

Juan H. Rojas Cortés

Jota2erre Innovaciones, Santiago de Chile, jhrojasc@jota2erre.com

---

## RESUMEN

Chile y Perú ofertan el 40% del cobre de mina en su mercado y cuentan con más del 30% de las reservas conocidas en el mundo. Por tanto, su forma de hacer minería está viviendo un momento crucial. La industria de las comunicaciones, la electromovilidad y la energía verde le abren espacios enormes para su crecimiento futuro. Los factores críticos de éxito son la excelencia operacional, la minería inteligente y la certificación ambiental. Precisamente, los requisitos de la minería 4.0.

La sola ocurrencia de accidentes fatales no cumple con la excelencia operacional. Los accidentes fatales no son lamentables, son inaceptables. Erradicarlos es una obligación ética. Seguidamente, la minería inteligente se refiere a Data Science. Sin embargo, la utilización de la data generada por los sistemas digitales 3.0, como el Dispatch o PI, no llega al 5%. Otros observadores sostienen que ni siquiera al 1%. Finalmente, la certificación ambiental es la eco-garantía de la trazabilidad de la gestión operacional. En definitiva, el “cómo lo hacemos” en la industria ya no es suficiente para incursionar en ese territorio nuevo y con otros paradigmas. La innovación siempre es necesaria cuando el “cómo lo hacemos” ya no es suficiente.

Minería 4.0 es minería verde, pero más productiva, más rentable y de partida, con cero accidentes. ¿Cómo se hace? Lo primero, configurar el negocio minero como una red de procesos que agregan valor mediante la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales. La mina y la planta son sus componentes principales y su valor agregado será máximo, cuando sus puntos de fuga estén en el mínimo. Por tanto, el propósito común del “cómo lo debiéramos hacer” es minimizar esos puntos de fuga. Esta comprensión de trabajo transforma el “cómo lo hacemos” en el “cómo lo debiéramos hacer”. Se trata de un viaje, no de un destino. Un viaje que genera elevados retornos y prestigio profesional. Los puntos de fuga son todos aquellos imprevistos que generan tiempos improductivos. Y minimizar los

tiempos improductivos maximiza la utilización de la capacidad de producción, con cero accidentes y menores costos. ¿Qué se requiere? Aprendizaje e innovación. Precisamente, los dos dominios que hacen que el futuro sea diferente. El futuro diferente que se puede construir con la Minería 4.0.

### 1. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de Minería 4.0?

De acuerdo con investigadores como Löw et al (2019), Sishi & Telukdarie (2020), Byrne & Engdahl (2021), y Tenorio (2022), la minería 4.0 es *tecnológica*. Se trataría de máquinas inteligentes que mejoran las decisiones por basarse en datos, con capacidades para interoperar entre sí y enfocadas en la reducción de las deficiencias y variabilidad de los procesos.

En efecto, la minería 4.0 es una *innovación tecnológica* que emerge a partir de las nuevas posibilidades que trae la llamada 4ª Revolución Industrial, como *big data*, *data analytics* y *machine learning*, probablemente los dominios más prometedores para la industria minera. Principalmente, porque cualquiera de sus operaciones extrae diariamente cientos de miles de toneladas de material, utilizando equipamiento tecnológico de punta, que es monitoreado en tiempo real desde hace varias décadas.

Sin embargo, a pesar de su riqueza, la utilización de la Data operacional generada por sus sistemas digitales 3.0, como el Dispatch en mina o PI en planta, no supera el 5%. ¿Qué comprensión de trabajo sustenta un “cómo lo hacemos” que solo requiere de un 5% de la data operacional que genera? ¿Cuántas oportunidades de innovación ocultan esos ámbitos de gestión que no están siendo monitoreados? El lema de la *Data Science*: “Dejar que los datos hablen” solo tiene sentido cuando el usuario conoce el lenguaje que hablan los datos.

El desafío no está en dar un salto mayor en la efectiva utilización de la Data sino en materializar las oportunidades disponibles en todos aquellos ámbitos del hacer que todavía no están siendo monitoreados. Los puntos de fuga de valor entre ellos. Como se mostrará, no son pocas las innovaciones que se pueden lograr tan solo examinando los KPI's en una empresa y

preguntarse qué es lo que miden, para qué y para quién. No es sorprendente que las respuestas a esas preguntas abran posibilidades de diseño de nuevas prácticas y aplicación de estándares de efectividad más precisos y acabados. Es decir, innovación.

En tanto *innovación tecnológica*, la *minería 4.0* es primero *innovación*, en cuanto diseño de nuevas prácticas y después, solo después, *tecnológica*. Después de todo, los avances tecnológicos existen porque hubo *innovación* previamente.

Por otra parte, la historia ambiental de la minería está relacionada con la contaminación atmosférica de gases y material particulado producidos por sus operaciones, la explotación indiscriminada de las fuentes hídricas, con emisiones y efluentes tóxicos, pasivos ambientales por el abandono de tranques de relave, más las emisiones de gases de efecto invernadero. La única forma de reescribir esa historia es diseñando e implementando prácticas sostenibles. Esas prácticas constituyen la *minería verde* y la *minería verde* es presente, no futuro.

Por tanto, la *minería 4.0* se refiere a un “*cómo lo debiéramos hacer*” que satisface todos los criterios de aceptabilidad de la minería verde, pero más productiva y rentable, dadas las posibilidades de la transformación digital. La *minería 4.0* es primero innovación y, después, tecnológica.

## 2. La Minería 4.0 en el dominio de la Innovación

La *minería 4.0* es el “*cómo lo debiéramos hacer*”. Por tanto, lo que sigue es la reflexión sobre qué tan lejos está del “*cómo lo hacemos*”. La *comprensión de trabajo* y las prácticas del *cómo lo hacemos* determinan su capacidad operativa. Las diferencias con el “*cómo lo debiéramos hacer*” son *brechas de efectividad*, una distinción tomada del trabajo de Kofman (2003), y que se aplica a cualquier ámbito del trabajo organizacional, individual o colectivo. Por eso es necesaria su medición sistemática y metodológica. La efectividad no sólo se trata de capacidad de logro de objetivos. Antes de eso, se trata de capacidad para identificar debidamente los objetivos que se quieren lograr.

Efectivamente, el objetivo es minimizar las *brechas de efectividad*. Resultan de comparar objetivos y resultados. A mayor semejanza, mayor efectividad. El factor crítico de éxito es la interpretación compartida no sólo del “*cómo lo hacemos*” sino también del “*cómo lo debiéramos hacer*”. Al ser compartida, aquellos que son parte del problema se sienten parte de la solución y ello aumenta significativamente la efectividad del hacer. La efectividad es un parámetro tributario de eficiencia, eficacia y productividad.

La definición y explicación de un problema son determinantes en la efectividad de la solución. Kofman (2003) lo representa acertadamente cuando se refiere al primero y tal vez al peor de los errores que se pueden cometer en la *gestión empresarial*. Asumir que un problema es igual a otro y forzar la aplicación de una solución importada que sólo conduce al logro de mejoramientos marginales, por lejos más consumidores de tiempo y de recursos económicos. Un problema mal definido crea un problema que no existía y deja intacto el problema real.

La *innovación* es la ruta que transforma el *cómo lo hacemos* en el *cómo lo debiéramos hacer* y, por tanto, la interpretación común del *cómo lo hacemos* comienza con la reflexión sobre qué queremos decir cuando hablamos de *innovación*.

### 2.1 El Sentido Común de la Innovación en la Minería

Cuando se dice que algo es de “sentido común” se está indicando que está fuera de cuestión. Para Echeverría (2006), el sentido común es el lugar “*donde dejamos de hacer preguntas y donde el poder cuestionador de nuestro pensamiento opta por descansar*”. El sentido común se sustenta en principios, valores, creencias y explicaciones “*compartidas por la comunidad a la que pertenecemos*” y, por tanto, tenidos como prudentes, sensatos, lógicos y válidos. Sin embargo, la sensación de solidez que le otorga el hecho de ser compartido es, muchas veces, ilusoria. “*Vivimos en mundos interpretativos y cualquier examen crítico nos muestra que la solidez del sentido común solo proviene del consenso*”. Por tanto, sujeto a reflexión.

Godin (2008) sostiene que desde la 2ª Guerra Mundial la gente entiende espontáneamente que la *innovación* es *tecnológica*. La revisión de la literatura que respalda su investigación lo confirma. El sentido común asocia a la *innovación* con imágenes de avances tecnológicos, artefactos, cosas tecnológicas.

Al emplear el término *innovación*, la minería también se refiere a cosas que se diseñan, se construyen y se usan. La minería entiende que la *innovación* es *tecnológica*. Por tanto, la creación de artefactos es la vía para enfrentar el desafío de su competitividad y, en el caso chileno, para desarrollar capacidad exportadora de tecnología y servicios. Las agencias gubernamentales comisionadas con la innovación recurren a esta misma interpretación para evaluar las postulaciones a sus programas de financiamiento. Bajo esta comprensión de *innovación* se han presentado efectivas soluciones a problemas puntuales. Sin menoscabar su valor, estas soluciones solo ayudan a mejorar *la forma de hacer las cosas* lo que, ciertamente, produce resultados un poco mejores. El

desafío de la minería no es ser mejores, su desafío es ser distintos y, para ello, basta señalar su obligación ética: Erradicar los accidentes fatales.

La forma de hacer seguridad en la minería chilena muestra un nivel de logro superior. En 30 años, el Índice de Frecuencia de Accidentes, IF, cayó de 33,3 a 1,5 (Sernageomin, 2019). A pesar de ello, los accidentes fatales siguen siendo una realidad en la industria, lo que muestra que seguir haciendo lo mismo produce los mismos resultados. Si no se cambia, esa forma de hacer seguridad seguirá presionando para que se ejecuten las mismas prácticas que la constituyen.

Esta comprensión de *innovación* como *tecnológica* explica por qué la capacidad de exportación sigue en los pendientes de la minería chilena. Aun después de más 20 años de vigencia en la agenda del Clúster Minero Antofagasta y en las agendas de gobierno desde el año 2005 con ocasión de la Política Minera del Bicentenario. En su "Reporte de Exportaciones de los Proveedores de la Minería Chilena", ProChile (2021) señala que el valor FOB de los bienes exportados cayó desde los US\$ 701 millones en 2014 a US\$ 477 millones en 2020. El número de empresas exportadoras disminuyó de 519 a 414.

Que la forma de hacer minería haya permanecido invariable por décadas es una evidencia de los limitados espacios que ha tenido la *innovación*. Observadores internacionales como Durrant-Whyte et al (2015) ratifican esta evaluación. El Roadmap Digitalización para una Minería 4.0 intenta cambiar esa historia. Más de un centenar de profesionales convocados para configurarlo representando a empresas productoras y proveedoras de bienes y servicios, agencias gubernamentales asociaciones gremiales, universidades, y otros observadores de la minería chilena. Sin embargo, concluir que bastaría con recurrir a las soluciones tecnológicas 4.0 para disponer, en el corto plazo, de "*Procesos predecibles, estables y controlados, acotando y disminuyendo su variabilidad*" no desafía la tradición mecanicista de considerar a la *innovación* como *tecnológica*.

No se trata de decir: «mire vamos a aplicar estos nuevos avances tecnológicos». La primera pregunta que surge es ¿Para resolver qué problema? Por ejemplo, para resolver el problema de la ausencia de conectividad mediante la interoperabilidad entre sistemas digitales como el Dispatch, PI y SAP/PM. A pesar de haber sido formulado el año 2017 y con la CORFO cofinanciando su diseño e implementación, el Programa Tecnológico para la Interoperabilidad Minera sigue inmovilizado en Chile.

Por otra parte, la minería chilena sí ha recurrido a los avances tecnológicos 4.0. Ha utilizado los avances tecnológicos de las comunicaciones para sacar sus

centros de coordinación operacional de la mina, como el Dispatch y PI, por ejemplo, e instalarlos en ciudades ubicadas a cientos de kilómetros de distancia (Rivera, 2021). Se les ha llamado centros integrados de operaciones, CIO (Figura 1). Aparte del traslado, la comprensión de trabajo es la misma y, por tanto, el desafío sigue siendo "hacer bien lo que se ha hecho siempre".



Figura 1. El Centro Integrado de Operaciones de la Minería

En los ecosistemas de innovación, tanto en Chile como en Perú, se considera que los desafíos de la minería se superan mediante la búsqueda de artefactos tecnológicos que, además, deben cumplir con la condición de haber sido probados con éxito en alguna parte. Sin apartarse de las tradiciones del benchmarking, la minería solo aspira a ser el mejor de los *seguidores* de la industria. El benchmarking consiste en ir a mirar "*cómo lo hacen*" para importar las "*mejores prácticas*" a la gestión. Operar en esa tradición no produce líderes ni tampoco referentes mundiales. Solo garantiza seguidores. Precisamente, lo contrario de lo que se espera de la minería de Chile y Perú.

En el "Impact Report 2017-2020" publicado por la Fundación Chile (2021), se concluye que el ecosistema de innovación en minería habría respondido a la "*demandas de innovación mediante la incorporación de tecnologías en ámbitos tan relevantes como: seguridad laboral; continuidad operacional; gestión de activos; medio ambiente, trabajo con las comunidades; eficiencia de procesos e interoperabilidad*". La retórica del discurso oficial está en las antípodas de los resultados producidos por el *cómo lo hacemos*. Meller (2019), ex presidente de la Fundación Chile agrega que, en la tradición del *cómo lo hacen*, se privilegia lo "*extranjero a lo local. ¿Cómo una empresa chilena va a producir una innovación tecnológica mejor que una empresa extranjera?*".

Por tanto, el primer requisito de la innovación es cambiar la tradición del "*cómo lo hacen*" por el "*cómo lo hacemos*". Para lograrlo la industria debe *desarrollar capacidad de observación introspectiva*, aprender a

observar *cómo lo hacemos*. Echeverría (2009) señala que un observador siempre tendrá un punto ciego en su capacidad de observación. Ese punto ciego es el lugar donde se posiciona para observar lo que observa. *“El observador tiene dificultades para observar el lugar donde se para a observar”*, precisamente porque él mismo lo está tapando. Mientras no cambie el punto de observación, la minería seguirá sin advertir que su *forma de hacer las cosas* es heredera de más de un siglo de tradiciones de ingeniería y gestión, y que la *minería 4.0* la obliga a desafiarlas, a innovar. El conocimiento de los nuevos avances tecnológicos es relevante, pero en ningún caso suficiente para crear innovación.

## 2.2 ¿Dónde empezar?

Echeverría (1996) utiliza la distinción *“juegos de lenguaje”* de Wittgenstein (1988) para referirse a la *“reconstrucción lingüística de las prácticas sociales”*. Su ejemplo de las recetas de cocina ilustra debidamente el fenómeno. *“Una receta de cocina nos dice cómo debemos desempeñarnos en una determinada práctica social para producir una determinada comida”*. Es lo que hace un procedimiento al utilizar el lenguaje para introducir a un trabajador en una determinada práctica. Lo mismo ocurre con el manual del usuario de algún artefacto tecnológico. Lo guía paso a paso a través del lenguaje en el aprendizaje de un juego específico.

*“Lo que no es habitual, sin embargo, es la utilización de ese mismo mecanismo en sentido contrario”*. *“No para introducirnos en una práctica que nos resulta nueva, sino como una forma de evaluar y rediseñar aquellas prácticas que ya se están ejecutando”*. Este aporte de Echeverría es una de las más efectivas vías para la *innovación*. En este caso, ha sido instrumental para llegar hasta la definición misma del negocio minero y postular una nueva, más precisa e integradora. El negocio minero se ocupa de la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales.

Sin embargo, la economía de la industria minera o *Mineral Economics*, en cuanto disciplina que aplica los principios de la teoría económica a las posibilidades relacionadas con los recursos minerales, ha seguido la tradicional interpretación de que la efectividad de la gestión del negocio minero depende de factores exógenos: el precio y la ley mineral. Como resultado, se ha enfocado en la ocurrencia de los recursos minerales, los fundamentos de su mercado y en la comercialización e intensidad de uso de los productos finales. Por cierto, la caída de la ley mineral produce consecuencias en la competitividad del negocio, esa es

una evaluación correcta. No obstante, incompleta. Los equipos de planificación conocen la caída de la ley mineral con años de anticipación, es decir, con tiempo más que suficiente para materializar diseños de mitigación.

Exceptuando la notable contribución de la teoría de la ley de corte (Lane, 1964, 1988, 2016; Hall, 2019), el enfoque tradicional de la economía minera ha estado en la ocurrencia y uso final de los productos minerales, permaneciendo en los márgenes del dominio de la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales (Figura 2). La tradición de los factores exógenos, el precio y la ley mineral explica por qué la minería no ha desarrollado capacidad de observación introspectiva. De allí que esta incursión en los dominios de la transformación económica sea, por cierto, una innovación.

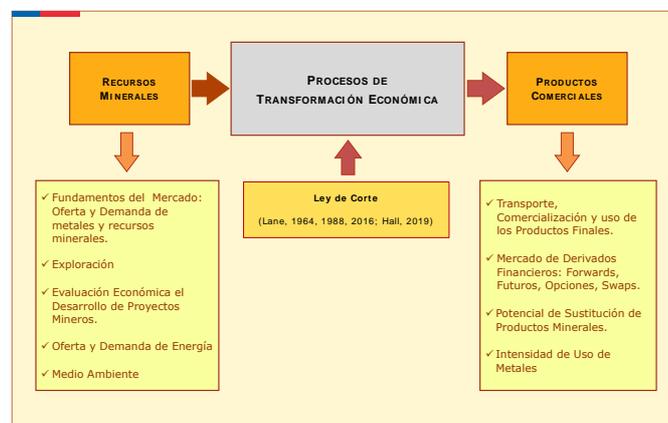


Figura 2. La Economía de la Industria Minera

Un negocio minero es una actividad que satisface a todas sus partes involucradas. No solo a los dueños, las autoridades y los clientes. También a la comunidad, los trabajadores y socios comerciales. De allí el concepto de *“licencia social”* o *“licencia para operar”*, puesto que cualquiera de ellos tiene el poder de afectar severamente el negocio al evaluar que están siendo afectados los suyos propios. Por tanto, solo una interpretación compartida del negocio, del rol de sus partes involucradas, cómo se comunican y, en definitiva, cómo deben operar asegura los resultados esperados.

Seguidamente, la condición de *“tomadora de precios”* y los efectos que produce la tasa de cambio en la minería de Chile y Perú requiere que la renta económica del negocio minero sea un concepto compartido y observado rigurosamente. Un concepto que apunte a resolver un problema real.

Primero, dejar en evidencia que la discusión del *royalty* ha sido política y de allí la confrontación en la relación de las partes. No se trata de porcentajes de las ventas. El Estado asegura su participación como dueño

de los recursos minerales, acordando el nivel de precio que produce el máximo aceptable en los excedentes generados por los productores durante la transformación de sus recursos en productos comerciales. Ese precio satisface los criterios de aceptabilidad de las partes. Todos los excedentes generados sobre ese nivel de precio pertenecen al Estado, al dueño de los recursos minerales. Ese es el *royalty*.

Segundo, develar el rol de la gestión empresarial: maximizar el valor agregado de la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales. Parafraseando a Rudawski (1986), se trata de la gestión empresarial de recursos minerales. La estructura simplificada de la Figura 3 permite ilustrar el concepto de renta económica en la minería.

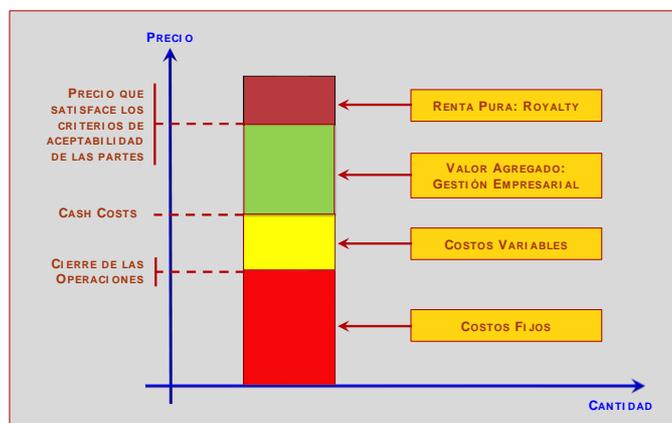


Figura 3. El Concepto de Renta Económica en la Industria Minera

## 2.2 La Gestión Empresarial de Recursos Minerales

El propósito de la gestión empresarial de recursos minerales es maximizar el valor agregado del negocio. Por tanto, su nivel de logro depende de la efectividad de la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales. Es decir, la realidad versus los planes. A mayor semejanza, mayor efectividad. En la Figura 4 se muestran los dominios de observación y acción de la gestión empresarial. La columna estructural la conforman los procesos, el equipamiento tecnológico, la data e información y la acción organizacional. El primer criterio de aceptabilidad de la *minería 4.0* es cero accidentes. Eso es excelencia operacional y se logra cuando la capacidad operativa del *cómo lo debiéramos hacer* minimiza los puntos de fuga del valor agregado del negocio.

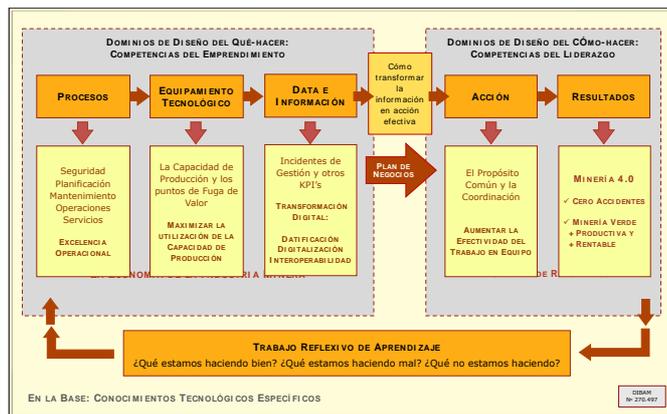


Figura 4. Los Dominios de la Gestión Empresarial de Recursos Minerales

Uno de los problemas que ha recibido poca atención en la minería es cómo transformar la información en acción efectiva. Hasta ahora, la economía del negocio y la gestión de resultados han sido dos mundos que se han relacionado en las tradiciones de la confrontación. El plan de negocios siempre ocurrirá cuando la confrontación se transforme en complementación. La empresa necesita a los trabajadores y los trabajadores necesitan a la empresa. Son mundos complementarios, la competitividad para la empresa es empleabilidad para los trabajadores.

Finalmente, el *trabajo reflexivo de aprendizaje* es una distinción tomada de Echeverría (2011), referido al lugar dónde se incuban y desarrollan las nuevas *prácticas*. Se trata de "*un trabajo sobre el trabajo*" y una efectiva vía para evaluar el *cómo lo hacemos* y desarrollar capacidades para construir el *cómo lo deberíamos hacer*. El *trabajo reflexivo de aprendizaje* es la base fundacional de la innovación. Su ausencia le da continuidad al *cómo lo hacemos* porque la organización no está aprendiendo nada nuevo. Como resultado, seguirá esforzando por hacer bien lo que ha hecho siempre y repitiendo en el futuro lo que está haciendo hoy. El punto de partida está en una interpretación común del "*cómo lo hacemos*" y "*cómo lo debiéramos hacer*". El primero es la realidad presente; el segundo representa la realidad que se quiere construir: La *Minería 4.0*.-

## 2.4 La Innovación: Diseño de Nuevas Prácticas

Para el diseño de nuevas prácticas se ha configurado el negocio minero como una red de procesos que agregan valor mediante la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales. La mina y la planta son sus componentes principales y su valor agregado será máximo cuando sus puntos de fuga estén en el mínimo (Figura 5). Ciertamente, lo que importa es minimizar los puntos de fuga.

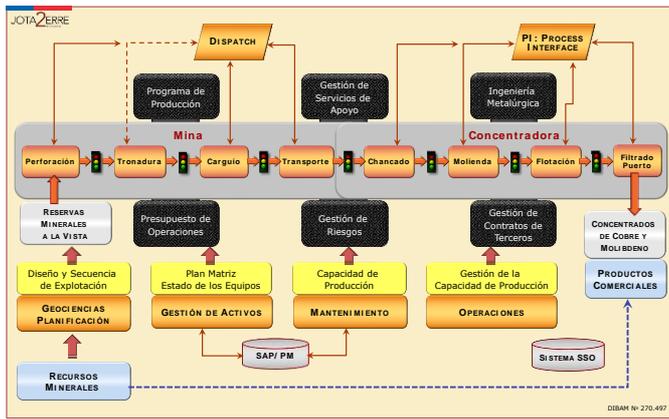


Figura 5. La Red de Procesos de valor agregado en la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales. (La data operacional es registrada por los sistemas Dispatch y PI)

Los puntos de fuga son todos aquellos imprevistos que generan tiempos improductivos y que, en general, se traducen en pérdidas del valor agregado del negocio. En la minería ocurren diariamente cientos y cientos de puntos de fuga de valor. Se trata de incidentes de gestión, porque apuntan a la causa de las pérdidas de productividad, al aumento de los costos y al final, a la ocurrencia de lesiones personales. Minimizar incidentes de gestión es un viaje para conformar el *cómo lo debiéramos hacer* en prácticas sustentables. Es decir, cero accidentes, desempeños superiores en la reducción de los impactos ambientales, más productiva y rentable. Por tanto, el propósito común del *cómo lo debiéramos hacer* es minimizar esos puntos de fuga. Esa es la vía para incursionar en la *minería 4.0*.

Sin embargo, la primera dificultad que se enfrenta es que este concepto no existe en los sistemas digitales 3.0 de la industria, como el Dispatch o PI. El desarrollo de estos sistemas no ha puesto su atención en los puntos de fuga de la red de valor del negocio minero y, por tanto, solo se pueden obtener mediante procesamiento manual. Los resultados que se muestran fueron obtenidos a partir del procesamiento manual y análisis de más de 300.000 registros que, además, se reflejó en la heurística de diseño de un prototipo digital que contó con el apoyo financiero de CORFO, mediante el Comité de Desarrollo Productivo Región de Antofagasta y bajo el rótulo 16PIRA-64514, 2017. Las lecciones aprendidas en el diseño del prototipo, más las nuevas experiencias en plantas de concentración y lixiviación conforman la base de la transformación digital que automatiza la identificación y reporte de los puntos de fuga.

La efectividad de la transformación económica se determina en los dominios de la gestión de la capacidad de producción, es decir, en esa *forma de hacer las cosas* dirigida a maximizar su utilización. La

seguridad y los costos son sus principales consecuencias. La *forma de hacer las cosas* se constituye en lo que Echeverría (1993) distingue como una capacidad operativa efectiva, “*la estructura primaria de nuestra mirada o disposición hacia las cosas*”. El desafío es encauzar esa capacidad operativa para maximizar la utilización de la capacidad de producción minimizando sus puntos de fuga. La semejanza resultados versus objetivos reflejarán el nivel de efectividad de la acción.

Los resultados de observar la gestión de transporte CAEX en 3 minas con distintos sistemas Dispatch permiten mostrar órdenes de magnitud de la ocurrencia de los puntos de fuga (flecha roja en la Figura 6). En este caso, los tiempos improductivos son las reparaciones de fallas en los CAEX y contingencias operacionales, como obstrucciones en las vías de transporte, por ejemplo. Los puntos de fuga reducen la utilización de la capacidad de producción y, registrarlos es la vía más efectiva para medir la efectividad del “*cómo lo hacemos*”.

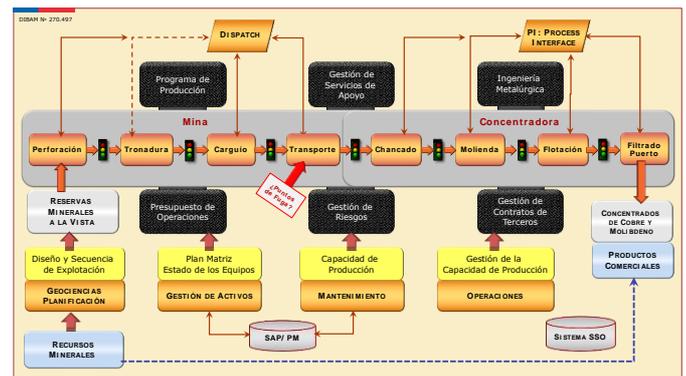


Figura 6. La Red de Procesos de valor agregado de un Productor de Concentrados de Cobre y moly (La data operacional es registrada por los sistemas Dispatch y PI)

En la Figura 6 se muestra cómo se registra la *data operacional* en una productora de concentrados de cobre y molibdeno como, por ejemplo, Collahuasi, Codelco Radomiro Tomic, Sierra Gorda, Centinela, Candelaria, Caserones o Los Pelambres en el caso de la minería chilena. Los sistemas Dispatch y PI registran todas las transacciones que se producen durante la operación de los equipos y sistemas, tanto de la mina como de la planta concentradora de minerales.

Esa red de procesos es activada por los equipos de trabajo de planificación, gestión de activos, mantenimiento y operaciones. La seguridad es una consecuencia del *cómo lo hacemos* en esos dominios. Los ejes traccionantes se refieren a las condiciones de satisfacción que requiere el programa de producción, desde la gestión presupuestaria, gestión de riesgos, la gestión de servicios de apoyo a la producción, etc.

Los semáforos son utilizados para indicar el nivel de equilibrio de la capacidad productiva comprometida. Por ejemplo, una capacidad de concentración de 150.000 tpd se mantiene en equilibrio al perforar, tronar, cargar y transportar, a lo menos, 150.000 tpd de mineral, en un ciclo 24/7. De allí la importancia de los inventarios de mineral quebrado por las voladuras y el stock de mineral chancado.

Por tanto, los semáforos muestran el nivel de cumplimiento de las condiciones de satisfacción entre el proceso-proveedor y el proceso-cliente, y es lo que permite sostener la ventaja comparativa de la riqueza mineral del depósito. Por ejemplo, las condiciones de satisfacción que debe cumplir el proceso-proveedor de tronadura para contribuir a la efectividad de los procesos de carguío y chancado. En el rol de proceso-cliente, la tronadura debe establecer las condiciones de satisfacción que debe cumplir el proceso-proveedor de perforación. El propósito es maximizar la recuperación del cobre y los subproductos contenidos en las reservas minerales y eso implica maximizar la utilización de la capacidad de producción. El sistema de seguridad y salud ocupacional, SSO, aun cuando parte relevante en el sistema productivo, opera como un observador externo.

En la Figura 7 se muestran los resultados agregados del análisis de la data operacional registrada por el respectivo sistema Dispatch, durante 6 meses de operación de 3 flotas de 78, 50 y 95 CAEX. Más de 30.000 puntos de fuga de capacidad de producción en cada caso. Al final, de pérdidas económicas.

CONCEPTO	MINA 1		MINA 2		MINA 3	
	Nº DE REGISTROS	CAEX EQUIVALENTES	Nº DE REGISTROS	CAEX EQUIVALENTES	Nº DE REGISTROS	CAEX EQUIVALENTES
Flota Nominal		78 CAEX		50 CAEX		95 CAEX
Mantenimiento Planificado		4 CAEX		2 CAEX		6 CAEX
Fallas Electromecánicas	7.474	16 CAEX	2.386	4 CAEX	5.007	10 CAEX
Mantenimiento Planificado vs Mantenimiento Correctivo		20/80		33/67		38/62
Pérdidas Operacionales	27.867	4 CAEX	34.256	10 CAEX	25.343	8 CAEX
Cambios de Turno y Colación		5 CAEX		3 CAEX		5 CAEX
Capacidad de Transporte Real		49 CAEX		31 CAEX		66 CAEX
Pérdidas de Capacidad de Producción		20 CAEX		14 CAEX		18 CAEX
RESPUESTA: +30,000 PUNTOS DE FUGA EN 3 FLOTAS-CAEX DE 3 MINAS DIFERENTES						

Figura 7. Los Puntos de Fuga y sus Efectos en la Capacidad de Transporte de 3 Operaciones Mineras en Chile

Este elevado nivel de ocurrencia genera el imperativo de ampliar el dominio del “cómo lo hacemos” y agregar los puntos de fuga derivados de la planificación, mantenimiento y operación de los otros equipos de producción, perforadoras, palas, cargadores, tractores, motoniveladoras, chancadores, molinos, etc.

La aplicación de esta innovación siguió la hoja de ruta que se muestra en la Figura 8 para formular el proyecto Empalme Fases 46-49 mina Chuquicamata. En adelante

se utilizarán indistintamente los términos incidentes de gestión y puntos de fuga.

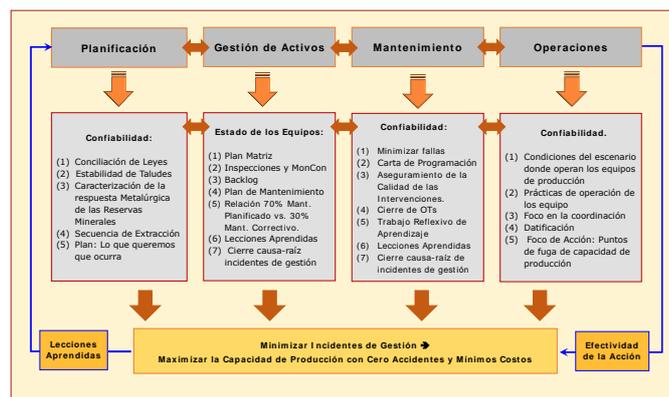


Figura 8. La hoja de Ruta de la Innovación en el Proyecto Empalme Fases 46-49, mina Chuquicamata

En la Figura 9 se muestran los resultados de enfocar la gestión en los puntos de fuga en el proyecto Empalme de la mina Chuquicamata. Los registros del Dispatch respaldan el aumento de 28% en la productividad de la extracción mina con la misma capacidad de producción. Este proyecto de diseño de nuevas prácticas para transformar el “cómo lo hacemos” en el “cómo lo debiéramos hacer” se transformó en un propósito común tanto para la Gerencia General de Codelco Chuquicamata como para sus trabajadores y sus representantes legales (Diario La Tercera, 2015).

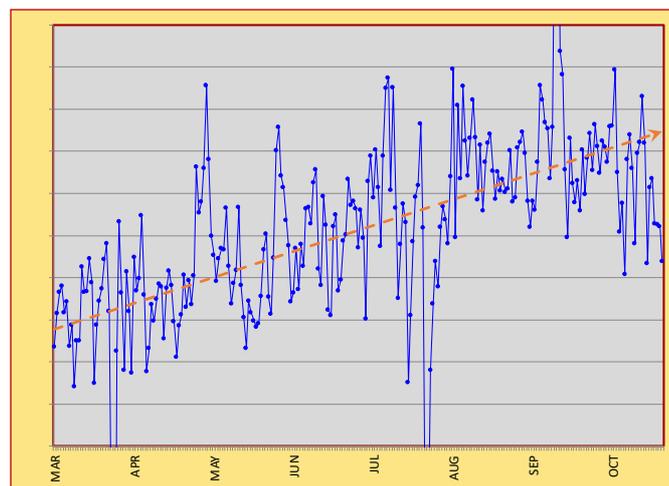


Figura 9. Resultados de Enfocar la Gestión en los Puntos de Fuga de la Capacidad de Transporte de una Flota de 78-CAEX: 28% de Mayor Productividad en la Extracción Mina

El principio rector fue competitividad para la empresa es empleabilidad para los trabajadores. Como resultado, se modificó el plan de negocios, se incrementaron sustancialmente los estándares de efectividad y se extendió en 5 años la vida económica del rajo, con beneficios que superan los US\$ 1.000 millones (Parada, 2015; Venegas, 2017). Esta forma de

trabajar en equipo entre la gerencia y los trabajadores contó con el reconocimiento público de la presidenta Michelle Bachelet (Rojas, 2015). En estos días, la fase 46-49 sostiene los últimos meses de la mina a cielo abierto en Chuquicamata.

En suma, un punto de fuga es más que un evento para ser evitado por ser negativo y porque pudiera dañar a una persona o producir pérdidas económicas. Un punto de fuga devela una situación de no-obiedad en las prácticas de una organización y que, al develarse, muestra ese algo que le estaba faltando en sus preocupaciones y, por tanto, una oportunidad para actuar en esa parte del trabajo que no estaba cubierta.

### 2.3 ¿Cómo se Erradican los Accidentes en el Trabajo?

Los fundamentos de la Pirámide de la Seguridad subyacen la evolución que ha tenido la seguridad en el trabajo desde que Heinrich la presentó en 1931. Heinrich (1959) sostenía que una lesión grave ocurría después de 29 de lesiones leves y de 300 cuasi accidentes (Figura 11-1). El cuasi accidente se refiere a un suceso que, por circunstancias afortunadas, no terminó en una lesión. Esta interpretación de la seguridad todavía tiene una enorme influencia en la industria en general.

Después de analizar más de 75.000 accidentes, determinó que el 88% se derivaba de acciones inseguras, el 10% se producía por condiciones inseguras y el resto por circunstancias imprevisibles. Ciertamente, su conclusión fue que las acciones y condiciones inseguras debían estar en el foco de la acción organizacional. A pesar de que sus críticos cuestionaron sus encuentros por la ausencia de la data de soporte, la elevada incidencia de las acciones inseguras en su estudio de los accidentes derivó en una amplia línea de investigación sobre el "error humano". Particularmente, desde las tradiciones de la sicología y bajo el supuesto que ese error lo comete quien se accidentó.

El 19 de junio de 1945, un incendio en la mina subterránea El Teniente asfixió a 355 mineros. El impacto público que causó la denominada "Tragedia del Humo" (Figura 10), le dio un giro radical a la comprensión de la seguridad en la minería chilena. La empresa Braden Copper Company diseñó nuevas prácticas e implementó otros indicadores de desempeño para asegurarse el *Nunca Más*. Para tales efectos, creó el Departamento de Seguridad, lo posicionó en un nivel de alta visibilidad organizacional y fuera del sistema productivo. La identidad pública de "*policías de seguridad*" generada por el desempeño del equipo de profesionales de ese Departamento fue resistida duramente por la cultura de producción

imperante (De Solminihaç, 2003). Desde entonces, la seguridad observa y actúa desde afuera del sistema productivo incluyendo la enseñanza a los trabajadores.



Figura 10. La "Tragedia del Humo" mina El Teniente, 19 de junio 1945, (Goycoolea, 2001)

En 1969, Bird et al (2007) reinterpreataron la pirámide presentada por Heinrich. Tal como se muestra en la Figura 11-2, ratificó que los eventos que preceden a un accidente ocurren en una secuencia lineal, en un orden fijo, donde el accidente fatal es el evento final. Seguidamente, eliminó la distinción cuasi-accidente de Heinrich y la reemplazó por incidentes que generan daños a la propiedad e incidentes sin pérdidas. Estos últimos derivados de su distinción "*no-loss incident*". Esa distinción se refiere al incidente que, por circunstancias afortunadas, no causó un daño material. Esas circunstancias afortunadas bien pudieron ser unos cuantos segundos o unos pocos centímetros. En definitiva, "*no-loss incident*" es un cuasi-incidente que podría haber generado daño a la propiedad.

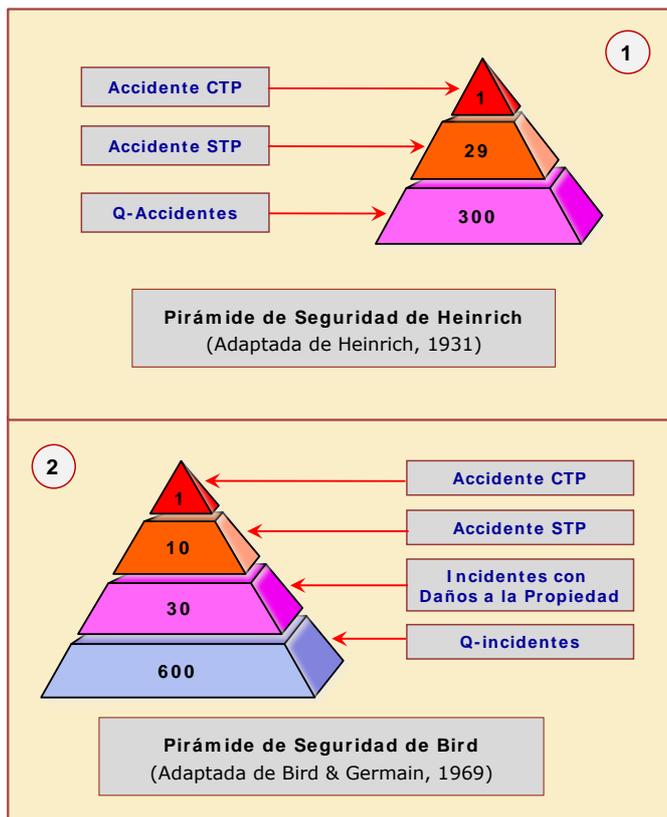


Figura 11. Los Conceptos Fundacionales de la Pirámide de la Seguridad

Al estar en la base de la pirámide propuesta por Bird, los cuasi-incidentes han sido objeto de las más diversas aplicaciones. Todas ellas derivadas desde su definición “no-loss incident”. Es decir, en la base de la pirámide están los incidentes sin pérdidas. El factor clave es la definición de incidente de gestión. La definición empleada en esta ponencia es una innovación respecto de las definiciones establecidas en las teorías de la seguridad, en las instituciones administradoras del seguro obligatorio contra accidentes del trabajo y enfermedades laborales establecido en la ley 16.744, y en las normas de la seguridad en el trabajo en general. Obsérvese las definiciones de incidentes en algunas de las instituciones relacionadas con la seguridad en el trabajo.

En el Portal de los Expertos en Prevención de Riesgos de Chile los incidentes se definen como: “Suceso o sucesos relacionados con el trabajo en el cual ocurre o podría haber ocurrido un daño, o un deterioro de la salud (sin tener en cuenta la gravedad), o una fatalidad”. “Un accidente es un incidente que ha dado lugar a un daño, deterioro de la salud o a una fatalidad”. “Se puede hacer referencia a un incidente donde no se ha producido daño, deterioro de la salud o a una fatalidad como cuasi accidente”. El suceso que genera daño o deterioro de la salud en el trabajo es un accidente. Un incidente sería un suceso relacionado con el trabajo en el cual podría haber ocurrido un daño o lesión.

En el Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, un incidente es definido como: “Suceso acaecido en el curso del trabajo o en relación con el trabajo, en el que la persona afectada no sufre lesiones corporales, o en el que éstas sólo requieren el cuidado de primeros auxilios”. Un incidente no implica lesiones, pero al requerirse de primeros auxilios se transforma en un accidente STP.

El Instituto de Salud Pública de Chile define un incidente como: “Suceso relacionado con el trabajo en el cual ocurre o podría haber ocurrido un daño, deterioro de la salud, o una fatalidad.” “En el caso que el incidente de lugar a un daño a la salud o una fatalidad, pasa a ser un accidente del trabajo. Cuando el incidente no produce un daño o deterioro a la salud, se denomina como cuasi accidente”. Se trata de la misma definición del portal de los expertos en la prevención de riesgos.

Estas definiciones muestran la marcada influencia de los estudios de Bird *et al*, quienes definen el incidente como “incident: An event that could or does result in unintended harm or damage”. La diferencia está en que “harm” se refiere a un daño a la integridad personal, sea físico, mental o emocional. “Damage”, por su parte, se refiere a un daño a cosas u objetos físicos, no a personas. Estos autores utilizan claros ejemplos para referirse a uno u otro caso y, en el caso de la distinción “Damage”, lo ilustran con fotografías de daños en herramientas, equipos, incendios, etc. Para estos investigadores, en definitiva, un incidente podría producir una lesión o un daño material. Como se ha mostrado en las definiciones anteriores, el daño material de la definición de Bird se interpretado refiriéndolo como daño a la salud.

Seguidamente, Para Bird *et al*, las acciones inseguras de Heinrich son acciones subestándares, en tanto que las condiciones inseguras las distinguen como condiciones subestándares. Es decir, el “error humano” está validado por nuevos estudios. Como resultado, la comprensión tradicional de la seguridad ha estado dirigida directamente a las personas, a su integridad física y, sobre todo, al error humano de quien se accidentó.

Los +30.000 puntos de fuga de las flotas CAEX muestran un cómo lo hacemos donde el mantenimiento planificado no llega, en ninguno de los 3 casos, al 40% del tiempo total dedicado al mantenimiento. El tiempo restante resolviendo imprevistos, lo cual implica improvisación y, por tanto, a mayor cantidad de puntos de fuga mayor probabilidad de una lesión personal. Los puntos de fuga son indicadores de la causa-raíz de las lesiones personales. Desde aquellas que solo requirieron de primeros auxilios, hasta otras que generaron lesiones

graves. Una organización que no controla sus puntos de fuga no puede aspirar a erradicar los accidentes en el trabajo.

En la Figura 12 se muestra la pirámide de seguridad de la minería chilena propuesta por Rojas (2017). Se han conservado las proporciones propuestas por Bird et al para los efectos de destacar que los 30.000 puntos de fuga de las flotas CAEX son incidentes de gestión. Es decir, 50 veces más de lo que indican los estudios de estos autores. Sin embargo, la base conceptual ha permanecido vigente desde los encuentros Heinrich. Un accidente CTP ocurre después que han ocurrido todo tipo de incidentes y accidentes STP. De allí que el concepto de la pirámide de seguridad que se propone para la gran minería se base en los puntos de fuga de capacidad producción, en cuanto a las alertas, y en las brechas de efectividad como su causa-raíz.

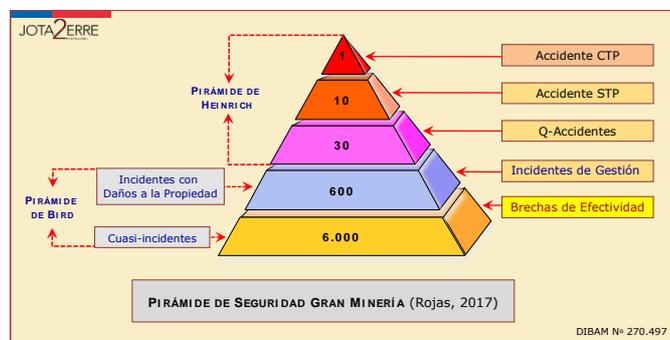


Figura 12. La Pirámide de la Seguridad de la Gran Minería

Los puntos de fuga alteran la continuidad de marcha y deterioran la capacidad de producción. Minimizarlos es “hacer más con lo mismo”. También generan pérdidas económicas, deterioran los resultados del negocio. Por tanto, minimizarlos implica menores costos. Por otra parte, a mayor ocurrencia de puntos de fuga mayor improvisación organizacional y mayor probabilidad de un accidente. Por tanto, minimizar puntos de fuga implica mayor utilización de la capacidad de producción, menores costos y cero lesiones.

En la Figura 13 se muestra la forma como se aplica la pirámide de seguridad propuesta por Rojas (2017). Minimizar puntos de fuga es la más efectiva vía para erradicar los accidentes. Es un viaje que “achica” la pirámide. Un viaje, no un destino. Cuando el foco de la acción organizacional está en la seguridad de las personas, su propósito es minimizar las lesiones y, de allí, que el IF sea uno de sus principales KPI’s.

Cuando el foco de la acción organizacional está en la seguridad de los procesos, su propósito es minimizar los puntos de fuga del valor agregado que genera la mina y la planta. Los puntos de fuga alteran la continuidad de marcha y deterioran la capacidad de producción. Minimizar incidentes de gestión es una

innovación que devela posibilidades que todavía no han sido articuladas.

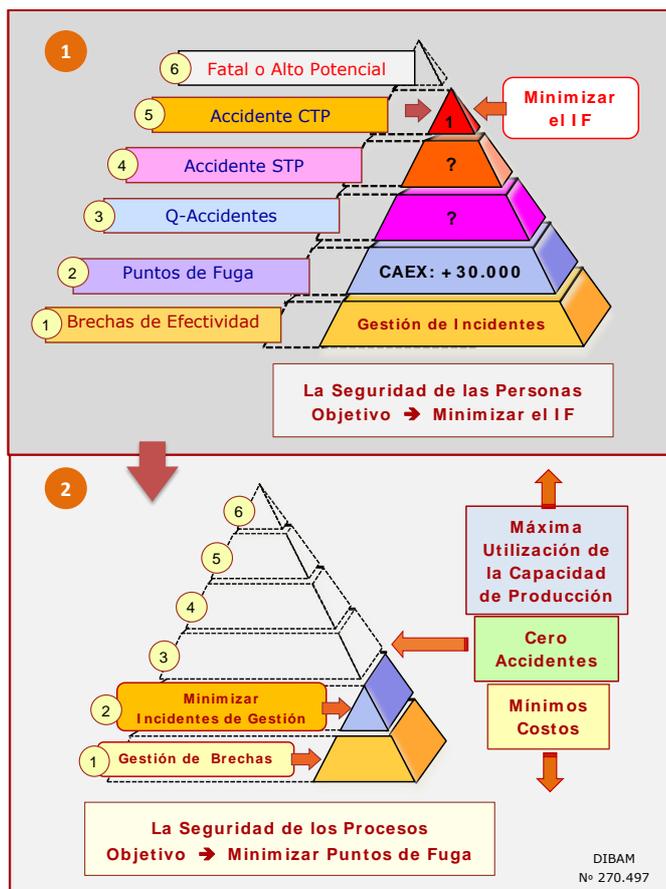


Figura 12. La Aplicación de la Pirámide de la Seguridad de la Gran Minería

La seguridad es una consecuencia del *cómo lo hacemos* y, por tanto, el diseño del *cómo lo debiéramos hacer* debe reflejar el tipo de seguridad que se desea como consecuencia. El diseño de las prácticas de negocio es inseparable del diseño de las prácticas de la seguridad. Y en este diseño de prácticas, la seguridad declarada como consecuencia es *cero accidentes*.

#### 2.4 Los Puntos de Fuga, la Capacidad de Producción, la Seguridad y los Resultados del Negocio

En el mapa de la productora de concentrados de la Figura 14 se muestra la red de procesos que agregan valor mediante la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales. El foco está en mostrar el efecto que provocan los puntos de fuga de la mina en la capacidad de producción del proceso de chancado. Sobre todo, por tratarse de la línea crítica de ese sistema productivo. La efectividad de la utilización de la capacidad de producción del chancado depende de las fallas en los equipos, de las contingencias operacionales y, también, de los tiempos improductivos por esperas de CAEX con mineral. Obsérvese que los sistemas Dispatch y PI no

interoperan entre sí y, tampoco, interoperan con el ERP SAP/PM. ¿Cómo consigue el historial de los CAEX el SAP/PM si no interoperan con el Dispatch?

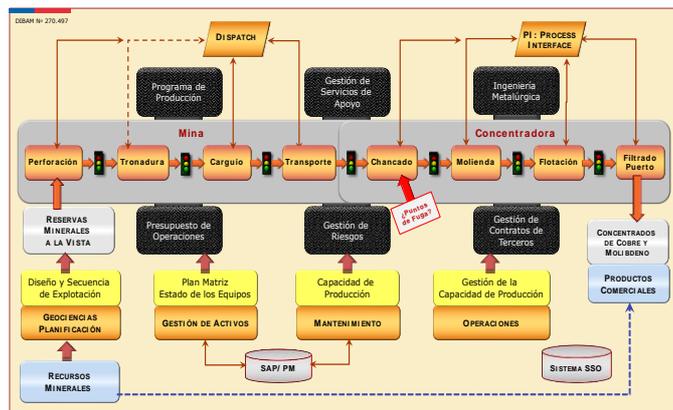


Figura 14. El Negocio Minero: una red de procesos que agregan valor mediante la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales

Tal como se muestra en la Figura 15, el análisis de la data operacional Año 1 del proceso de chancado permitió configurar una línea base conformada por 3.844 puntos de fuga, cuyos tiempos de reparación de fallas suman 38 días y los tiempos de esperas mineral equivalen a 32 días improductivos. Durante el Año 2, los puntos de fuga disminuyeron a 2.766 registros, principalmente, por los resultados de enfocar el mantenimiento en la capacidad de producción en lugar de la disponibilidad.

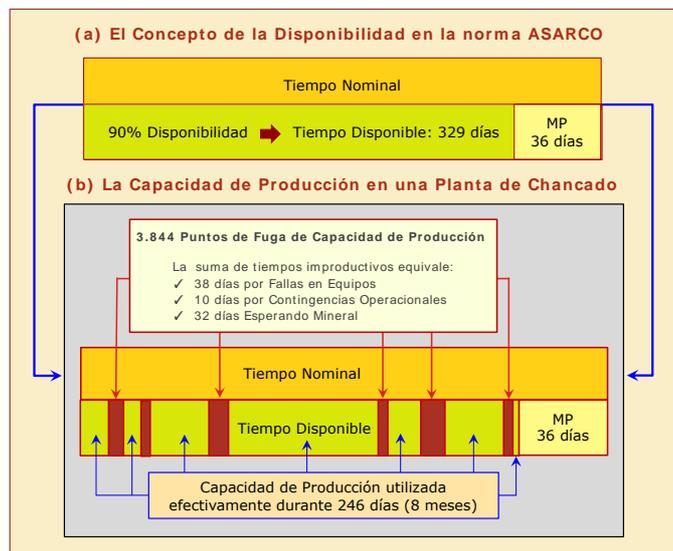


Figura 15. La Línea Base y el Foco del Mantenimiento: Minimizar las Fallas

El concepto de la disponibilidad en la gestión del mantenimiento minero se ha derivado de una metodología de distribución de índices de gestión ampliamente utilizada en la industria minera (Yarmuch, 2012; Champi, 2015). Se la denomina norma ASARCO, por American Smelting and Refining Company, una multinacional norteamericana integrada verticalmente

y que ha producido cobre y otros metales desde 1899. En la actualidad es una subsidiaria del Grupo México. En esa tradición del mantenimiento, los mantenedores consideran que su forma de contribuir al negocio minero es mediante la disponibilidad de los equipos para la gente que los opera. En la Figura 15(a) se muestra cómo el mantenimiento y las operaciones de la industria minera han entendido la denominada norma ASARCO. En la Figura 14(b), el foco dirigido a minimizar las fallas adoptado por el equipo de mantenimiento de la planta de chancado.

Este enfoque, dirigido a minimizar las fallas, precisó el mantenimiento planificado de 36 a 33 días en el Año 2 y, como resultado, el mantenimiento correctivo disminuyó de 38 a 18 días. De los 30 días de aumento de la utilización de la capacidad productiva, 21 días fueron aportados por el *cómo lo deberíamos hacer* del equipo de mantenimiento de la planta de chancado. La reducción de 1.078 puntos de fuga aumentó la utilización de la capacidad productiva desde 246 a 276 días. Como resultado, se procesaron 3,9 millones de toneladas de mineral adicionales al programa de producción, lo que implicó un aumento de casi 12.000 toneladas de cobre fino en concentrados y más de US\$ 70 millones en mayores ingresos netos para la empresa productora. Minimizar puntos de fuga solo implica elevados retornos (Figura 16).

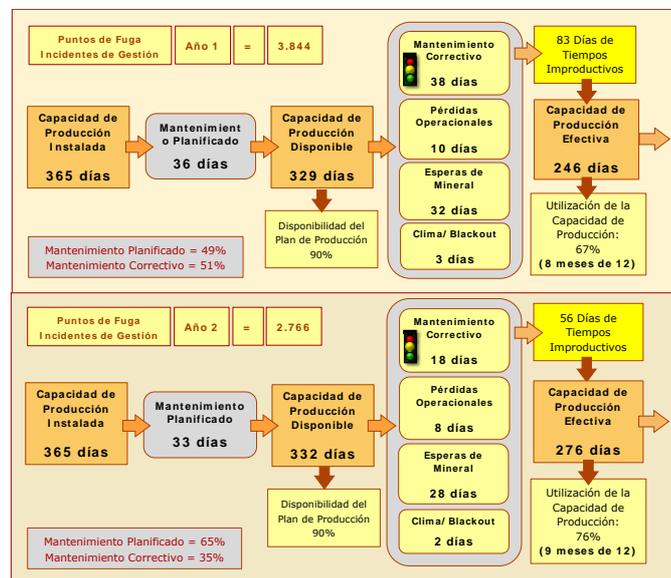


Figura 16. Los Puntos de Fuga y la Capacidad de Producción de una Planta de Chancado

En la Figura 17 se relacionan los puntos de fuga con los indicadores de accidentabilidad de la pirámide de seguridad de la gran minería. Como ya se ha señalado, la reducción de los puntos de fuga "achica" la pirámide. Esta vez, erradicando los accidentes CTP. Esto muestra que minimizar puntos de fuga implica mayor utilización de la capacidad de producción y, como consecuencia

de esa nueva diligencia, con cero accidentes y mínimos costos. La seguridad y la gestión no son cosas distintas. Sin embargo, los puntos de fuga no es un concepto considerado en los sistemas digitales 3.0 que utiliza la industria. Por tanto, para disponer de capacidades de análisis, optimización y funcionamiento autónomo se requiere recurrir a los avances tecnológicos que trae la 4ª Revolución Industrial.

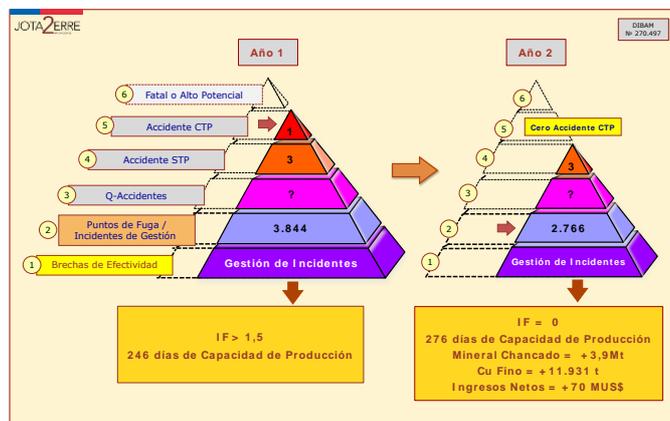


Figura 17. Los Puntos de Fuga y la Capacidad de Producción de una Planta de Chancado

### 3. La Minería 4.0 en el dominio Tecnológico

El análisis de la data operacional del proceso de chancado, sumado a los casos de las flotas CAEX y otras aplicaciones industriales materializadas en plantas de concentración y lixiviación han sido instrumentales para configurar la heurística del diseño lógico del módulo de transformación digital de esta *innovación tecnológica*. La transformación digital es datificación, digitalización e interoperabilidad. La datificación se refiere a las conexiones y correlaciones derivadas de la homologación técnica, semántica y organizacional de la Data. La digitalización es la conversión de información analógica a algoritmos legibles por el computador. La interoperabilidad resuelve la ausencia de conectividad entre el Dispatch, PI y SAP/PM, y ello permite la trazabilidad de la gestión y la certificación eco ambiental. La minería entrará en otro territorio cuando disponga de una carretera digital que le permita integrar su red de valor de la forma como se propone.

Realizar este tipo de evaluación, ya sea para la mina o planta, requiere de la data operacional capturada por el Dispatch o PI. En el dominio técnico se analizan los estándares de captura, procesamiento, flujos de intercambio y presentación de la data operacional. En el dominio semántico se asegura que los datos tengan el mismo significado cualquiera sea el área que los utilice. En el dominio organizacional se analiza cómo cohesionar los procesos que conforman la red de valor del negocio, sean gestionados por personal propio o de terceros.

La transformación digital tiene 4 requisitos cardinales: (1) Conocimiento de los procesos que componen la red de valor del negocio; (2) Conocimiento de las prácticas de trabajo que constituyen el *cómo lo hacemos*; (3) Conocimiento del tipo de transacciones que generan los sistemas digitales como el Dispatch o PI; y (4) Capacidad de análisis de la data operacional, *Data Analytics*. Eso explica, por ejemplo, por qué el Programa Tecnológico de Interoperabilidad Minera asignado por Corfo siga inmovilizado.

#### 3.1 La Transformación Digital de la Minería 4.0

La transformación digital se refiere a las posibilidades que emergen de la aplicación y el uso de los nuevos avances tecnológicos. Como se ha mostrado, los estos avances tecnológicos no provocan nada por si mismos. A menos que haya una innovación que le un nuevo sentido al trabajo. La transformación digital de una rigurosa reflexión sobre el *cómo lo hacemos*. La *Minería 4.0* requiere que la industria opere en el *cómo lo debiéramos hacer*, porque de otra forma no cumplirá con los estándares de funcionamiento del mundo actual.

La heurística del módulo de transformación digital que se propone fue construida mediante el procesamiento manual y análisis de más de 20 millones de registros, tanto del Dispatch como del PI, y contó con el apoyo de Corfo bajo el código 16PIRA-64514. Este módulo es un *machine learning* que automatiza la generación y reporte de los puntos de fuga y les da visibilidad para que la organización pueda correlacionarlos con los resultados del negocio y aprenda a minimizarlos. Se trata de un tablero marcador que aumenta la capacidad de observación introspectiva y sistémica de la gente. Su implementación no implica riesgo alguno. Equivale a instalar una nueva versión en el sistema operativo de la organización. En la mayoría de los casos se adopta en transparencia, con facilidad. En otros, se requieren procesos más específicos de aprendizaje para desplazar la resistencia al cambio.

En la Figura 18 se muestra cómo este módulo integra la red de procesos que agregan valor en la transformación económica de recursos minerales en productos comerciales. Primero, digitaliza un KPI como el propósito común que determina la efectividad del trabajo en equipo y, seguidamente, activa la interoperabilidad entre sistemas como Dispatch, PI y SAP/PM. La interoperabilidad permite, por ejemplo, que el historial de los equipos, capturado en tiempo real por el Dispatch amplíe la capacidad de análisis en la gestión de activos, porque estarán contenidos en su



Los dominios de la *datificación* son técnicos, semánticos y organizacionales.

La *digitalización* se refiere al proceso técnico de conversión de la Data y al uso de los avances tecnológicos para que esa Data entregue los puntos de fuga en forma digital. Es *machine learning* con capacidad para identificar puntos de fuga, capacidad de análisis y reporte bajo funcionamiento autónomo. El módulo de transformación digital identifica puntos de fuga desde la base de datos del Dispatch o PI. Los clasifica y reporta las alarmas correspondientes.

La interoperabilidad del Dispatch con el SAP/PM será la innovación siguiente. Los avances tecnológicos han descartado la utilización de sistemas que requieren poblar su base de datos de forma manual. Para minimizar los incidentes de gestión se requiere del tablero marcador que proporciona el módulo de transformación digital lo que, además, facilita la interoperabilidad con el sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional correspondiente.

La industria minera entrará en otro territorio cuando disponga de una carretera digital para la elevada interacción y dependencia que existe entre sus procesos generadores de valor como, efectivamente, ocurre con la seguridad, la planificación, el mantenimiento y las operaciones. Lo mismo con la integración mina-planta. La interoperabilidad le permitirá contar con una trazabilidad completa de la gestión de sus procesos productivos y, además, certificar la trazabilidad ambiental. Y eso es *Minería 4.0*.-

#### 4. Conclusiones

La *innovación tecnológica* presentada abre la ruta hacia la *minería 4.0*, soluciona el problema de los accidentes fatales, la caída de la productividad y, en definitiva, se constituye como una contribución relevante a la competitividad de la minería. Sin embargo, se ha mostrado que primero es *innovación* y, después, solo después, *tecnológica*. Como toda *innovación tecnológica*, cambia la naturaleza del trabajo. Ese cambio abre otros espacios de diseño de nuevas prácticas para aumentar la efectividad del *cómo lo hacemos* y acercarlo al *cómo lo debiéramos hacer*.

Cuando los puntos de fuga están en el foco central de la *forma de hacer las cosas* cambia la forma de hacer seguridad, desde la seguridad de las personas hacia la seguridad de los procesos. Cambia la forma de hacer mantenimiento, desde la disponibilidad hacia minimizar las fallas. Ello implica rediseño de las inspecciones, del abastecimiento de repuestos y materiales, control de calidad en las intervenciones de los mantenedores, consolidar las competencias del

personal, monitoreo de los sistemas rotatorios, disminución del backlog.

La causa-raíz de las fallas no solo está en las deficiencias de las prácticas de mantenimiento, también está en las deficiencias de las prácticas de planificación y operaciones. En la planificación, las fallas pueden derivarse de deficiencias en el diseño y secuencia de las fases de explotación de la mina; de la disposición de los equipos de producción; del diseño de las rutas de transporte y áreas de vaciado, y sobre todo, de la determinación de la capacidad de las rampas de acceso y extracción de materiales de la mina.

En el ámbito de las operaciones de la mina, esta *innovación tecnológica* precisa el rol de los supervisores, en cuanto responsables de las condiciones en que operan los equipos, como perforadoras, palas, CAEX, etc. Por ejemplo, los preparativos que requiere el proceso de perforación; el control de calidad de las tronaduras; la utilización de sistema Dispatch; el mantenimiento de las pistas de transporte y áreas de carguío y vaciado de CAEX. También precisa el rol de los operadores, en cuanto a la calidad de sus prácticas de operación y la relevancia de la instrucción y entrenamiento formativo. Los focos originales de observación y acción de estos procesos, cualesquiera que sean, son reemplazados por un solo foco para toda la organización: minimizar puntos de fuga de capacidad de producción, minimizar incidentes de gestión. Esta es la base conceptual de la gestión de activos y, también, el propósito común de la organización.

La pregunta es ¿Por qué una *innovación tecnológica* que genera retornos superiores no es parte del *cómo lo deberíamos hacer de la minería*? La minería chilena ha sido tremendamente exitosa. En poco más de 25 años cuadruplicó su capacidad productiva con un nivel de inversiones sin precedentes en la economía nacional. No existe ningún otro sector productivo de la economía chilena que tenga la presencia y visibilidad mundial que tiene la gran minería. Sin embargo, su historia de éxitos le ha generado complacencia y una cierta dosis de soberbia que le ha limitado su disposición a escuchar oportunidades provenientes de juicios críticos sobre el *"cómo lo hacemos"*. Aun cuando fundados, provocan reacciones defensivas, se interpretan como cuestionamientos personales, por lo que la diferencia pasa a ser un criterio de descalificación. Este rechazo a los juicios críticos bloquea el aprendizaje y, como resultado, la forma de hacer minería continúa invariable y con espacios mínimos para reflexionar sobre los supuestos del *"cómo lo hacemos"* y las oportunidades del *cómo lo debiéramos hacer*. Solo imperan los juicios de empresas de envergaduras

equivalentes. Meller (2019) lo advirtió hace años, “¿Cómo una empresa chilena puede producir una innovación tecnológica mejor que una extranjera?”

La Minería 4.0 no se trata de medios tecnológicos únicamente. Lo primero es definir *cómo lo debiéramos hacer* para cumplir con los criterios de aceptabilidad de la minería verde pero, más productiva y rentable. Lo primero es erradicar los accidentes fatales. Esta obligación ética es suficiente para declarar la obsolescencia del “*cómo lo hacemos*”.

Lo que sigue es que la industria aprenda a observarse a sí misma, que aprenda a observar la *forma cómo hace las cosas*. Al aprender a cambiar su punto de observación modificará ese relato y desarrollará una capacidad de acción que no tenía previamente. El relato de los factores exógenos será desplazado por el relato de la observación introspectiva. Este relato es más poderoso que el anterior. Sobre todo, porque implica reflexionar sobre qué *forma de hacer las cosas* maximiza el valor agregado de explotar un recurso natural no renovable, como es el cobre y sus subproductos. En definitiva, la *Minería 4.0* parte con el diseño de nuevas prácticas y luego, con la transformación digital. Es decir, primero *innovación* y después *tecnológica*.

## Agradecimientos

El autor deja expreso reconocimiento a Corfo, mediante el Comité de Desarrollo Productivo de la Región de Antofagasta, por haber respaldado la construcción del prototipo de esta innovación tecnológica.

## Referencias

“Aprendizaje de la Tragedia del Humo sigue vigente”.

[https://www.codelco.com/prontus\\_codelco/site/artic/20150622/pags/20150622114019.html](https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20150622/pags/20150622114019.html)

Bird, F., Germain, G., & Clark, D. “Practical Loss Control Leadership”. Det Norske Veritas, USA, Third Edition, 2007, pp. 5:488.-

Champi, M. “Reducción de las demoras operativas y optimización de tiempos en volquetes de Mina Cuajone”. Tesis para optar al título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 2015, 10:150.-

Cluster Minero Antofagasta.

<https://www.clustermineroantofagasta.cl>

De Solminihaç, E. “Sewell, Historia y Cultura en un Asentamiento Humano Organizacional”. Revista de Urbanismo Nº 8, Universidad de Chile, Junio 2003, pp. 85-123.

Echeverría, R. “Ontología del Lenguaje”. Dolmen Estudio, Santiago, 1996, pp. 126:245.-

Echeverría, R. “Actos de Lenguaje, Volumen I: La escucha”. LOM Ediciones, Santiago, 2006, pp. 139:205.

Echeverría, R. “El Observador y su Mundo”. Vol. 1, Op. cit., pp. 109:270.

Fundación Chile-Expande. “Impact Report 2017-2020. La minería del futuro se está creando hoy...”, pp. 33. <https://fch.cl/publicacion/impact-report-expande-2017-2020/>

<https://www.clustermineroantofagasta.cl>

Guía de Conceptos Básicos e Indicadores en Seguridad y Salud en el Trabajo, Resolución Exenta 860 del 11.03.2015 del Instituto de Salud Pública del Gobierno de Chile.

<http://www.ispch.cl/sites/default/files/D019-PR-500-02-001%20Gu%C3%ADa%20de%20conceptos%20b%C3%A1sicos%20e%20indicadores%20de%20seguridad%20y%20salud%20en%20el%20trabajo.pdf>

Gordon, R. & Tilton, J. “Mineral economics: Overview of a discipline”. Resources Policy, Vol. 33, Nº 1, March 2008, pp. 4-11.-

Instrumento Andino de Seguridad. Decisión 584, letra q), del Consejo Andino de Ministros de Relaciones Exteriores, OEA. Países miembros: Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Países Asociados: Chile, Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay. País Observador: España. <http://www.sice.oas.org/trade/junac/decisiones/DEC584s.asp>

<https://safetya.co/normatividad/decision-584-de-2004/>

Kofman, F. “Metamanagement. La Nueva Conciencia de los Negocios”. Tomo 1, Principios. Ediciones Granica, Buenos Aires, 2003, pp. 113:362.-

Lane, K. “La Definición Económica de Mineral: Leyes de corte en la teoría y en la práctica”. COMET Strategy Pty Limited, 2018, pp. 168.

Meller, P. “Cobre chileno: productividad, innovación y licencia social”. Cieplan, Chile, 2019, pp. 62:112.

Negocios, Diario La Tercera, viernes 15 de mayo de 2015. “Directorio de Codelco aprueba histórico acuerdo para transición de Chuqui”.

Política Minera del Bicentenario. Ministerio de Minería de Chile, 2005, 49 pág. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Valparaíso.

[http://www.bcn.cl/catalogo/detalle\\_libro?bib=175896&materia=Pol%C3%ADtica%20minera%20--%20Chile](http://www.bcn.cl/catalogo/detalle_libro?bib=175896&materia=Pol%C3%ADtica%20minera%20--%20Chile)

Portal de expertos en Prevención de Riesgos de Chile. Términos y definiciones OHSAS 18.001:2007, Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. <http://www.sigweb.cl/biblioteca/GlosarioOHSAS.pdf>

ProChile. “Reporte de Exportaciones de la Minería Chilena 2021”. 5ª Edición, publicado por

Subsecretaría de Relaciones Económicas Internacionales Ministerio de Relaciones Exteriores del Gobierno de Chile. Agosto 2021, pp. 4-23

Rivera, A. "Aumenta la penetración de los centros remotos de la gran minería chilena". Diario Financiero, 31 de marzo 2021. <https://www.df.cl/noticias/df-lab/transformacion-digital/aumenta-la-penetracion-de-los-centros-remotos-en-la-gran-mineria-chilena/2021-03-30/184945.html>

Rojas J.H. "La Necesidad de una Nueva Forma de Hacer Sindicalismo para Hacer una Nueva Empresa". Revista Norte Minero, Edición Nº 217, Julio 2015, pp. 32-33.

Rojas, J.H. "Por qué cambiar la forma de hacer minería en Chile. Una oportunidad para reinventar nuestra oferta profesional en la industria". Balboa Press, USA, 2017, pp. 196:362.-

Rudawsky, O. "Mineral Economics: Development and Management of Natural Resources". Development in Economic Geology, Vol. 20, 1986, pp. 192.-

Sernageomin. "Accidentabilidad Minera año 2019". Servicio Nacional de Geología y Minería, Ministerio de Minería de Chile, pp. 8:42.

Venegas, C. "US\$ 200 millones en ganancias generará Fase 46-49 de Chuqui". El Mercurio de Calama, jueves 25 de mayo 2017, pp. 6. Disponible en: <http://www.mercuriocalama.cl/impresas/2017/05/25/full/cuerpo-principal/6/>

Wittgenstein, L. "Investigaciones Filosóficas". Traducción alemán-castellano de García, A. & Moulines, U. Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México, Editorial Crítica, Barcelona, 1988, pp. 10 :146.

Yarmuch, J. "Simulación del Sistema de Carguío y Transporte Mina Chuquicamata". Tesis para optar al grado de Magister en Minería, Universidad de Chile, 2012, pp. 7:153.-

## Perfil profesional **Juan H. Rojas Cortés**

Ingeniero de Ejecución de Minas, Universidad Técnica del Estado

Ingeniero Civil de Minas, Universidad de Santiago de Chile.

MSc. Mineral Economics, Colorado School of Mines, EE.UU.

Dr.© Derecho y Administración de Empresas, Universitat de Lleida, España.

Más de 40 años de aprendizaje y lecciones aprendidas en la industria del cobre de Chile; como trabajador, supervisor y ejecutivo de Codelco Chuquicamata; académico de la U. de Santiago y U. de Las Américas, y consultor en la gestión empresarial de recursos minerales. Como consultor ha colaborado en prácticamente todas las empresas de la gran minería. Tanto productoras como proveedoras de bienes y servicios. Su propuesta *Cero Accidentes es más productividad y rentabilidad* está publicada en el libro "Por qué cambiar la forma de hacer minería en Chile. Una oportunidad para reinventar nuestra oferta profesional en la industria". Balboa Press, EE. UU., 2017.

Su experiencia internacional abarca visitas a más de 50 países, clientes del cobre chileno, complejos de manufactura, fabricantes de equipos y proveedores tecnológicos, operaciones de otros productores, y dictando conferencias. Cuenta con 2 proyectos de innovación respaldados por CORFO.

Realiza talleres de coaching dirigidos a supervisores y trabajadores, propios y contratistas, para renovar su comprensión de trabajo, aumentar la efectividad del trabajo en equipo y desarrollar las competencias de liderazgo y emprendimiento. A la fecha, más de 2.000 profesionales de todas las especialidades han participado en más de 100 sus talleres de coaching.

Sus aportes a la industria superan los US\$ 1.000 millones.

Como investigador publicó su libro "Relatos a la Memoria de Chuquicamata", LOM, Santiago, 2007. También su "Cantata a los 100 Años de Chuquicamata". Músico y compositor, con innumerables grabaciones de álbumes musicales y premio Gaviota de Plata del Festival de Viña del Mar.

Nombre del autor : Juan H. Rojas Cortés

Cargo : CEO

Empresa : Jota2erre Innovaciones

Correo electrónico : [jhrojasc@jota2erre.com](mailto:jhrojasc@jota2erre.com)  
Teléfono / Celular : +56999170097  
Dirección : Av. Colón 4947, Dpto. 801, Las  
Condes, Santiago de Chile