

Modelo de análisis de riesgos de contratos en minería ante Industria 4.0

Risk analysis model of mining contracts to Industry 4.0

Modelo de análise de risco de contratos de mineração pra Indústria 4.0

CAMILO PEÑA RAMÍREZ¹ 

Universidad Central de Chile, Chile.

HAROLD ALEGRÍA 

Universidad Central de Chile, Chile.

FRANCISCO RÍOS MUÑOZ 

Universitat Internacional de Catalunya, España.

RESUMEN

En la industria minera se está desarrollando una revolución tecnológica, con la incorporación de inteligencia artificial, Big Data e interconexión digital de dispositivos a las diversas industrias, fenómeno denominado Industria 4.0. El objetivo de esta investigación es proponer un modelo de análisis de riesgo de contratos mineros de empresas de servicios externos. Para esto se debió describir el estado actual de la industria minera del país, tecnologías que se utilizan y su obsolescencia, y cómo es la función de administración de contratos en la actualidad. Esta es una investigación cualitativa de nivel exploratoria. Se desarrolla un nuevo instrumento o método de obtención de información y análisis, para que los administradores de contratos y gerencias de la industria minera puedan identificar cuál es el riesgo de las nuevas tecnologías en la gestión administrativa de los contratos relacionados.

Durante el año 2021, se analizaron 3 grandes grupos mineros en Chile, obteniendo por vías formales información primaria de los contratos de cada compañía, para seleccionar un caso para validar el modelo. Se realizaron entrevistas en profundidad semi-estructuradas, con expertos de la industria, administradores (externo) y responsables de contrato (mandante) y gerentes de departamento. Con esta información se diseñó mediante técnicas de evaluación de riesgos, una metodología de análisis de riesgos para los contratos vigentes y además una herramienta para el análisis de las posibles tecnologías a implementar. Se sistematizó la información de estudios sectoriales especia-

¹ Autor para correspondencia: Camilo Peña Ramírez. Correo: camilo.pena@ucentral.cl

lizados para definir categorías de análisis y criterios. Este trabajo permitiría el desarrollo futuro de técnicas analíticas avanzadas, basadas en la misma secuencia de análisis.

Palabras claves: Industria 4.0, contratos, riesgos, minería, desarrollo.

ABSTRACT

A technological revolution is taking place in the mining industry, with the incorporation of artificial intelligence, Big Data and digital interconnection of devices to the various industries, a phenomenon also called Industry 4.0. The objective of this research is to propose a risk analysis model for mining contracts, for external service companies. For this, it was necessary to describe the current state of the country's mining industry, the technologies used and their obsolescence, and what the contract administration function is like nowadays. This is an exploratory-level qualitative investigation. A new instrument or method for obtaining information and analysis is developed so that contract administrators and managers of the mining industry can identify the risk of new technologies in the administrative management of related contracts. During the year 2021, 3 large mining groups in Chile were analyzed, obtaining by formal means primary information from the contracts of each company, to select a case to validate the model. Semi-structured in-depth interviews were conducted with industry experts, administrators (external) and contract managers (client), and department managers. With this information, it was designed using risk assessment techniques, a risk analysis methodology for current contracts, and also a tool for the analysis of possible technologies to be implemented. Information from specialized sector studies was systematized to define categories of analysis and criteria. This work would allow the future development of advanced analytical techniques, based on the same sequence of analysis.

Keywords: Industry 4.0, contracts, risks, mining, development.

RESUMO

Uma revolução tecnológica está ocorrendo na indústria de mineração, com a incorporação de inteligência artificial, Big Data e interconexão digital de dispositivos às diversas indústrias, fenômeno também chamado de Indústria 4.0. O objetivo desta pesquisa é propor um modelo de análise de risco para contratos de mineração, para empresas de serviços externos. Para isso, foi necessário descrever o estado atual da indústria de mineração do país, as tecnologias utilizadas e sua obsolescência, e como é a função de administração de contratos nos dias atuais. Trata-se de uma investigação qualitativa de nível exploratório. Um novo instrumento ou método de obtenção de informações e análises é desenvolvido para que administradores de contratos e gestores do setor de mineração possam identificar o risco de novas tecnologias na gestão administrativa dos contratos relacionados. Durante o ano de 2021, foram analisados 3 grandes grupos de mineração no Chile, obtendo por meios formais informações primárias dos contratos de cada empresa, para selecionar um caso para validar o modelo. Entrevistas semiestruturadas em profundidade foram realizadas com especialistas do setor, administradores (externos), gerentes de contrato (cliente) e gerentes de departamento. Com essas informações, foi desenhado utilizando técnicas de avaliação de risco, uma metodologia de análise de risco para contratos vigentes, e também uma ferramenta para análise de possíveis tecnologias a serem implementadas. As informações de estudos setoriais especializados foram sistematizadas para definir categorias de análise e critérios. Este trabalho permitiria o desenvolvimento futuro de técnicas analíticas avançadas, baseadas na mesma sequência de análise.

Palavras-chave: Indústria 4.0, contratos, riscos, mineração, desenvolvimento.

1. Introducción

El contexto en el que se realiza este trabajo es el de un mundo que comienza su introducción a una nueva revolución industrial, la cual promete ser la revolución tecnológica más grande y masiva que haya vivido la humanidad hasta el momento,

y con un desarrollo que será exponencial con el pasar de los años.

Actualmente, se dan los primeros pasos en este desafío, de manera no coordinada, donde desde todos las latitudes del planeta, se trabaja en estos

cambios que prometen la combinación de múltiples tecnologías existentes, la masificación del internet de las cosas, el desarrollo y perfeccionamiento de nuevas herramientas tecnológicas, como los avances de la robótica, nanotecnologías, impresiones 3D, blockchain, realidad aumentada y la digitalización “del todo”, pasando por lo físico y también incluyendo lo biológico (Bai et al., 2020). Es así como serán múltiples las herramientas las que cambiarán el “cómo” y el “qué” hace las cosas, de manera similar a lo que ocurrió en las revoluciones anteriores; ahora además se añade el “qué somos” y “cómo nos relacionamos” con este entorno, debido a los cambios que se podrán realizar en la humanidad misma.

Entre los grandes cambios esperados para esta revolución tecnológica-social, se promueve un mundo fuertemente estandarizado y globalizado en ámbitos usuales del diario vivir (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019). Naturalmente, los principales avances en la actualidad, se dan en compañías líderes en el desarrollo tecnológico y digital, pero luego continua la implementación de estos grandes cambios en las principales industrias del mundo, donde sin duda se impulsarán el replanteamiento de los diseños de producción, tratamiento de materias, relación de personal y con ello los servicios requeridos a empresas especializadas y colaboradores (Dalenogare et al., 2018). Es esta relación, la que se busca estudiar.

El desarrollo de este trabajo estuvo enfocado en la minería del cobre, siendo el principal producto de exportación nacional y jugando un estratégico rol en el esperado desarrollo tecnológico mundial al ser una muy materia prima fundamental para el funcionamiento de todo tipo de maquinarias y desarrollos tecnológicos asociados a la electricidad y electrónica (Daribay, Serikova & Ukaegbu, 2019).

La industria minera históricamente tiene compañías con gran poder de compra y a su vez, estas están obligadas a mantener una alta competitividad. En Chile, suelen ser las pioneras

en el estudio y aplicación de nuevas tecnologías. Además, debido al gran tamaño de sus industrias, la complejidad de sus extensos procesos y las dificultades técnicas propias, para satisfacer sus necesidades productivas requieren de una gran cantidad de materias y suministros de todo tipo, por lo que cuentan con una amplia cartera de colaboradores o contratistas que dan solución a estos requerimientos (Culver & Reinhart, 1989).

El objetivo de esta investigación es proponer una metodología para estimar qué servicios corren un riesgo inminente de cambio según las proyecciones que dan los expertos al desarrollo de las tecnológicas de la industria 4.0, cuáles tienen una mayor proyección a futuro o qué tecnologías podrían ser implementadas a mediano o corto plazo. Esto último para tener una mejor información para la toma de decisiones por parte de un departamento de administración de contratos.

Para esto, se desarrolla un procedimiento mediante el cual una compañía o la industria pueda ser capaz de estudiar de manera general; las tecnologías disponibles para su área de procesos o contrato a renovar o adquirir, y que mediante sus procesos de licitaciones los colaboradores o contratistas ofrezcan sus servicios con distintas opciones tecnológicas, para poder, finalmente, escoger la más adecuada, según el grado de madurez tecnológica, costos operacionales y de inversión inicial de implementación del servicio a utilizar.

2. Marco teórico

El desarrollo tecnológico de la humanidad ha sido constante en los últimos siglos y sin lugar a dudas ha sido posible en gran medida por el desarrollo de las naciones, sus empresas e industrias, todas organizaciones compuestas por personas trabajando de manera constante en la creación e implementación de nuevas tecnologías, con el fin de conseguir productos y servicios mejor elaborados, más eficientes y de mejor calidad,

siempre buscando ventajas competitivas que les permitan destacar frente a su competencia y mantener vivas a sus organizaciones.

En la actualidad, la industria minera cuenta con desafíos adicionales, propios del rubro, como los cambios en las leyes del material a extraer, el aumento en las distancias desde el punto de extracción hasta sus centros o plantas de procesamientos, las condiciones climáticas o técnicas de alto riesgo a las que se ven expuestas sus trabajadores (Elguindi et al., 2011). Estas son algunas de muchas razones por las que esta industria pionera en muchos ámbitos, también lo es en el desarrollo e incorporación de nuevas tecnologías para sus procesos productivos, lo que implica cambios y riesgos a enfrentar. En esta transición suele haber un punto olvidado: los colaboradores, empresas contratistas y prestadores de servicios, que mediante un acuerdo y correcta gestión de contratos forman parte fundamental para el desarrollo de la industria, donde sus funciones y servicios, pueden verse fuertemente afectadas en esta nueva etapa de cambios. Así nace la revolución tecnológica llamada, Industria 4.0 (Rylnikova et al., 2017; Saldana et al., 2019).

El análisis de Patricio Meller (2019), exdirector de Codelco, en su libro llamado *Cobre Chileno; Productividad, innovación y licencia social* permite conocer el actual estado del rubro minero del cobre en Chile y se describen diversos ámbitos de la productividad y las áreas que influyen en esta, como la lamentable pérdida de competitividad de las cupríferas nacionales en ciertos períodos. De manera adicional, nos da propuestas de innovación tecnológica basadas en el cobre, la relevancia de la I&D en minería y el papel fundamental del capital humano en estos procesos. Patricio Meller concluye que la minería es uno de los sectores con más tecnología del país, por el uso de control satelital, robótica, TI, entre otros, aunque esto no se ve necesariamente reforzado en el área de capital humano (Meller, 2019).

A pesar de lo anteriormente mencionado, se recalca la necesidad de invertir en nuevas tecnologías y buscar a través de estas seguir siendo competitivos en el mercado global y poder aportar al desarrollo de otros sectores productivos del país hacia los cuales se suelen permear estas tecnologías ya probadas en la industria cuprífera (Aivaliotis et al., 2021).

Un referente al momento de investigar sobre la cuarta revolución industrial es el economista, presidente y fundador del Foro Económico Mundial Klaus Schwab (2016), quien en su libro *La cuarta revolución industrial*, expone diversas proyecciones de los inmensos cambios tecnológicos que se desarrollan actualmente. Entre ellos destaca la descripción de mega tendencias de consumo, los posibles impactos que esta revolución generarán en la economía y negocios, ámbitos sociales, individuales, nacionales y globales, entre otros. Esto permite entender de mejor manera los cambios a los que nos enfrentaremos y planificar las acciones a tomar como individuos, rubros e industria.

Mientras tanto, Cortés, Landeta y Chacón (2017) explican antecedentes de la industria 4.0, desde su origen conceptual, descripción, tecnologías participantes en esta revolución y las principales perspectivas. Como resultados obtuvieron que muchos profesionales y teóricos expertos de la industria 4.0 vaticinan una industria inteligente, donde también se da importancia a futuros sistemas ciberfísicos y se menciona la integración de la cadena de suministro y valor de las industrias (Garcés y Peña, 2020). Se da también mucha importancia al internet de las cosas, de los servicios y la habilitación de ciudades, fábricas y casas inteligentes.

Magri Rivera (2014) realizó un estudio enfocado en el salto tecnológico e implementación de soluciones autónomas para las operaciones mineras, buscando determinar los parámetros que variarían en el diseño y planificación de la

minería. En el desarrollo realizó un estudio basado en la implementación de camiones autónomos, donde los resultados de su investigación nos permiten estimar algunos de los posibles impactos de tecnologías autónomas en las distintas etapas del proceso productivo de la industria minera, y en el caso particular de los camiones, se obtuvo un pequeño efecto positivo de las máquinas de funcionamiento autónomo en comparación a las máquinas conducidas por humanos, tanto en consumos de combustibles, productividad y desgaste general de neumáticos y la maquinaria, aunque también se aclara el hecho de que este es un caso particular insuficiente para indicar una tendencia por sí sola, pero sí es un pequeño precedente por el que se incita a la continuación de estos estudios, los que también tienen muchas implicancias sociales.

En el año 2021 la compañía multinacional Ernst y Young (EY) especializada en servicios profesionales, consultorías, auditorías y asesorías entre otros, emitió un informe llamado *Los 10 principales riesgos y oportunidades de minería y metales a nivel mundial* (Ernest y Young, 2021). En estas publicaciones se realizaron las proyecciones de los principales riesgos y oportunidades que enfrentará la industria minera a nivel mundial, que sirve para estimar cuáles son los puntos en los que la industria debiese enfocar sus esfuerzos y preparación en caso de enfrentar desafíos similares. De dicho estudio se clasifican los 10 principales riesgos y oportunidades de la industria (licencia social, riesgos de alto impacto, productividad y costos en aumento, des carbonización y agenda ambiental, geopolítica, agenda del capital, fuerza laboral volatilidad, digitalización y datos e innovación). Y respecto al COVID-19 se reconoce el buen comportamiento de la industria, ya que en el rubro hace años que se toma como prioridad la cultura de seguridad del personal, además del hecho de contar con acceso a asesorías y profesionales de buen nivel.

Por su parte, el Centro de Estudios del Cobre y la Minería (2018), logró identificar 77 soluciones e innovaciones aplicadas a la minería asociadas a la tecnología implicadas en la entrante revolución industrial Industria 4.0. Junto a esto se realizó una serie de definiciones con el fin de determinar el estatus actual de la tecnología en la industria y para luego estimar las proyecciones más realistas de implementación tecnológica en las distintas etapas del proceso productivo de las cupríferas, entre sus principales conclusiones se destaca el hecho de que algunas etapas del proceso minero como procesamiento y servicio han comenzado con la implementación de nuevas tecnologías, no sin antes asegurar un nivel de maduración adecuado de estas, mientras que en el resto de los componentes que forman parte de la cadena de valor no se han visto este tipo de implementaciones. Es, por diversos factores que generan esta brecha, como el poco interés o falta de cultura organizacional, por ser tecnologías poco robustas o masificadas, por no contar con personal con las competencias necesarias para su implementación o falencias de conectividad y apoyo del estado en estos puntos.

De la misma manera, el Centro de Estudios del Cobre y la Minería (2020), estima el estado de la tecnología empleada por las grandes compañías cupríferas del país, además de estimar el potencial tecnológico que adquirirán los distintos procesos mineros. Para el desarrollo de este estudio, se identificaron los procesos mineros según sus perfiles y unidades de competencias, se realizó una fuerte revisión bibliográfica de la cuarta revolución industrial y se contrastó con los actuales avances en la industria, para luego realizar una serie de entrevistas con encargados de administrar y desarrollar tecnologías en las faenas mineras más grandes del país, indagando en los procesos de dichas faenas y se proyectó una visión de uso de nuevas tecnologías a mediano plazo bajo el alero de criterios técnicos. En esta revisión se reconoce que, aunque falte mucho por avanzar, se destaca

el uso de algunas tecnologías como el Big Data o la implementación de camiones autónomos en un caso pionero, al igual que la implementación de aplicación de procesos automatizados mediante el uso de centros integrados de operación. También se proyectan grandes cambios para el sistema de mantenimiento, y del mismo modo se estima un sistema de extracción mediante tele operación y una alta automatización en el procesamiento del cobre. Todos estos cambios significan la necesidad de profesionales con nuevas competencias y especialidades.

Por otra parte, la organización Option (2020), especializada en la definición y ejecución de proyectos digitales, desarrolló un informe enfocado en el desarrollo digital de las compañías mineras. Se realizó la evaluación de casos innovadores en Chile y se demostró la capacidad de las compañías y startup locales para el desarrollo de estas tecnologías, donde se realizan proyecciones de procesos industriales completamente digitalizados. Además, entre las conclusiones, se reconoce que la industria se encuentra en una etapa temprana de desarrollo digital, en el que se vislumbran muchísimos avances, se entregan consejos y pasos a seguir para el rubro como la implementación de una cultura de innovación digital y se proyectan los cambios del rubro hacia una industria digital que vendrá de la mano del uso de inteligencia artificial y Big Data. Este estudio también resalta el hecho que en la digitalización a diferencia de la automatización no se requiere necesariamente ser una gran empresa para su implementación, desarrollo y soporte, lo que puede ser incluso una ventaja para pequeños y medianos proveedores digitales quienes pueden implementar sus soluciones acompañados de servicios ofrecidos por gigantes tecnológicos a nivel mundial como Amazon web service, Microsoft Azure o Google, entre otros.

Sobre la gestión de contratos mineros, Torres (2015) describió los principales ítems que forman parte de un contrato de operaciones mineras.

Además, expone una serie de factores que deben ser considerados al momento de realizar una correcta administración de contratos, esto mediante el análisis del plan de funcionamiento planificado y estandarizado por la compañía minera, que luego contrasta con las principales falencias e incumplimiento que enfrenta dicho plan. Finalmente, propone una serie de mejoras al sistema de gestión, basado en propuestas de diseño, operacionales y prácticas, con las cuales la cuprífera podría evitar muchos problemas presentes y futuros con sus metas, objetivos y colaboradores, pudiendo realizar de buena manera una gestión de contratos y manteniendo así una relación profesional, justa y clara con sus colaboradores y prestadores de servicios.

También se consideró el trabajo realizado por el Instituto Nacional de Normalización de Chile (2018), el cual desarrolló el estudio y preparación de normativas técnicas a nivel nacional, el cual, a través de su comité técnico de gestión de riesgos, desarrolló un ajuste de la normativa ISO 31000. Esta fue creada originalmente por la Organización Internacional de Normalización (ISO) con el fin de abordar la gestión de riesgos de las organizaciones de manera global, sin importar el tamaño de la organización, el mercado en el que opera o la fuente de su capital. La ISO 31000, básicamente no se enfoca en riesgos particulares como ocurría con las normas específicas. En esta normativa se especifican los distintos tipos de riesgos a los cuales se ven enfrentados las organizaciones y sus colaboradores. Posteriormente, se define en sí la gestión de riesgos, con el objetivo de trazar un horizonte determinando los aspectos a gestionar, sus probabilidades de ocurrencias y las consecuencias de estos.

Luego, se ofrecen una serie de herramientas entre las cuales se puede escoger la más adecuada según su sector o especialidad, para realizar un correcto análisis de riesgos. Entre estas series de metodologías, existen las cualitativas, cuantitativas y semi cuantitativas.

Aunque para la especificación de este ítem, también se recurre a la norma de soporte, la ISO 31010, la cual cuenta con una variada cantidad de técnicas entre las cuales se puede escoger la más adecuada según el tipo de riesgo que se quiere evaluar y mitigar, según las consecuencias, probabilidades, eficacia de los controles existentes y/o estimación del nivel de riesgos a enfrentar (Instituto Nacional de Normalización de Chile, 2020).

Cabe mencionar que estas normativas no han sido diseñadas con fines de certificación ni para usos reglamentarios regidos por las mismas. Más bien buscan ser una fuente de información genérica para una correcta gestión de riesgos, según las necesidades del entorno.

Esta revisión de publicaciones y estudios, en su mayoría estudios descriptivos y aplicados, permitió avanzar en la definición de requerimientos en un tema teórico muy amplio. En estos informes hay múltiples fuentes confiables y validación de expertos de la industria.

3. Metodología de trabajo

Esta es una investigación cualitativa de nivel exploratoria, que busca desarrollar un modelo de análisis de riesgos de contratos en minería ante la Industria 4.0. Inicialmente, se describe la industria minera y la cuarta revolución industrial. En los capítulos finales, se desarrolla un nuevo instrumento o método de obtención de información y análisis, para que los administradores de contratos y gerencias de la industria minera puedan identificar cuál es el riesgo de las nuevas tecnologías y la gestión administrativa de los contratos relacionados.

Durante el año 2021, se analizaron 3 grandes grupos mineros en Chile, obteniendo por vías formales información primaria de los contratos de cada compañía, para definir un caso para validar el modelo. Los criterios fueron el número

y montos (MMUS\$) de los contratos, y la calidad de los datos que describen cada contrato.

Además, se realizaron entrevistas en profundidad semi-estructuradas, con expertos de la industria, administradores de contratos (externo), responsables de contrato (minera) y gerentes de departamento. Esto permitió validar los criterios y categorías de análisis establecidas en el marco teórico.

La secuencia de trabajo fue la siguiente:

Paso 1. Se realizó un levantamiento de información a través de medios digitales pertenecientes a las principales entidades relacionadas a la minería, como Consejo Minero, Alta Vista, Portal de Minería Chilena, Minminería, Sonami y el Centro de Estudios del Cobre. Luego, se revisaron las principales proyecciones tecnológicas para la industria, por medios digitales especializados y webinars con exponentes nacionales e internacionales especializados en minería y tecnología.

Paso 2. Se realizó un levantamiento de tres grandes corporaciones cupríferas del país: CODELCO, Antofagasta Minerals (AMSA) y Doña Inés de Collahuasi, por tener acceso a información mediante sus portales, memorias anuales, informes de sustentabilidad y profesionales y entrevistas a expertos.

Paso 3. Se realizó el estudio de las normas Nch-ISO 31000 sobre Gestión de riesgos - Análisis e implementación, y Nch-ISO 31010, gestión de riesgo – Técnicas de evaluación del riesgo, con el objetivo de comprender de mejor manera los distintos sistemas de gestión de riesgos y buscar las técnicas más adecuadas para realizar una correcta evaluación de riesgos según las necesidades de este proyecto intentando conseguir los mejores beneficios a las organizaciones que implementen esta metodología, particularmente se escogieron las siguientes técnicas.

Para la preselección del contrato a evaluar, se considera la utilización de una matriz de consecuencia/probabilidad, adaptada a las necesidades particulares de este caso.

Luego para la implementación de los formularios de propuesta de servicios por parte del contratista y de preselección por parte del administrador de contratos se utilizó una combinación de las técnicas “análisis de escenario” y “análisis de impacto en el negocio”, ya que estas permiten estimar de distintos puntos de vistas las posibles consecuencias de las opciones.

Paso 4. Procesamiento de datos e información de contratos. Esto fue posible gracias a la solicitud de información de distintas compañías mineras al Servicio Nacional de Minería a través del Portal de Transparencia. La información incluía datos actualizados de tres grandes compañías mineras del país, un listado actualizado de sus contratistas, los plazos de contratación, vigencia de sus contratos, las dotaciones de personal y la descripción de sus servicios.

Se seleccionó una empresa con más de 700 contratos vigentes para utilizar la matriz de consecuencia/probabilidad. Esta fue ajustada al criterio del personal que la diseña para lograr una preselección que determine cuál de todos los contratos debe considerarse como prioridad para realizar un análisis de riesgo frente a un cambio tecnológico. Entre los criterios de selección están los montos económicos del contrato, la dotación de personal, duración de los contratos y la fecha de renovación.

Se diseñó un segundo instrumento, una plantilla simplificada donde antes de la fecha de licitación los distintos proponentes o colaboradores deben mencionar las tecnologías vigentes o maduras que se utilizan actualmente en la compañía o el contrato para el desarrollo de sus servicios, y además deben proponer cuáles son las nuevas tecnologías que están entrando en vigencia para el desarrollo del servicio, indicando además, los

costos estimados de implementación de estas y los principales beneficios que estos otorgarían al servicio y por los cuales su oferta destaca frente a la de sus competidores por el servicio.

Finalmente, se diseñó una plantilla para ser desarrollada por el administrador de contrato o especialista de la compañía mandante, con la cual se puede evaluar de manera cualitativa y cuantitativa cuál de las tecnologías vigentes y proyectadas es una buena opción para considerar, estimando el nivel de riesgo de estas propuestas por los colaboradores y/o existentes en el mercado. Ambos instrumentos fueron validados en entrevistas a expertos.

4. Desarrollo

Matriz de preselección de contratos o tabla de criterio de selección

Dentro del monitoreo general realizado para este trabajo, las 3 empresas contaban con entre 700 y 1600 contratos. Cabe mencionar que, en promedio, la cantidad de proveedores de las compañías mineras suele ser un 30% de la cantidad de contratos activos a la fecha, ya que usualmente la misma empresa colaboradora mantiene entre 2 y 4 contratos activos con la cuprífera.

Dadas estas elevadas cantidades de contratos a evaluar en la industria, se realizó la matriz de preselección de contratos mediante la cual se busca dar prioridad a la revisión de unos contratos por sobre otros, evitando de este modo un desorden y una aglomeración de tareas o contratos por evaluar, pero además para utilizar de mejor manera los recursos de la compañía y estandarizar los criterios uniformando el sistema. Esto se consigue organizando según el nivel de riesgo que estos obtengan en el resultado de esta matriz que permite precalificarlos, según los criterios que se les asignen a sus características por el profesional a cargo de la administración de contratos.

Para el diseño de este tipo de matrices, no existen límites en las escalas o valores numéricos posibles para asignar a las cualidades o puntos del proceso, y de manera preliminar se suele concluir que los resultados más altos de la matriz son los

que mayor riesgo y los primeros que se deben analizar. En este caso, es una matriz de 3 por 3, siendo los criterios tiempo restante del contrato versus riesgo de impacto, con 3 niveles para cada criterio, según Tabla 1.

Tabla 1.
Matriz de riesgo de criticidad de contratos.

NIVEL DE CRITICIDAD DEL CONTRATOS			
Impacto → Tiempo ↓	BAJO RIESGO DE IMPACTO	MEDIO RIESGO DE IMPACTO	ALTO RIESGO DE IMPACTO
POCO TIEMPO RESTANTE	60 a 89 Prioridad Moderada	90 a 119 Prioridad Alta	130 a 230 Prioridad Urgente
TIEMPO RESTANTE REGULAR	23 a 59 Prioridad Baja	60 a 89 Prioridad Moderada	90 a 119 Prioridad Alta
MUCHO TIEMPO RESTANTE	23 a 59 Prioridad Baja	23 a 59 Prioridad Baja	60 a 89 Prioridad Moderada

Fuente: Elaboración propia.

Luego de identificar e indicar cuál es el objetivo principal de esta matriz y qué problemática se busca resolver con ella, se estudian y escogen las variables que se utilizarán como criterio de preselección para el desarrollo de esta.

En este caso, se determinó las diversas variables de los contratos, considerando valores cuantitativos como su costo económico o tiempos de duración y vencimiento, y posterior a ello además se deben considerar las características cualitativas como el área de prestación del servicio del contrato y los problemas que este podría generar a la empresa mandante al presentar en caso de fallas. Además, se añade el riesgo que podría significar un cambio de tecnología para el servicio, lo que requiere un análisis en detalle por los posibles aumentos de costos, o las pérdidas que podrían implicar en la competitividad de la compañía en la no adquisición de tecnologías con un alto beneficio para el proceso de la industria.

A estos valores podrían ser clasificados del 1 a 10 según su nivel de importancia (según paso 3 metodología), entre ellas se encuentran;

- La dotación de personal: cantidad de personas que forman parte del contrato.
- El tiempo de duración del contrato: los años que dura cada contrato.
- El costo del contrato: el desembolso de dinero que se debe hacer durante la duración del servicio.
- Proceso o área de servicio: según la probabilidad de cambio de tecnologías según el área al cual pertenezca el contrato, y su posible aporte en la cadena productiva.
- El tiempo restante para el vencimiento del contrato: el período restante hasta el vencimiento del servicio.

Una vez determinadas las variables, se realizó una clasificación a cada uno de los ítems según el criterio establecido por la compañía y/o experto en gestión y administración del contrato o proyecto. Para este caso, manteniendo mayoritariamente los criterios de las compañías mineras, se fijó un mayor valor numérico a los ítems, dotación de personal, duración del contrato, área de servicio, costo de contrato y tiempo para el vencimiento de este.

Posteriormente, se propone la siguiente ecuación para determinar el nivel de criticidad del contrato:

$$(\text{Criterio dotación de personal} + \text{Criterio duración del contrato} + \text{Criterio área de servicio} + \text{Criterio costo}) * (\text{Criterio tiempo para vencimiento}) = \text{Nivel de criticidad del contrato}$$

En el presente trabajo se asignaron los valores indicados en la siguiente tabla, los que se distribuyen de manera proporcional, según la cantidad de contratos que cumplan cada criterio, con los siguientes posibles resultados.

Una vez obtenido el resultado de los criterios base, se proceden a proyectar los contratos evaluados en la matriz que indica su nivel de criticidad, y con ello se logra determinar de manera simplificada, cuales tienen prioridad sobre otros.

Formularios; “Estudio de implementación tecnológica Colaborador/Mandante”

Cuando está identificado el contrato que debe ser evaluado en detalle, ya sea por renovación de servicio, cambio de proveedor, nuevo proyecto o implementación, dentro del procesos de selección, se debe realizar un análisis detallado de sus tecnologías. Para esto se toman en consideración las herramientas que actualmente son la solución al servicio y analizando la posibilidad de implementación de nuevas tecnologías, ya que esto puede implicar un importante impacto en

el servicio y proceso productivo en general, para bien o para mal.

Existen registros de fracasos de implementación tecnológica (Arancibia Carvaja, et al, 2015), en los que sin lograr dar cumplimiento a las expectativas de un plan o proyecto se han debido cancelar, reiteradas fallas en el diseño, cronograma, falta de madurez tecnológica, funcionamiento, presupuestos o ejecución suelen ser los principales motivos, en ocasiones ocurre incluso cuando en otras compañías dichas herramientas dan resultados sin mayores problemas.

Para reducir los riesgos existentes en estas implementaciones tecnológicas y enfrentar los desafíos de manera más segura, se adaptaron los formularios que utilizan como base dos de las metodologías de gestión de riesgos presentes en la norma chilena NCh-ISO 31010. Estas herramientas son “análisis de escenario” y “análisis de impacto en el negocio” y fueron escogidas por sobre el resto de las técnicas porque nos permiten tener una proyección de eventos y determinar impactos de estos en nuestro proceso de una manera simple y clara, de manera tal, que tanto los colaboradores como el especialista de la compañía mandante puedan desarrollarlas sin complicaciones y ser capaces de evaluar los diversos criterios que se deben considerar al momento de una evaluación de implementación tecnológica.

La técnica “Análisis de impacto en el negocio” permite tener en consideración lo crítico que podría resultar para una organización, la interrupción de un proceso, los tiempos de recuperación en caso de fracaso o falla o el impacto de la implementación de nuevas tecnologías, esto considerando la importancia de los tiempos y recursos asociados al proyecto, estimar la relación entre las distintas variables del proceso y la valorización de diversos aspectos del negocio como los legales, financieros, infraestructuras, reputación y humano.

Si bien esta herramienta es muy utilizada en áreas contables y financieras para las evaluaciones

de proyecciones financieras, sus cualidades de características técnicas de un proyecto o también nos permiten la proyección y evaluación proceso.

Tabla 2.
Matriz de impacto en el negocio

Pasos considerados en su desarrollo	
1	Estudiar el negocio o proceso e identificar los procesos críticos.
2	Establecer el impacto según criterio escogido.
3	Estimar plazos y costos de recuperación por imprevisto o falla.
4	Determinar los procesos de recuperación por imprevisto o falla.
5	Identificar las estrategias de recuperación por imprevisto o falla.

Fuente: Instituto Nacional de Normalización de Chile (2020).

Para la implementación de un análisis de impacto en el negocio, se requiere conocimiento de la organización a evaluar, sus operaciones, capacidades, recursos de apoyo propios y de fuentes externas y las partes interesadas. Esta herramienta se puede implementar mediante un cuestionario a los distintos stakeholders de un proyecto o al personal que forme parte de la organización, idealmente de distintas áreas para poder, de este modo, contar con diversos puntos de vista y una variada fuente informativa. A través de su implementación se debe concluir de forma aproximada los rangos máximos.

La técnica de evaluación de riesgos “Análisis de escenarios” permitió estimar los posibles resultados de un proyecto, proceso o labor a través de su desarrollo con una mirada en distintas proyecciones temporales, ya sea a corto, mediano o largo plazo, según se estime conveniente. Además, con distintos tipos de resultados (optimista, esperado y pesimista) se pueden hacer proyecciones para realizar un mejor análisis para una toma de decisiones. Es la manera más correcta de continuar o directamente cancelar un proyecto, esto dependiendo de los posibles resultados.

Para el correcto desarrollo del análisis de escenarios es ideal que su diseño y posterior

desarrollo esté a cargo de personas que tengan conocimiento y experiencia de los temas en cuestión, lo que facilitaría el planteamiento de proyecciones más certeras y fiables, ya sean con consecuencias positivas, negativas o neutras.

Otro punto importante considerar al momento de su elaboración es el estudio de las proyecciones de la industria, mercado o producto por otros expertos del área, de modo que sea posible contar con más miradas e información actualizada.

En el diseño y desarrollo de los formularios propuestos para las empresas colaboradoras se consideraron los siguientes criterios:

- Tecnologías usadas actualmente en el mercado.
- Nuevas opciones tecnológicas o mejor tecnología existente en el mercado.
- Método de implementación tecnológica.
- Impactos positivos destacables del uso de nueva tecnología, en el desarrollo de sus labores, en el proceso productivo, en la seguridad del personal, en la infraestructura de la compañía o en personas o infraestructuras externas a esta.

- Impactos negativos que considerar por el uso de nueva tecnología, en el desarrollo de sus labores, en el proceso productivo, en la seguridad del personal, en la infraestructura de la compañía o en personas o infraestructuras externas a esta.
- Costo de implementación tecnológica (optimista/medio/pesimista).
- Costo de operación/mantenimiento de tecnología entrante (optimista/medio/pesimista).
- Cantidad estimada de proveedores de tecnología propuesta, nombrando a los más importantes.
- Nivel de madurez tecnológica/casos de éxito.
- Probabilidad estimada de falla en tecnología a implementar (indicar % estimado).
- Recursos no monetarios que permitan la implementación de medidas de mitigación (procedimientos, materiales, equipos, horas hombre y tiempo).
- Beneficios económicos y recursos en general esperados por la implementación tecnológica.
- Costo de operación y mantenimiento de tecnología entrante (optimista/medio/pesimista).
- Cantidad estimada de proveedores de tecnología propuesta y los nombres a los más importantes.
- Nivel de madurez tecnológica y casos de éxito.
- Probabilidad estimada de la falla en tecnología a implementar (indicando el % estimado).

Para el desarrollo de los formularios propuestos para ser desarrollado por el profesional de la empresa mandante se consideraron los siguientes criterios:

Opciones tecnológicas existentes en el mercado que cuenten con un desarrollo lo suficientemente maduro para considerar su implementación, estén o no previamente mencionados en propuesta de colaboradores, como, por ejemplo:

- Posibles impactos críticos para el servicio y la compañía, en los que podría afectar la implementación de los cambios tecnológicos mencionados o no por la empresa colaboradora.
- Posibles impactos críticos para las personas, infraestructura, internos o externos, en los que podría afectar la implementación de los cambios tecnológicos mencionados o no por la empresa colaboradora.
- Herramientas y/o estrategias de mitigación y normalización del servicio en caso de verse afectado por un impacto negativo.

5. Caso de estudio

La organización de los contratos de la compañía del caso de estudio es realizada por dos equipos: por un lado, se encuentra la gerencia de contratos y abastecimientos, la cual está principalmente enfocada en los contratos de procesos relacionados a la compañía, y por otro lado se encuentra la gerencia de proyectos, quienes velan por la gestión y validación de los nuevos contratos relacionados a las áreas de proyecto y construcción de la compañía.

Los criterios generales para la evaluación de los oferentes de los contratos en la industria minera son el costo del servicio y las capacidades técnicas ofrecidas en este. Estos criterios reciben un distinto nivel de valoración y aplicación según la compañía en cuestión, ya que mientras en otra empresa, se realizan las valoraciones técnicas de estos, y posteriormente quien supere el mínimo establecido puede postular a la evaluación económica. En el caso de estudio, la evaluación de estos criterios se realiza en paralelo, pudiendo

ajustar los valores en el desarrollo de esta evaluación.

Del mismo modo, la preselección de los contratos a evaluar depende de distintos criterios.

Para este trabajo, se tomó en consideración los criterios propuestos a continuación en el desarrollo de la matriz de selección de contratos.

Tabla 3.
Criterios aplicados a matriz de riesgos caso de estudio

Criterios en una matriz para el caso de estudio		
Variable	Cantidad/rangos	Puntos asignados
Dotación de personal	1 a 20	1
	21 a 60	2
	61 a 120	3
	121 a 360	4
	sobre 361	5
Duración del contrato	1 año	1
	2 años	2
	3 años	3
	4 años	4
	5 o más años	5
Área de servicio (asignación según posibilidad de cambio de tecnología, tabla N°7)	Geología y extracción	2
	Proyectos y construcción	2
	Administración general	3
	Transporte de mineral	3
	Servicios de mantenimiento	3
	Procesamiento	4
	Administración de procesos	5
Costo de contrato	Entre USD 1 y 999k	1
	Entre USD 1M y 1,999M	2
	Entre USD 2M y 2,999M	4
	Entre USD 3M y 3,999M	6
	Entre USD 4M y más.	8
Factor multiplicador correspondiente a criterio "Tiempo para vencimiento"	Entre 1.621 y 99.999 días restantes	2
	Entre 541 y 1.620 días restantes	4
	Entre 181 y 540 días restantes	6
	Entre 61 y 180 días restantes	8
	Entre 1 y 60 días restantes	10

Fuente: Elaboración propia.

6. Conclusiones

A pesar de la relevancia para el sector industrial y el país, los modelos de riesgos aplicados a contratos de la industria minera nacional no han sido desarrollados en la literatura intensamente. Los casos encontrados son aplicaciones internas de cada compañía, y a proyectos en diversas etapas de su ciclo de vida, no específicamente a contratos.

Existen una serie de estudios e informes de los cambios tecnológicos de la industria, pero ya sea por su complejidad o por ser un fenómeno contemporáneo, no hay disponibles antes de este trabajo instrumentos y modelos para analizar el riesgo de contratos mineros aplicables a Chile. Por eso, la utilidad principal de este documento fue establecer los criterios y matriz de análisis de la investigación.

Se utilizaron normas, metodologías y herramientas de amplia difusión en la industria, que permitieran el uso e implementación futura del modelo. También, esto fue útil para la validación de instrumentos y modelos con los profesionales de la industria.

A pesar de la dificultad de obtener datos primarios, y los diversos formatos en los que se pueden encontrar, la propuesta de investigación fue implementada correctamente gracias a la red y experiencia del investigador, que se desempeñó en la misma industria, aunque no específicamente en la función.

La secuencia de pasos propuesta, así como las herramientas recomendadas en cada etapa, permitiría que cualquier analista o profesional relacionado al departamento de contratos pueda aplicar el modelo. Los ajustes a las planillas fueron menores.

Sobre los resultados, es posible validar el objetivo de la investigación al ser aplicado correctamente el modelo en la empresa seleccionada como caso de estudio. Los responsables de los contratos en la minera, con la información que actualmente

manejan, pueden además de su conocimiento experto, disponer de un modelo sistematizado para el análisis del riesgo.

En términos prácticos, permite a una empresa minera en cualquier nivel o escala (corporativo, por país, por faena, etc.) realizar un análisis de los riesgos de contratos, previendo los tiempos administrativos y viabilidad de implementación del nuevo contrato, evitando adjudicaciones sobre la marcha, dependencia del proveedor y tecnología, y otra serie de acciones que pueden ocurrir en la gestión de contratos. Otro aspecto, mencionado por uno de los entrevistados, es que el modelo es viable también para grandes contratistas, con varios contratos por faena y en la región.

Respecto a las clasificaciones y las categorías propuestas para la clasificación de contratos, si bien existen diversos estudios previos, no habían sido sistematizados, siendo este trabajo un valioso aporte a futuras investigaciones.

Estudios futuros deberían comparar (benchmarking) los resultados de criticidad por categoría de contratos, que más allá de criterios particulares por cada empresa minera, permitieran ajustar el modelo. Esto podría ser realizado por un IES, Centro o entidad relacionada a la minería y gestión de contratos, encargada de la actualización de categorías y criterios.

También, el modelo podría ser aplicado a otras industrias intensivas en capital y con un gran número de contratos, tales como celulosa, madera y energía. Así también, aumentar la cobertura de empresas analizadas en una industria específica.

La aplicación de las técnicas analíticas avanzadas es una opción para la mejora y el desarrollo de este trabajo, dentro de las cuales pueden considerarse técnicas de inteligencia de negocios y minería de datos, que ya están siendo utilizadas en minería, pero en otras áreas.

Referencias bibliográficas

- Aivaliotis, P., Anagiannis, I., Nikolakis, N., Alexopoulos, K., & Makris, S. (2021). Intelligent waste management system for metalwork-copper industry. *Procedia CIRP*, 104, 1571-1576. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.265>
- Arancibia Carvaja, S., Donoso Pérez, M., Venegas Cabello, R., & Cárdenas Espinosa, C. (2015). Identificación de factores clave en la cultura de innovación: El caso de la mediana minería en Chile. *Journal of technology management & innovation*, 10(1), 132-145.
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Centro de Estudios del Cobre y la Minería (2018). *Impacto de las nuevas tecnologías en las competencias requeridas por la industria minera*. Disponible en: <https://bit.ly/3OkJng3>
- Centro de Estudios del Cobre y la Minería (2020). *Hacia una minería 4.0: Recomendaciones para impulsar una industria nacional inteligente*. Disponible en: <https://bit.ly/3Ei1u1u>
- Cortés, C. B., Landeta, J. M., y Chacón, J. G. (2017). El entorno de la industria 4.0: implicaciones y perspectivas futuras. *Conciencia Tecnológica*, 54, 33-45. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/944/94454631006/94454631006.pdf>
- Culver, W. W. & Reinhart, C. J. (1989). Capitalist Dreams: Chile's Response to Nineteenth-Century World Copper Competition. *Comparative Studies in Society and History*, 31(4), 722-744.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Daribay, A., Serikova, A., & Ukaegbu, I. A. (2019). Industry 4.0: Kazakhstan Industrialization Needs a Global Perspective. *Procedia Computer Science*, 151, 903-908. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.125>
- Elguindi, J., Hao, X., Lin, Y., Alwathnani, H. A., Wei, G., & Rensing, C. (2011). Advantages and challenges of increased antimicrobial copper use and copper mining. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91(2), 237-249. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3383-3>
- Ernest y Young (2021). *Los 10 principales riesgos y oportunidades de minería y metales a nivel mundial*. Disponible en: <https://go.ey.com/37gLpNo>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Garcés, G. y Peña, C. (2020). Ajustar la Educación en Ingeniería a la Industria 4.0: Una visión desde el desarrollo curricular y el laboratorio. *Revista de Estudios y Experiencias En Educación*, 19(40), 129-148. Disponible en: <http://www.rexe.cl/ojournal/index.php/rexe/article/view/967/>
- Instituto Nacional de Normalización de Chile. (2018). *NCh-ISO31000:2018 Gestión de riesgos*. Disponible de: <https://ecommerce.inn.cl/nch-iso31000201868262>
- Instituto Nacional de Normalización de Chile. (2020). *NCh-ISO31010:2020 Gestión de riesgos – Técnicas de evaluación del riesgo*. Disponible en: <https://ecommerce.inn.cl/nch-iec31010202078136>
- Magri Rivera, J. R. (2014). *Efectos de la incorporación de tecnologías autónomas en el diseño y*

- la planificación minera* [Tesis, Universidad de Chile]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131395>
- Meller, P. (2019). *Cobre chileno: productividad, innovación y licencia social*. Santiago de Chile: Corporación de Estudios para Latinoamérica (CIEPLAN)
- Option (2020). *Informe minería 2020, Aceleración digital para una minería 4.0*. Disponible en: <https://landing.option.cl/aceleracion-digital-en-mineria/>
- Rylnikova, M., Radchenko, D., & Klebanov, D. (2017). Intelligent Mining Engineering Systems in the Structure of Industry 4.0. *E3S Web of Conferences*, 21, 01032. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101032>
- Saldana, M., Flores, V., Toro, N., & Leiva, C. (2019). Representation for a prototype of recommendation system of operation mode in copper mining. *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1–4. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760884>
- Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Barcelona: Debate.
- Torres, R. Á. (2015). *Gestión de contratos de servicios a la minería* [Tesis de Magíster, Universidad de Chile]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/135052>