste tipo de explotaciones.

La evolución de la industria hacia explotaciones subterráneas se debe a varias razones. Destacan las siguientes:

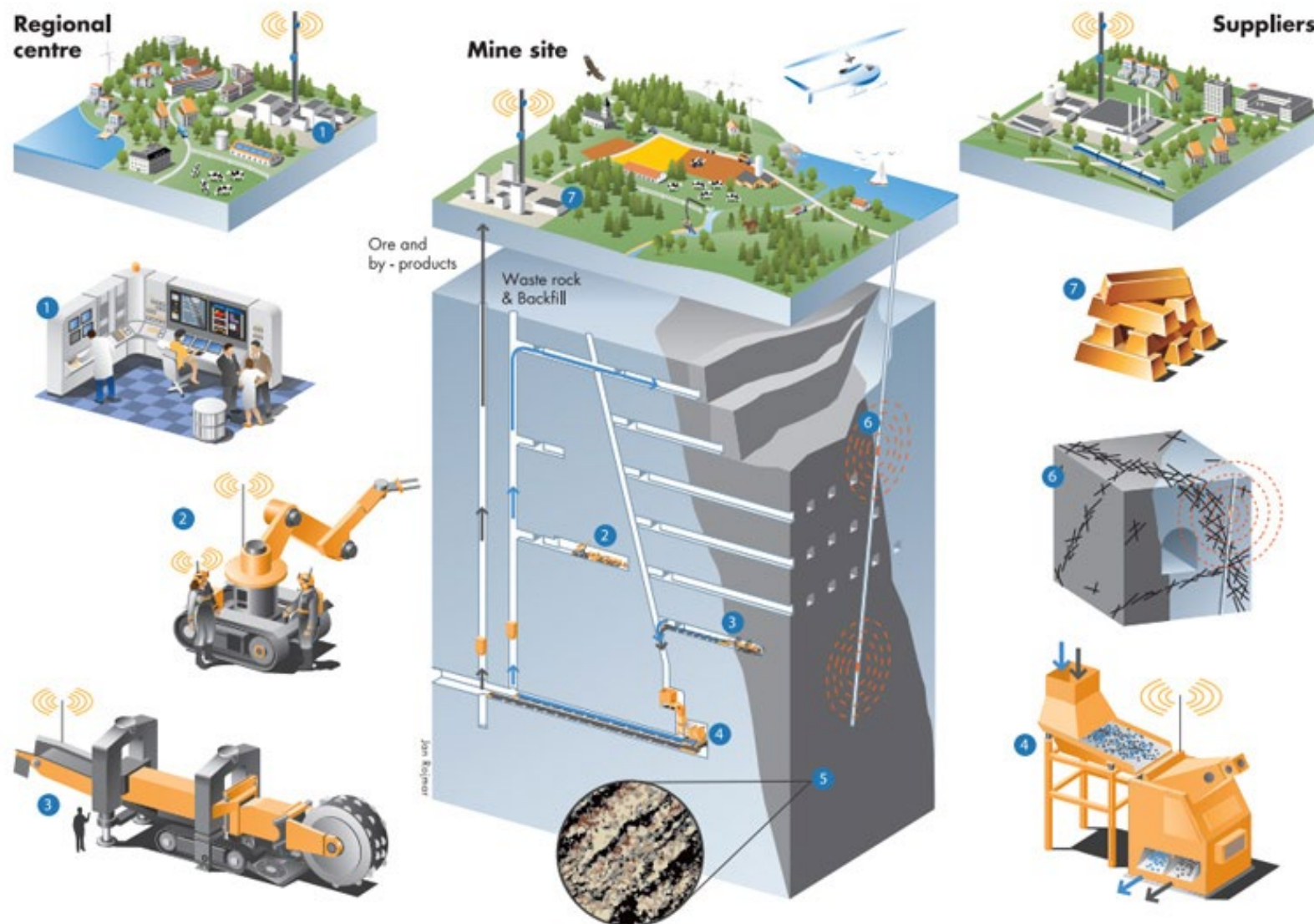
- Muchos grandes yacimientos que han venido siendo explotados en el pasado, que presentan ahora mejores recursos a mayor profundidad (Chuquicamata, Bingham Canyon, etc.).
- Desarrollo de gran número de proyectos de interior de nueva ejecución.
- Modificación de los esquemas operativos hacia operaciones de mucho menor impacto ambiental y menor huella sobre el territorio.
 - Eliminación de las necesidades de extracción de estéril, o reducción de las mismas al mínimo.
 - Preservación de las condiciones ambientales del entorno.
 - Mejor coexistencia con usos del territorio y menor afección a comunidades.
 - Reducción del impacto ambiental de las operaciones y mejor conservación de los recursos naturales.
- **Extracción más eficiente de los yacimientos.**
 - En comparación con una explotación a cielo abierto, los costes de operación de una mina subterránea no necesariamente son mayores (en una explotación minera a cielo abierto, a medida que se avanza en su explotación, va profundizando cada vez más y con ello va aumentando el coste de transporte, al tiempo que también aumenta progresivamente la cantidad de material estéril que se debe remover para extraer la misma cantidad de mineral).
 - Las explotaciones de interior son cada día más seguras, menos contaminantes y mucho más económicas en comparación a como eran hace pocos años.

- Materialización de las inversiones mucho más segura.
- Mayor utilización de tecnología más avanzada, por lo que se necesitan menos trabajadores pero más especializados.
- Se ha incrementado notablemente la seguridad en las operaciones lo que ha reducido muy sustancialmente las tasas de accidentalidad en las explotaciones.

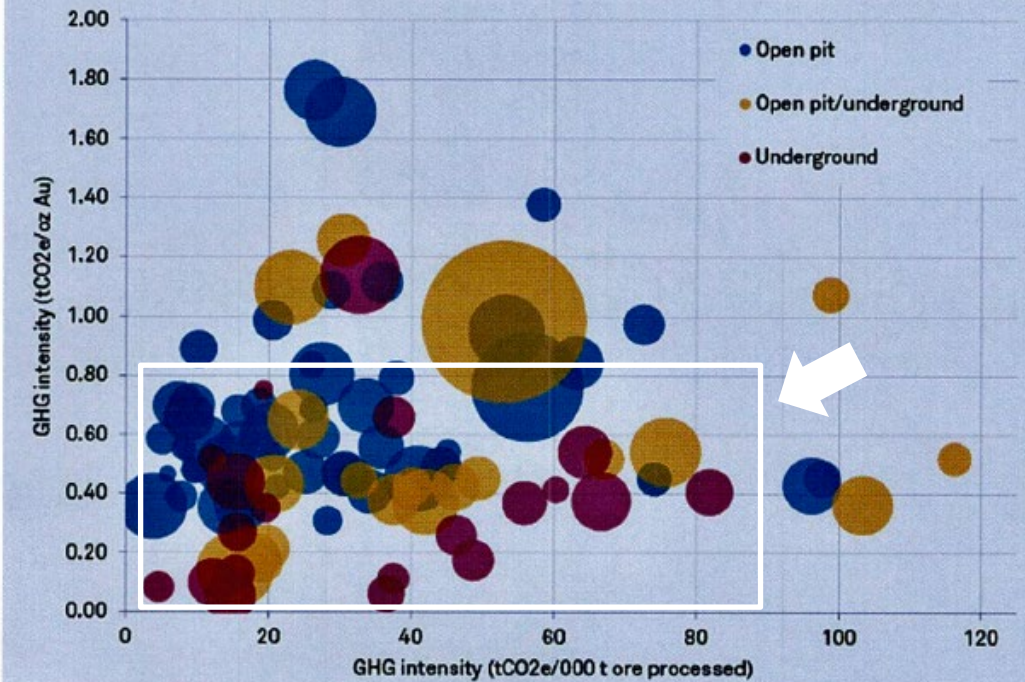
KIBALI UNDERGROUND MINE DESIGN



- Como las operaciones serán cada vez más profundas, se hace necesario desarrollar diferentes estrategias y tecnologías que permitan afrontar las condiciones complejas y cambiantes de las nuevas explotaciones mineras.



Open pit gold mines higher emitters per ounce produced, lower on per tonne of ore processed in 2020

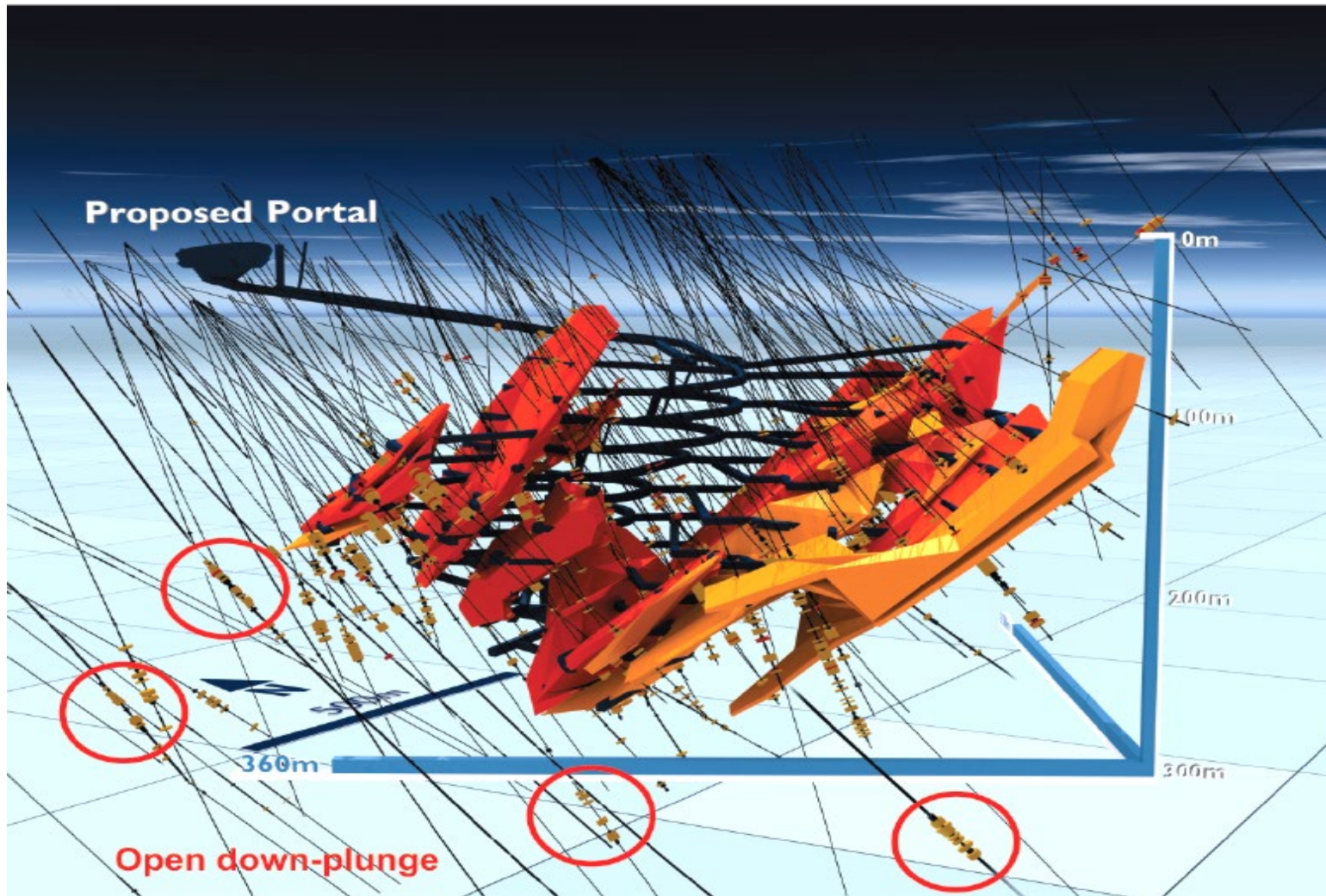


Data as of Aug. 11, 2021.
tCO₂e = tonnes of CO₂ equivalent; GHG = greenhouse gas
Bubble size determined by 2020 gold production.
Sources: S&P Global Market Intelligence; company sustainability reports

Source: EM&J September 2021

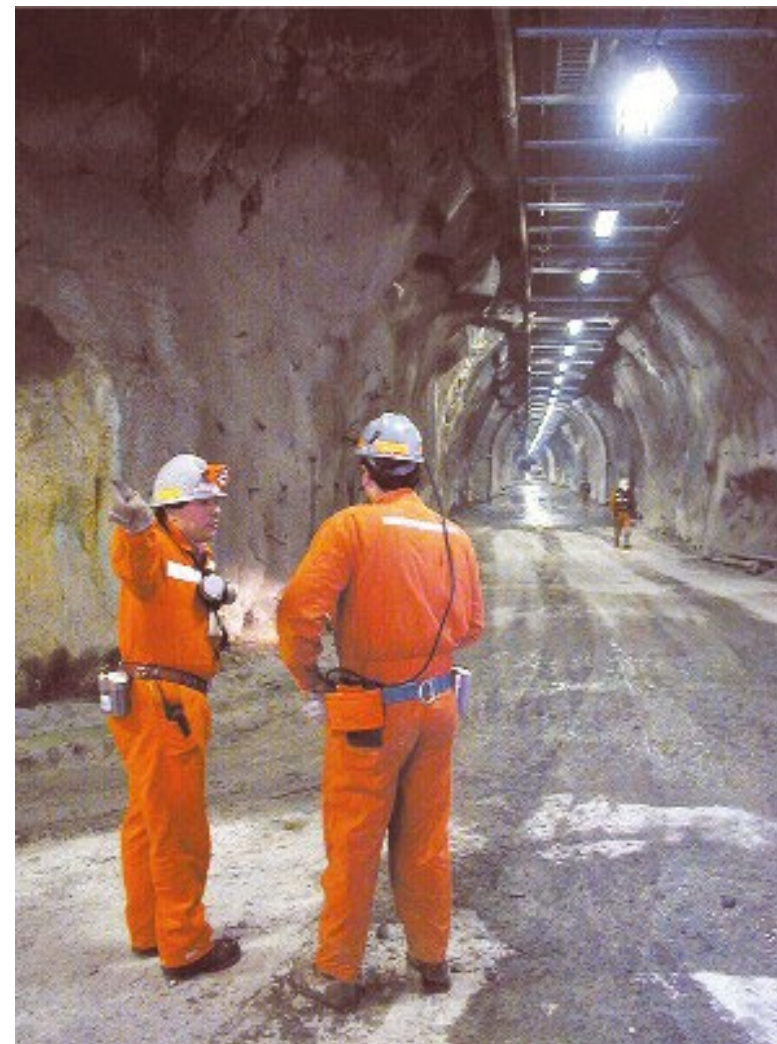
Underground operations can lead the way to a more decarbonized industry with greater emissions reductions

**June 2012 Mineral Resources: 10,329,000t @ 2.0% Cu, 4.0% Zn,
40g/t Ag, 1.1g/t Au**



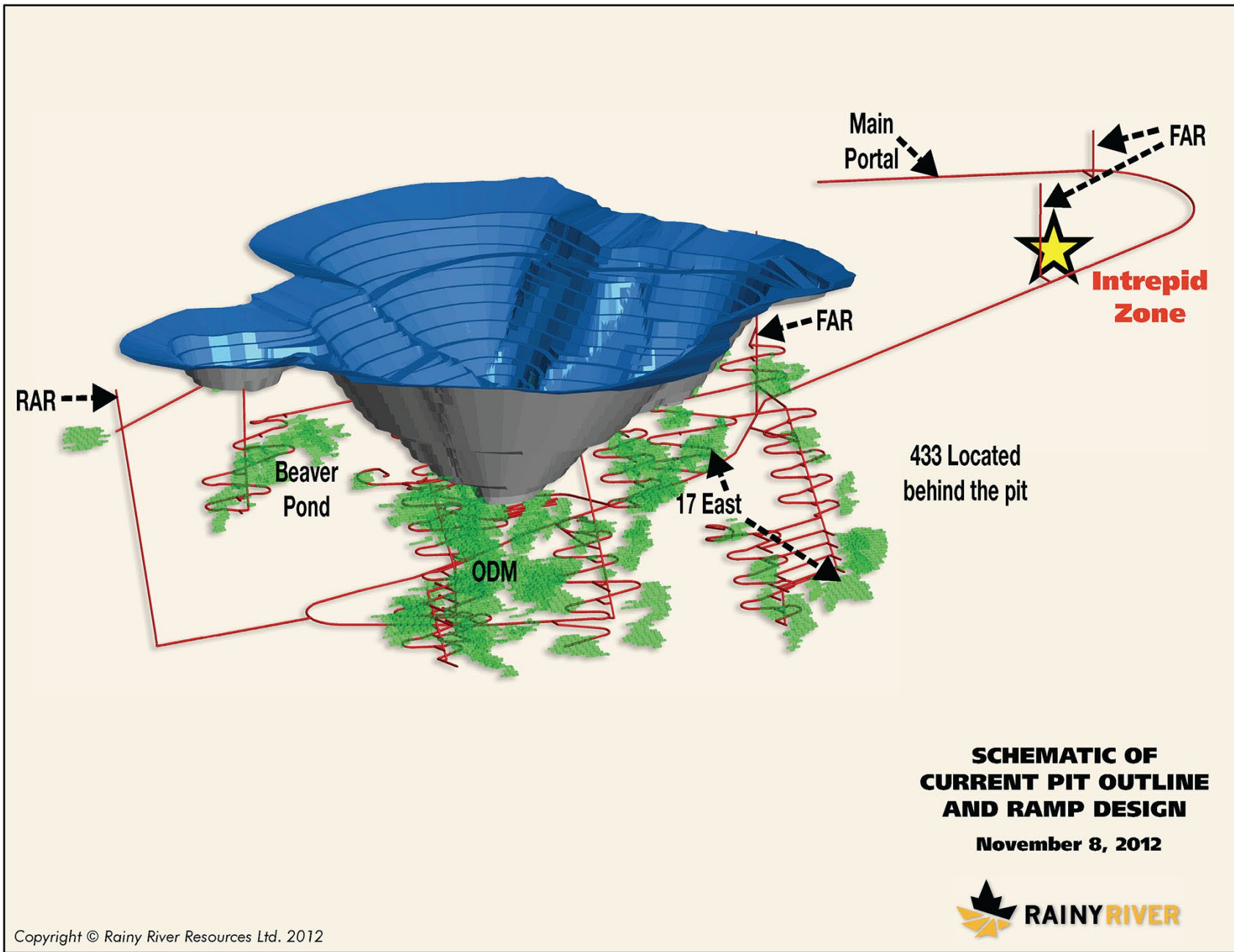
Esquema general de una mina de interior

- Los aspectos que deben ser analizados en todo proyecto de explotación subterránea incluyen, al menos, los siguientes:
 - Accesos:
 - Socavones
 - Planos inclinados
 - Pozos
 - Pozos inclinados
 - Maquinas y/o sistemas de extracción.
 - Desarrollo de infraestructura de mina. Plan general de infraestructura de mina.
 - Preparación de tajos:
 - Perforación
 - Voladura
 - Desescombro

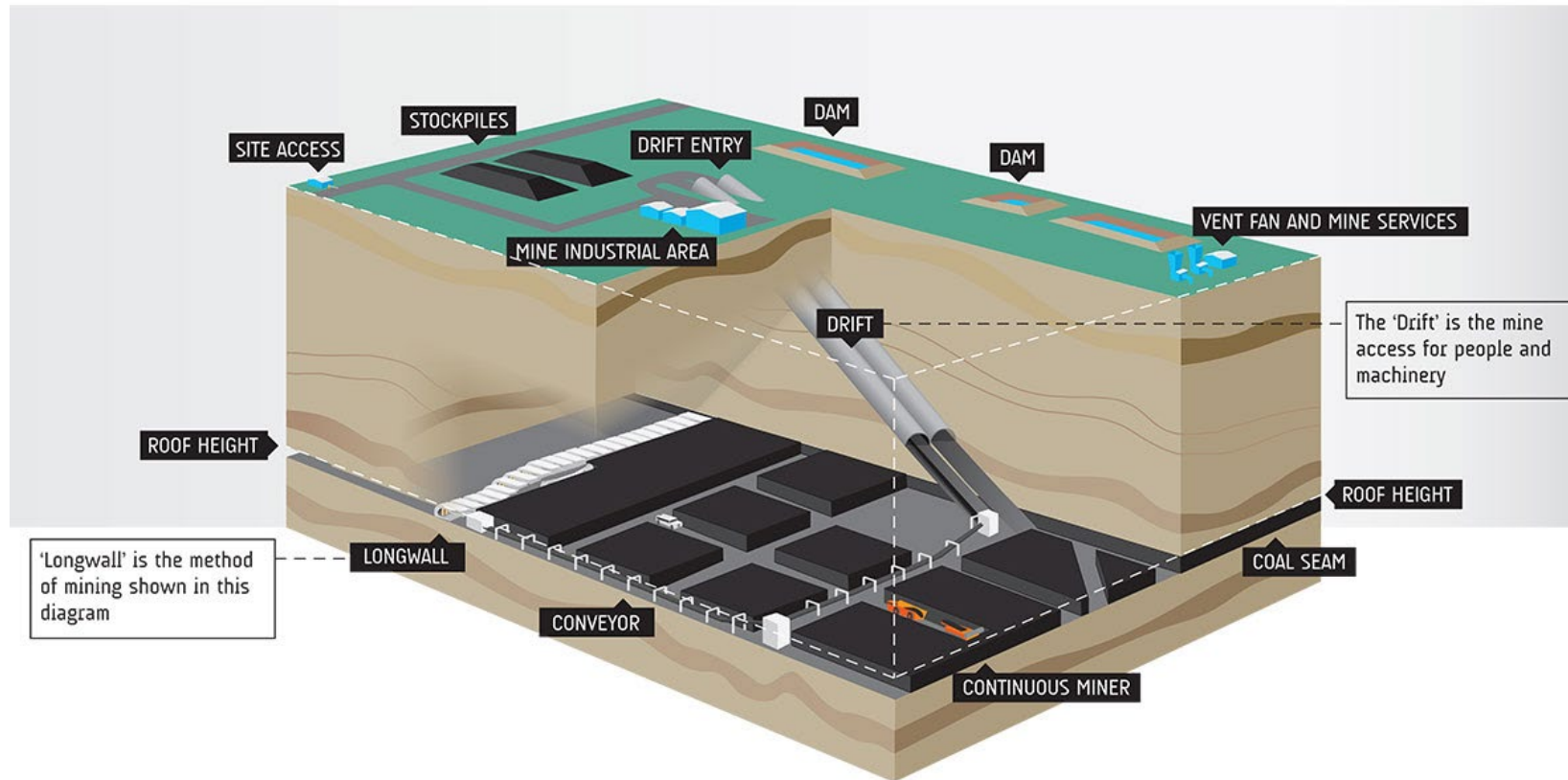


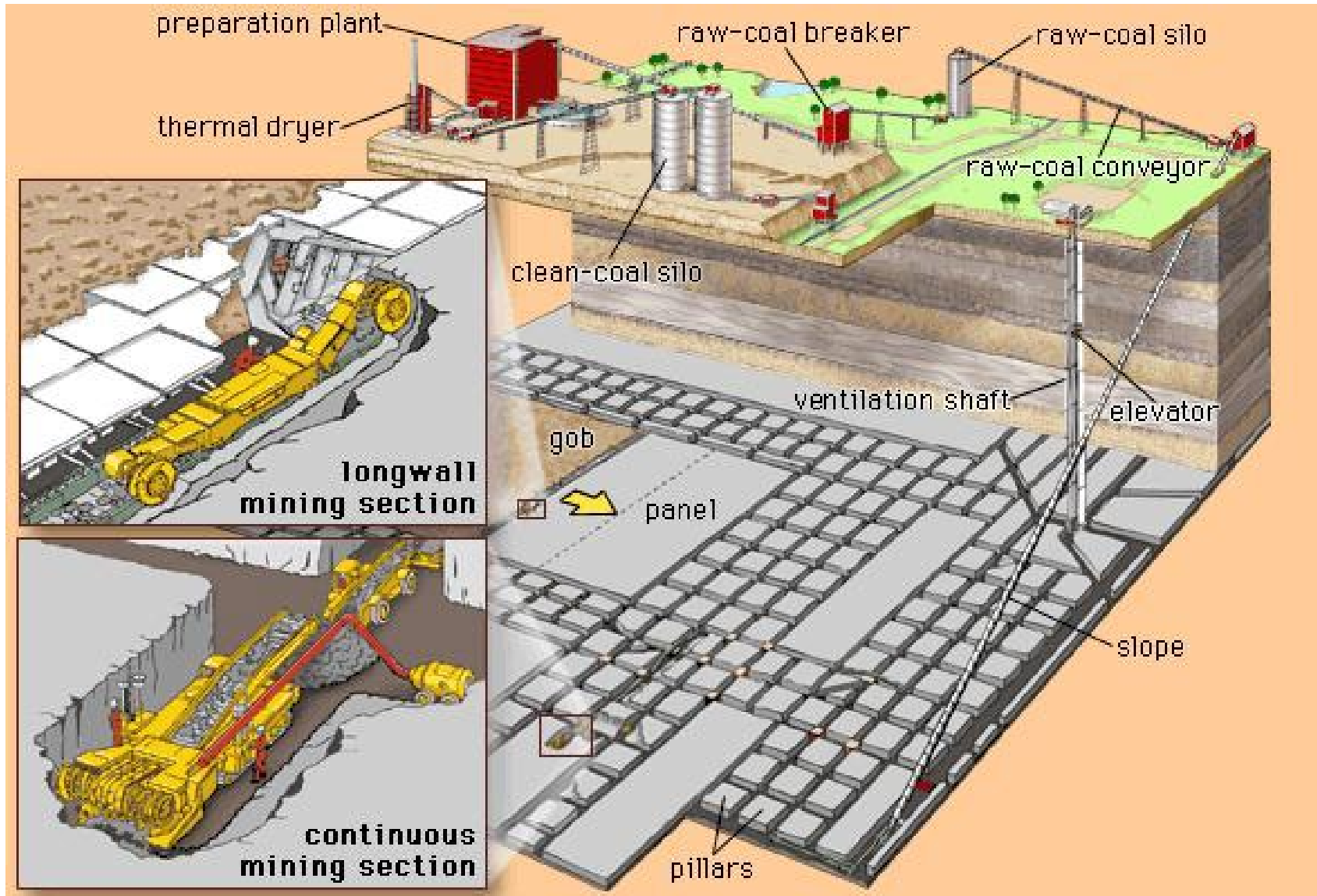
- Sostenimiento
- Transporte de materiales y suministro
- Transporte de materiales arrancados
- Drenaje
- Ventilación
- Iluminación
- Emergencia y rescate
- Selección del método de explotación
 - Productividad
 - Dilución
 - Determinación de la flota
 - Estimación de costes
- Abandono y cierre





LONGWALL MINING CUTAWAY







Dudas y preguntas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS MINERAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID
HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF MINING AND ENERGY ENGINEERING
MINING TECHNOLOGIES LABORATORY