



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
MBA

**EVOLUCIÓN E IMPACTO ECONÓMICO DE INVERSIÓN EN
LAS FASES TEMPRANA EN UN MODELO
GEOMINEROMETALURGICO**

Tesis de Grado presentada por

ANTONIO NICOLAS MEZA DIAZ

Como requisito para optar al grado de

MBA, Magíster en Gestión Empresarial

Director de Tesis: FERNANDO YANINE

Noviembre de 2016

TITULO DE TESIS: “EVOLUCIÓN E IMPACTO ECONÓMICO DE INVERSIÓN EN LAS FASES TEMPRANA EN UN MODELO GEOMINEROMETALURGICO”

AUTOR:

ANTONIO NICOLÁS MEZA DÍAZ

TRABAJO DE TESIS, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el Grado de MBA Magíster en Gestión Empresarial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones: _____

Dr. Lionel Valenzuela O. _____

Dr. Franco Fernando Y. _____

Mg. José Miguel González P. _____

Santiago, Noviembre 2016

Todo el contenido, análisis, conclusiones
y opiniones vertidas en este estudio son
de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Antonio Nicolás Meza Díaz

Firma.....

Fecha.....

DEDICATORIA

A mis hijos Camila y Ariel por ser mi fuente de inspiración, motivación, esfuerzo y superación constante en todas mis decisiones. A ellos deseo dejar un legado que, a través del conocimiento y la perseverancia, se puede derribar los obstáculos y cambiar el rumbo de sus vidas.

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber” _ A. Einstein.

AGRADECIMIENTOS

“La gratitud da sentido a nuestro pasado, trae paz al presente y crea una visión para el mañana” _ Anónimo.

Agradezco a Dios Padre por las personas que han influenciado en mi vida, carácter y desarrollo profesional, en una sociedad cada día más individualista, donde las personas velan por sus propios intereses, resaltando sólo su egoísmo miserable.

Extendiendo el presente pensamiento anónimo a mis hijos, familiares y compañeros de trabajo que han hecho en mi transitar profesional una persona alegre y pragmática; visualizando toda crisis no como obstáculos; sino como grandes oportunidades.

Agradezco las aulas de la institución y a mis compañeros del MBA (Generación septiembre 2016) por ser un canal útil en forjar el potencial de líder que uno posee y por motivar a otros en lograr sus resultados. Llevaré por siempre con orgullo el grado obtenido en esta universidad, que posee prestigio nacional e internacional.

Por último y no menos importante, agradezco al Gerente de Exploraciones Mineras Andinas Codelco, Sr. Guillermo Müller Maser y a mi profesor guía Fernando Yanine por su constante apoyo y la tranquilidad entregada para la confección del presente trabajo. Ellos motivaron el primer párrafo de este texto con su apoyo incondicional y preocupación, permitiendo concretar el cierre de este proceso con éxito. ¡Gracias a ambos!

Índice

1 Resumen	01
2 Introducción	03
3 Tema y Problemática	05
4 Objetivos	06
4.1 Generales	06
4.2 Específicos	06
4.3 Alcance del Problema	07
4.4 Justificación	07
5 Antecedentes	08
6 Desarrollo del Tema	11
6.1 Geología del Distrito	11
6.2 Zona Mineral	16
6.3 Parámetros que conforman un Modelo Geominerometalúrgico	18
6.3.1 Procesos QA/QC para poblar una Base Dato Geominerometalúrgico	22
6.4 Factores Críticos en la Industria Minera	25
6.5 Impacto Financiero	28
6.6 Errores e Impacto en un Modelo Geominerometalúrgico	43
6.7 Modelo de Gestión del Conocimiento	51
6.7.1 Modelo de Gestión Funcional del Conocimiento	52
7 Conclusiones	57
8 Bibliografía	59

Índice de Figuras

FIGURA 1 Participación Mundial de Producción de Cobre _ Fuente: Consejo Minero a partir de información de Cochilco y World Gold Council. Pág..08

FIGURA 2. Programa geológico para el desarrollo Modelo Geominerometalúrgico 2016. Fuente_ Planificación minera Vicepresidencia de Codelco DSAL 2016. Pág..10

FIGURA 3: Lineamientos magnéticos y sistema de fallas regionales NNE e información de gravimetría terrestre sobre modelo de elevación digital. Fuente_ Rivera, O y Falcón M.F. (2000). Pág..12

FIGURA 4: Controles litológicos y estructural de El Salvador. Fuente _ Modelo Estratégico de exploración DSAL EMSA 2016. Pág..15

FIGURA 5: Zona Mineral Yacimientos Cu-Mo, Fuente: Google Internet. Pág..17

FIGURA 6: Parámetros base Modelo Geominerometalúrgico. Fuente_ Elaboración Propia. Pág..20

FIGURA 7: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016. Pág..21

FIGURA 8: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016. Pág..23

FIGURA 9: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016. Pág..24

FIGURA 10: Factores críticos en Minería. Fuente _ Datos tomados "Why Feasibility Studies FAIL", autor McCarthy.P. 2013. Pág..26

FIGURA 11: Gráfica piramidal sobre los Factores críticos en Minería. Fuente _ Datos tomados "Why Feasibility Studies FAIL", autor McCarthy.P. Pág..27

FIGURA 12: Representación esquemática Modelo Bloque Minero. Fuente: Leapfrog 3D-EMSA, 2016. Pág..28

FIGURA 13: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016. Pág..29

FIGURA 14: Recuadro general sobre costos asociados a una campaña sondaje diamantina DSAL. Fuente _ Inversión Proyecto Rajo Inca, EMSA 2016. Pág..30

FIGURA 15: Características de los Factores Modificantes _Fuente Comisión Minera 2014. Pág..34

FIGURA 16: Visión disgregada de la cadena de valor del negocio Minero. Fuente _ Elaboración Propia. Pág..36

FIGURA 17: Visión integral de la cadena de valor del negocio Minero. Fuente _ Elaboración Propia. Pág..37

FIGURA 18: El error de la Estimación _Fuente Curso Geominero U. de Chile, Prof. Marco Antonio Alfaro, Doctor en Geoestadística. Pág..39

FIGURA 19: Incongruencias modelo litológico El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015. Pág..47

FIGURA 20: Incongruencias modelo Zona Mineral El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015. Pág..48

FIGURA 21: Incongruencias modelo Zona Mineral El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015. Pág..49

FIGURA 22: Incongruencias Zona Mineral El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015. Pág..50

FIGURA 23: Riesgo Asociados a la Decisión basado en la calidad de la Información y Conocimiento. Fuente _ Elaboración Propia. Pág..51

FIGURA 24: Modelo Gestión del Conocimiento, Fuente _ Elaboración Propia. Pág..54

FIGURA 25: Diagrama de escala y el impacto temprano asociado a un Modelo Geominerometalúrgico para la toma de decisiones. Fuente _ Elaboración Propia. Pág..55

Índice de Fotografías

FOTOGRAFIA 1: Error de muestreo en bandejas de sondajes _Fuente: Testigoteca El Salvador, 2016. Pág..44

FOTOGRAFIA 2: Incongruencias mapeo litológico sondajes _Fuente: Testigoteca El Salvador, 2016. Pág..45

FOTOGRAFIA 3: Pérdida de muestras en bandejas de sondajes _Fuente: Testigoteca El Salvador, 2016. Pág..45

Índice de Tablas

TABLA 1: Cálculo económico tonelaje/ley. Fuente: Ejercicio error de estimación curso Ing. Mina U. de Chile. Pág..38

TABLA 2: Diferencia calculo tonelaje reservas de Óxidos en El Salvador. Fuente: Consultoría EMI-SA, 2014. Pág..40

TABLA 3: Estimación económica diferencia calculo tonelaje reservas de Óxidos en El Salvador. Pág..40

TABLA 4 Impacto de la Incertidumbre del Modelo Geológico en un Proyecto Minero. Fuente Tesis Isabel Letelier M, U. De Chile, enero 2012. Pág..41

1. Resumen

Se dice que la mineralización se encuentra en cuerpos naturales que definen un volumen y estas definen el tamaño de los yacimientos. Por lo tanto, es necesario saber cuándo y en qué condiciones del volumen dado por su mena puede ser asimilado industrialmente y llegar a constituir en la línea del tiempo un proceso operacional. Un yacimiento puede soportar una operación minera si esta es capaz de producir un producto vendible con suficiente valor y así cubrir todos sus gastos y generar cierto nivel de rentabilidad para sus dueños o accionista. Es precisamente la gestión sobre la evaluación y su impacto del valor temprano de sus fases presente en un modelo geominerometalúrgico es el objetivo de este trabajo.

Las alternativas de inversión en la minería como mismo ocurren en otros sectores productivos son evaluada en un momento dado de tiempo sobre la base de la estimación de los valores futuros a través de los parámetros técnicos, geológicos y económicos (Reservas, Ley Media, Vida Útil, Producción Anual, Precio, Costo de Operaciones etc.). Los proyectos mineros actuales son extremadamente costosos, generalmente con desembolso inicial de capital del orden de los cientos de millones de dólares; esto hace que la toma de decisión acerca de la ejecución o no de un proyecto sea una tarea de suma responsabilidad e importancia.

Por ende, es necesario comprender el rol que presenta un modelo geominerometalúrgico, cuáles son sus procesos y costos asociado que involucra las distintas fases en ella; no sólo por su inversión operacional, sino su débil gestión de control en sus procesos, iniciado en la operación de una campaña de sondaje, recuperación de testigo y su logeo de sus parámetros geológicos.

Toda compañía tiene recursos financieros limitados por lo que se hace necesario dicha gestión en su Cadena, a partir desde su fase temprana; velando por la confiabilidad de sus datos, cuyo no control afecta a futuro las decisiones financieras de una empresa minera.

La responsabilidad de todo Gerente en este negocio, depende del binomio: Experiencia, Control e Información de su equipo, el cual debe estar formado por profesionales de diversas áreas que en su conjunto establecen la sinergia de trabajo, evaluando cada uno de los

parámetros del modelo: Ingenieros en Minas, Geólogos, Economista y Analista de Costo del Mercado.

Dicha evaluación debe considerarse como una operación dinámica y sustentable en el tiempo, considerando las distintas alternativas (método de extracción y beneficios) con el fin de seleccionar la variante óptima.

2. Introducción

La minería ha sido protagonista de la senda de crecimiento que ha tenido la economía chilena en las últimas décadas. Luego de una producción estancada en torno a los 1,4 millones de toneladas anuales durante los años 80, en la década siguiente se observó un crecimiento sostenido, alcanzando más de 4 millones de toneladas. Posteriormente dicho crecimiento continuó, aunque a menor ritmo, y en los últimos años la producción se está acercando a 6 millones de toneladas anuales. Esto ha permitido que Chile pase a representar desde un 16% de la producción mundial antes de los '90 a un 32% en los años recientes, y un 30% durante el 2015.

La participación de la minería en el PIB se ha ubicado en torno al 9%, desde mínimos en torno al 7% en algunos años de los '90, hasta máximos sobre el 20%, en algunos años de la segunda mitad de la década del 2000.

Desde la promulgación del Estado de Inversión Extranjera en 1974 hasta el año 2012 se han materializado inversiones por más de 90 mil millones de dólares, de los cuales un tercio corresponde a minería.

Consecuentemente, la inversión en exploración en Chile pasó desde valores por debajo de los 100 millones de dólares anuales, a montos cercanos a 1.000 millones, proyectando que Chile mantenga en torno al 30% de las reservas mundiales de cobre.

Bajo la mirada del presente escenario que vive hoy la gran minería y el desarrollo de su exploración, es necesario estar en una continua revisión de su cartera de proyecto, optimizando cada uno de sus procesos a través de la gestión de la información para la toma de decisiones segura y asertiva; con el fin de poseer ventajas competitivas frente al mercado de los Commodity. Es por ello que dicha gestión geocientista es crucial para la toma de decisiones, no sólo para descubrir nuevos depósitos minerales, sino también por su impacto en el negocio, más aún en sus fases tempranas, que permite incrementar sustentablemente los recursos y reservas mineras en el tiempo.

Basado en lo anterior, es crucial mirar con mucha atención este desarrollo presente en la Cadena de Valor del modelo geominerometalúrgico, no sólo por la estrategia que ello involucra, sino por la correcta gestión del conocimiento que existe, en relación a la captura de información y la construcción de sus bases de datos, que al estar mal registrado impactan en el corto y largo plazo aquellas decisiones económicas presente en una operación minera.

3. Tema y Problemática

El trabajo consiste en revelar aquel impacto económico que presenta la captura geológica y su relación de la data en sus fases temprana para el desarrollo de un modelo geominerometalúrgico, cuyo análisis nos permite entregar una propuesta y/o implementación de un modelo de su gestión, capaz de prevenir con antelación los diferentes procesos que implican e impactan a la gran minería, reduciendo su costo económico que debe enfrentar una compañía minera.

El correcto control en su gestión tanto tácticas como operativas sirven de apoyo para la toma de decisiones e inversión para los altos ejecutivos; los cuales son claves en el diseño y analisis en una operación minera.

4. Objetivos

4.1. Generales

Generar un modelo conceptual de control de gestión que permita mejorar y medir el impacto del negocio minero en las fases tempranas en la exploración minera y así servir de apoyo en el modelo geológico, cuyos parámetros son transformados en un modelo geominerometalúrgico.

4.2. Específicos

Analizar los procesos e importancia de la captura geológica y su control que inciden en el impacto temprano en la construcción de un modelo geominerometalúrgico presente en una compañía minera.

- Exponer los costos asociados de una campaña de sondaje para el desarrollo y construcción de un modelo geominerometalúrgico y visualizar su impacto económico.
- Visualizar algunos casos reales y la ineficiencia en su control de la data geológica que impactan en la toma de decisiones económica presente en un proyecto minero (Ej. Rajo Inca _ DSAL).
- Proponer un proceso de control de gestión de la información que asegure la confiabilidad presente en un modelo geominerometalúrgico.

4.3. Alcance del problema

A partir de esta tesis se pretende definir una estrategia de gestión en la información geológica que permita mejorar aquellos controles que inciden en la construcción de un modelo geominerometalúrgico. Su importancia e impacto económico, asociado en cada uno de sus procesos que, en su conjunto, define las estrategias cruciales para la toma de decisiones en la inversión y desarrollo que necesita un ejecutivo con el fin de reducir y/o optimizar los costos de operación asociados a una faena minera.

El alcance de esta tesis es investigativo y táctico, debido a la gran cantidad de información que entrega un modelo geominerometalúrgico que sustenta:

- El diseño de una mina.
- La operación en el corto y largo plazo.
- Y la continuidad de sus reservas.

4. 4. Justificación

El estudio propuesto busca exponer y mejorar aquellos puntos críticos que involucra el desarrollo de este modelo; cuyas partes deben ser considerada para su gestión con el objeto de obtener resultados confiables, concretos y auditable que definen en el corto y/o largo plazo, aquellas decisiones claves en la inversión temprana y el desarrollo de un plan minero.

Este estudio puede ser utilizados por aquellas empresas que tengan las siguientes características:

- Empresas de exploraciones que desean implementar un modelo de gestión para la construcción y desarrollo de un modelo geominerometalúrgico, asociado en el negocio minero transable en la bolsa.
- Empresas en proceso de internalización o asociaciones globalizadas (Joint-Venture).
- Empresas de servicios geológicos que desean diferenciarse en competitividad y rentabilidad en relación a otras.

5. Antecedentes SEPI

Durante los últimos años la demanda por cobre ha aumentado, principalmente por el fuerte crecimiento económico de China e India. Bajo estas circunstancias las producciones de concentrados, ánodos y cátodos de cobre están vendiendo con anticipación, de hecho los traders están en busca de las empresas mineras en Chile, para concretar contratos de ventas de productos.

La fortaleza del precio del cobre se explica por la permanencia de altos niveles de escasez en el mercado, ayudado principalmente por el fuerte crecimiento de China lo que ha generado mayor demanda.

China es la economía emergente más relevante para el desarrollo minero económico mundial y chileno.

Producción y reservas mundiales de cobre por país 2015

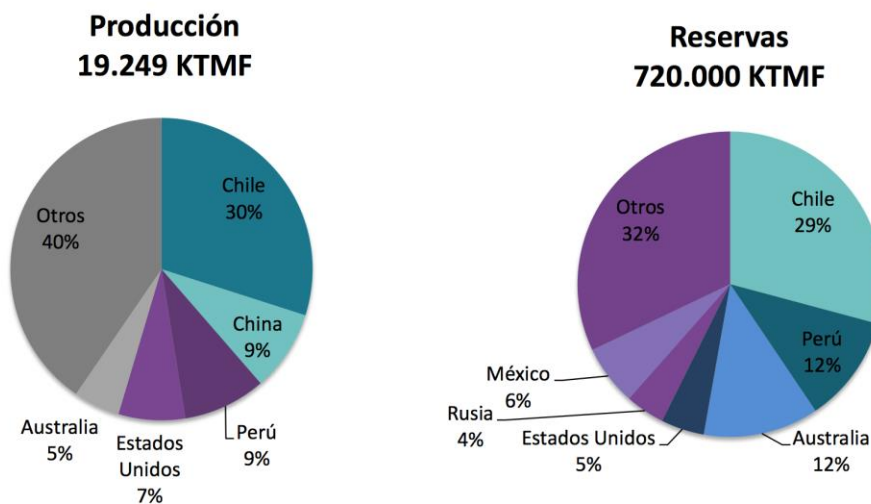


FIGURA 1 Participación Mundial de Producción de Cobre _ Fuente: Consejo Minero a partir de información de Cochilco y World Gold Council.

En este contexto, de altos precios de la libra de cobre y la demanda global en el tiempo, las grandes compañías han reactivados sus programas de sondajes, otras están adelantando la puesta en marcha de nuevos proyectos, esto con el fin de aprovechar y asegurar los futuros escenarios. Por ende, la oportunidad de beneficiarse en obtener cuerpos mineralizados que están como recursos y transformarlos a reservas a través de un modelo geominerometalúrgico cobra importancia para la gestión sus costos.

Durante el periodo 2013 en el contexto de los planes exploratorios y de negocios PEX-PND, EMSA lleva a cabo diversos estudios geológicos (Brown Field) con el objeto de buscar distintas alternativas de reservas remanentes que pueda tener sostener la viabilidad y desarrollo de la División Salvador, siendo Exploraciones Mineras S.A un socio estratégico para la División Codelco

Es dentro de este marco conceptual que se reconocen oportunidades que conllevan a Exploraciones Mineras (EMSA) en tomar un rol protagónico y estratégico con la División Salvador, llevando a cabo programa y campañas de sondajes dentro de la mina, entregando valor agregado a la División con nuevos recursos y nuevos conceptos geológicos asociado a los procesos hidrotermales que involucra un sistema de pórfido de cobre-molibdeno.

Debido a esta nueva mirada de la geología en el distrito y la demanda por cobre en el mundo, se lleva a cabo de entregar por parte de la Vicepresidencia de Proyecto de Codelco a Exploraciones Mineras una nueva área; esto es:

- Desarrollar el programa geológico de sondajes de un total de 38.000 metros con el fin de construir con los antecedentes históricos de la División, la construcción del modelo geominerometalúrgico del Rajo Inca, que sustentará en el corto plazo (los primeros 5 años) la continuidad de sus operaciones mineras, separando las unidades lixiviables en relación al material hipógeno destinada para su flotación.

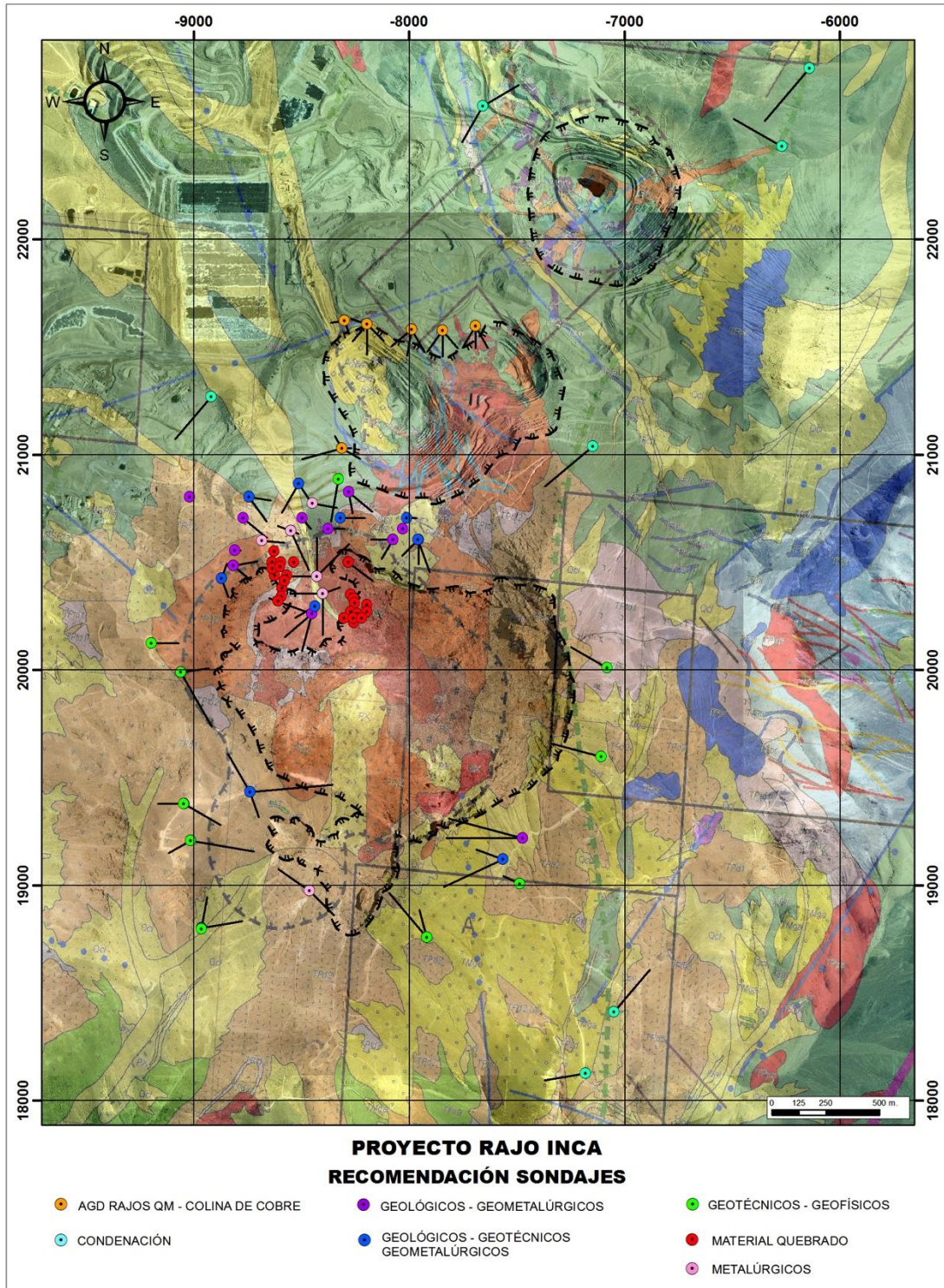


FIGURA 2. Programa geológico para el desarrollo Modelo Geominerometalúrgico 2016. Fuente_ Planificación minera Vicepresidencia de Codelco DSAL 2016.

6. Desarrollo del tema

6.1 Geología del Distrito.

Las unidades geológicas que caracterizan el Distrito El Salvador se encuentran relacionada a la evolución de un sistema de colapso-resurgencia de caldera durante el Paleoceno Inferior-Medio (43-41 Ma) directamente sobre la intersección de los márgenes estructurales de la caldera con sistemas de fallas regionales de rumbo NNE. Ambos ciclos de actividad magmática tienen lugar sobre un basamento volcánico y volcanosedimentario conocido en la región como Fm. Llanta (Cretácico Superior) y Fm. Sierra Fraga (Jurásico-Cretácico Superior).

La asociación compleja de facies volcánicas reconocida al sur del Cerro Indio Muerto, entre los cerros La Antena y Contreras, fue interpretada por Cornejo et al. (1993) como los productos de una estructura anular de colapso de más de 15 kilómetros de diámetro y abierta hacia el NW, denominada **Caldera El Salvador**.

Estudios posteriores (Rivera, 1997; Cornejo et al., 1997; Cornejo et al., 1999) permitieron reinterpretar la **Caldera El Salvador** como una estructura hemielíptica de colapso formada dentro de la *Cuenca Volcano-Tectónica Extensional Indio Muerto* (Rivera y Falcón, 2000), a través de un mecanismo de “*hinge trapdoor subsidence*”. Las estructuras que controlaron el colapso corresponden a una zona de falla regional orientada en dirección NNE la cual actuó como bisagra para la rotación de una estructura subanular ubicada al E-SE determinando el descenso del bloque formado por los cerros La Antena-Contreras. El ciclo de caldera comenzó alrededor de los 66 Ma y se extendió, junto con las calderas Cerro Vicuña y Potrerillos hasta los 56 Ma. Sus principales afloramientos se reconocen al sur del Cerro Indio Muerto, donde constituyen un depósito de más de 1.500 metros de potencia de relleno de intracaldera formado durante cada uno de los tres eventos de colapso identificado en la zona. El principal evento post-colapso corresponde el emplazamiento de un campo de domos coalescentes cuyo ascenso estuvo estructuralmente controlado por la intersección de la Falla Kilometro 14 de rumbo

NNE con la culminación septentrional de la fractura anular . Una situación similar se observa en el sector de Kilometro 14 donde un campo reducido de domos coalescentes se emplaza en la intersección meridional de la fractura anular con el sistema regional de fallas NNE.

El sistema estructural combinado de colapso formado por fallas regionales y la fractura anular representa un elemento geométrico de primer orden para el control del emplazamiento del “Complejo Porfídico El Salvador” cuyo evento principal de mineralización ha sido asignado al Eoceno Medio (43-41 Ma). En efecto , Mpodozis et al. (1994) establecen que sistemas de fallas extensionales NNE generadas durante el inicio del ciclo volcánico Cretácico Superior-Paleoceno habrían sido invertidas durante un evento de engrosamiento cortical ocurrido entre los 44-37 Ma durante la Fase de Compresión Incaica del Eoceno Medio, favoreciendo el ascenso de los complejos intrusivos de El Salvador, Campamento Antiguo y Cerro Pelado a lo largo de ramas de dichas estructuras NNE.

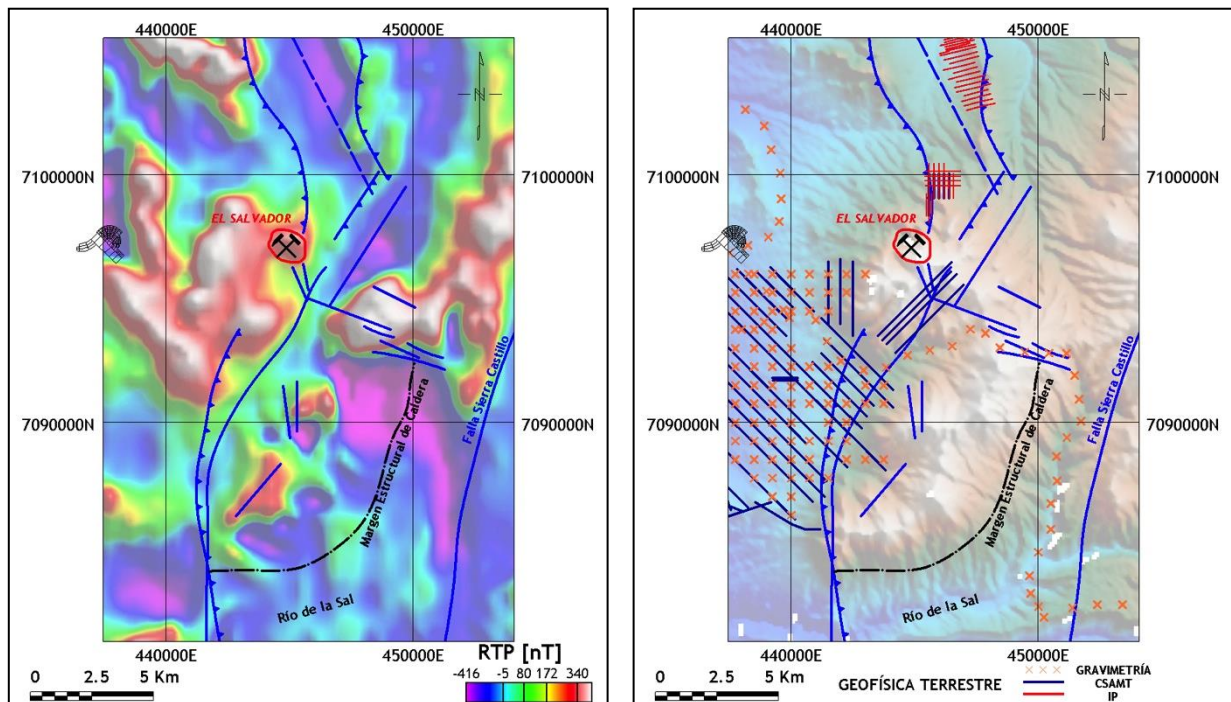


FIGURA 3: Lineamientos magnéticos y sistema de fallas regionales NNE e información de gravimetría terrestre sobre modelo de elevación digital. Fuente_ Rivera, O y Falcón M.F. (2000)

En el marco de la geología local, el sector de estudio se compone de diversas secuencia. Los principales tipos litológicos presente en el marco industrial del yacimiento corresponden a rocas volcánicas de composición andesitas intruidas por un complejo ígneo subvolcánico, de texturas y composiciones variables (rocas ácidas e intermedia) que pueden estar temporal y espacialmente asociadas con afloramientos de brechas ígneas-hidrotermales (W.Orquera 1998/M.Castro 2001).

De acuerdo a lo anterior, las unidades litológicas se pueden agrupar en tres grandes unidades:

- **Unidad Volcánica a Volcaniclástica**, compuesta por flujos lávicos, aglomerados, brechas y areniscas de composición andesítica; perteneciente a la Fm. Llanta (Cretácico Superior). Esta unidad constituye el basamento y/o roca huésped del emplazamiento del complejo ígneo hidrotermal, responsable de los fenómenos de alteración y mineralización hidrotermal, que caracterizan el distrito Indio Muerto. Las unidades piroclástica sobreyacen en discordancia angular a las unidades volcánicas, corresponden a rocas del Paleoceno relacionada a la caldera El Salvador, aflorando en el extremo sur y parte alta de QM (Quebrada M), conocido como O-Nose.
- **Unidad Roca Intrusiva**, representada por cuerpos subvolcánico de textura y composiciones variables (Riolitas, Dacitas, Granodiorita y Tonalita) responsable de los eventos de alteración y mineralización hipógena que caracterizan el yacimiento y que localmente se como intrusivos Riolitas, Pórfido X, Pórfido L, Pórfido Cuarcífero, Pórfido K, Pórfido A y filones Latíticos.
 - **Intrusivo Riolítico**: Cuerpo subvolcánico de disposición superficial cómica, emplazado en el extremo sureste y partes altas de QM (Quebrada M) y CC (Colina de Cobre).

Contiene fenocristales de feldespato alcalino inserto en una masa fundamental de cuarzo y feldespato alcalino. Presenta bandeamiento por flujo y textura de desvitrificación.

- **Pórfido Cuarcífero:** Aflora predominantemente en el sector sureste y este de los yacimiento QM y CC. Se presenta en forma de stock elongado-subvertical y de disposición anular (“ring-dike”), rodeando a los depósitos mencionados. En otros sectores se presenta como interdigitaciones menores. Presenta fenocristales de plagioclasas, biotita y cuarzo, inmersos en una masa fundamental fina y granular constituida por cuarzo y feldespato potásico.
- **Pórfido X:** Corresponde a uno de los principales tipos litológicos productores de la mineralización sulfurada hipógena, que caracterizan al yacimiento principal. Sus afloramientos se distribuyen en el extremo sur y la parta alta de QM. Presenta textura equigranular fina o porfírica con escasos fenocristales de plagioclasas inserto en una masa fundamental granular fina; constituida por cuarzo y feldespato potásico.
- **Pórfido L:** Este tipo de roca subvolcánica, constituye uno de los principales afloramiento, donde se emplazan los depósitos mineralizado de QM y CC. Su disposición ocurre en forma de stock elongado de orientación aproximada noreste, cuyos afloramientos se distribuyen en la pared sur-sureste de QM y en el límite oeste y suroeste de CC. Formado por fenocristales de plagioclasas, cuarzo, biotita y hornblenda; inmersos en una masa fundamental fina de cuarzo feldespato. Presenta variaciones en la proporción de masa fundamental y fenocristales.
- **Pórfido A:** Intrusivo filoniano subvertical de potencia no mayor a 5 metros, que aflora intruyendo al Pórfido Cuarcífero en el codo suroeste del rajo QM. Su disposición es de orientación aproximada NW-SE. Posee fenocristales de plagioclasas, hornblenda, cuarzo y biotita; inserto e una masa fundamental constituida por microlitos de plagioclasas, biotita, cuarzo y magnetita. Esta unidad presenta escasa vetillas A y B y moderada cantidad de vetillas D.

- **Pórfido K:** Esta unidad intruyen a las facies tempranas de Pórfido X y Andesita de la Fm. Llanta, produciendo una intensa biotitización de estas. Las especies poco alteradas contienen fenocristales euhedrales de plagioclasa, “book” de biotita y, localmente, fenocristales subredondeados de cuarzo distribuidos en una masa fundamental equigranular de cuarzo subredondeados y feldespato alcalino, biotita y óxido de Fe-Ti como minerales accesorios.
- **Filones Latítico:** Sus afloramientos están representado por una serie de filones de color gris claro y espesor métrico que se distribuyen y disponen con orientación NW-SE, intruyendo a todos los tipos de rocas (volcánica, intrusivos y brechas). Posee textura porfídica con fenocristales de plagioclasas inmersos en una masa fundamental formada por microlitos de plagioclasas, anfíbolos, cuarzo y feldespato potásico.

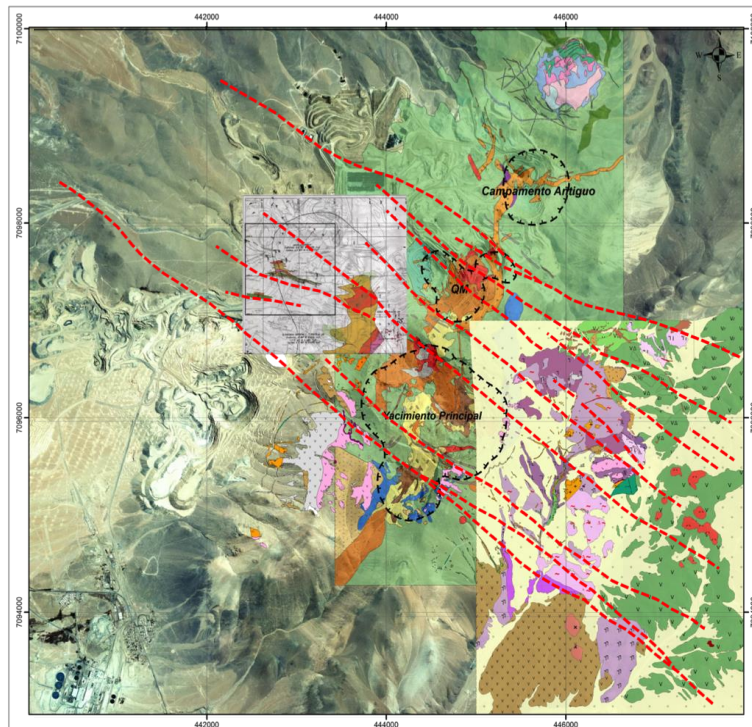


FIGURA 4: Controles litológicos y estructural de El Salvador. Fuente _ Modelo Estratégico de exploración DSAL_EMSA 2016.

6.2 Zona Mineral

Esta es una descripción general del orden que los minerales de cobre y otros se hallan en diversos yacimientos tipo pórfidos Cu-Mo.

- **Lixiviado**

Minerales residuales de Fierro, producto de oxidación de sulfuros primarios. Es la parte más cercana de la superficie, allí donde la acción del oxígeno y el agua de las lluvias son más intensas. También se denomina “Sombrero de Fierro” por la presencia de limonitas (Hematita, Goethita y Jarosita) y otros óxidos de ese metal.

- **Óxidos**

Óxidos secundarios de cobre, sulfatos y otros minerales hidratados. Turquesa, Brochantita, Cuprita, etc. Se mezcla con la zona de lixiviación, levemente más debajo de la superficie. Puede contener altas leyes de Cobre oxidado. Los minerales de cobre pueden ser producto de oxidación y otras reacciones químicas insitu o de precipitación de soluciones descendentes, con cobre disuelto en ácidos.

- **Sulfuros Supérgenos o Secundarios**

Calcosina (Cu_2S), Covelina (CuS), Cobre Nativo. En su contacto superior con la zona de óxidos puede formar una “Zona Mixta”. Los sulfuros de cobre se forman por precipitación a partir de las soluciones descendentes en la zona de aguas subterráneas. Allí, existe un ambiente pobre en oxígeno y en ácidos, lo que genera sulfuros de enriquecimiento en Cobre. En los casos en que las precipitaciones de mineral de cobre son abundantes, se forma un “Cuerpo de Enriquecimiento Secundario”.

- **Zona Primaria_Sulfuros Primarios**

Sulfuros de Fierro y Cobre primarios: Calcopirita (Cu Fe S_2), Bornita (Cu_5FeS_4), Enargita ($3\text{Cu}_2\text{S As}_2\text{S}_5$). Esta zona representa en los yacimientos, la mineralización original, que se ha formado junto con la roca, o en condiciones de ambiente hidrotermal antes del

enriquecimiento secundario y oxidación. Al comienzo ha estado extendida a lo largo de toda la columna vertical, pero ha sido transformada en las zonas expuestas más arriba por los diversos fenómenos descritos.

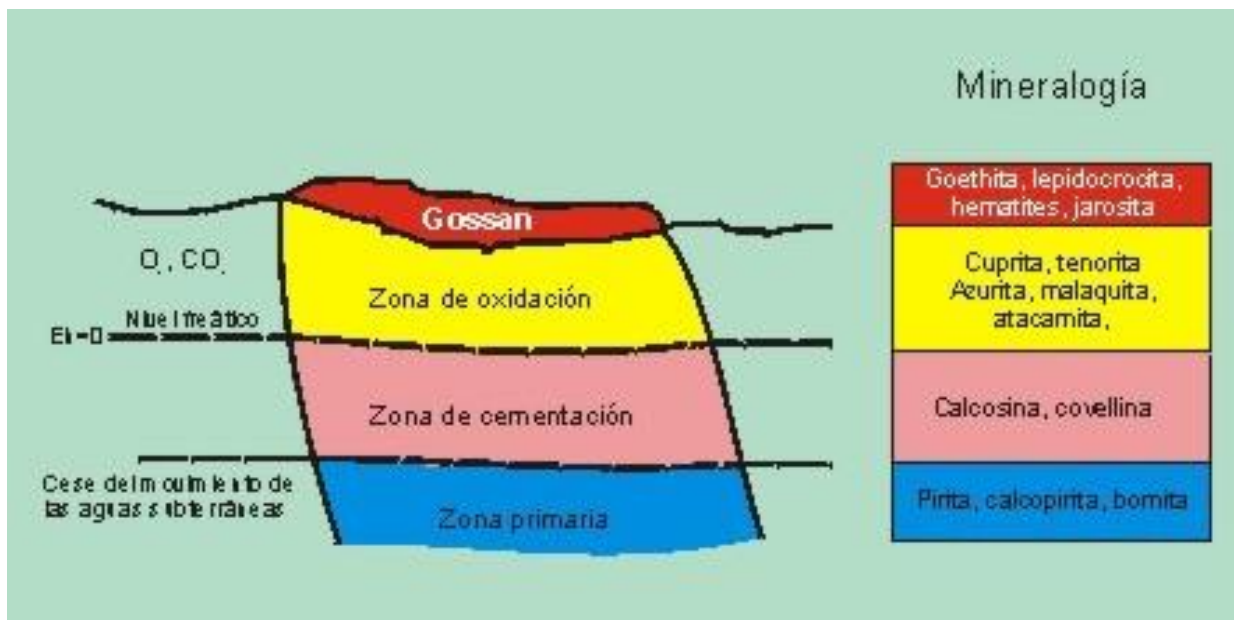


FIGURA 5: Zona Mineral Yacimientos Cu-Mo, Fuente: Google Internet

6.3 Parámetros que conforman un Modelo Geominerometalúrgico.

Un modelo es una representación de la naturaleza, y su finalidad es sintetizar las características principales y esenciales de ella. Por tanto, según sus parámetros que la conforman, se traza una representación bidimensional o tridimensional de un volumen rocoso, el cual puede representar diferentes características geológicas, como, por ejemplo: litología, estructuras, mena, alteración u otra. Particularmente reúne de manera ordenada y sistemática los atributos de una clase de depósito minerales.

Existen dos tipos de modelos; un modelo conceptual y un modelo empírico. El primero está basado en conceptos teóricos, donde se muestran procesos genéticos que dan origen a las entidades geológica, sus atributos están interrelacionados a través de un concepto fundamental, ejemplo de ello el modelo clásico de formación de los Pórfidos Cupríferos; donde sus variables claves a considerar son: el ambiente tectónico, el sistema de estructuras, el magmatismo asociado y la profundidad del emplazamiento. Por su parte, el modelo empírico está basado en las observaciones prácticas de un depósito de mineral, en cuyo caso los atributos se reconocen como esenciales pero sus relaciones se desconocen.

En este caso se analizará el modelo geológico desde el punto de vista de proyectos mineros, donde se mostrará la evolución natural desde un modelo conceptual a un modelo geominerometalúrgico, en el cual su nivel de detalle estará dado por la etapa de desarrollo del mismo y los niveles de certeza o riesgo esperados para cada una.

El modelamiento geológico consiste en un proceso dividido fundamentalmente en tres etapas:

- a) Captura de la Información
- b) Interpretación de la Información
- c) Formulación del Modelo

El primer paso para la realización de un modelo geológico es la captura de datos, esta etapa viene dada en un comienzo por la recopilación de información, esta incluye; mapeo a gran escala, mapeo de detalle, aerofotografía, imagen satelital, etc.; permitiendo con estos datos el desarrollo de un Modelo Conceptual y a su vez identificar blancos de exploración los cuales corresponden a un lugar geométrico, específico y acotado, donde las características presente pueda ser objeto de exploración por sondajes (Scouting)

La siguiente etapa corresponde confirmar la existencia de mineralización metálica y para ello se realizan estudios de mayor detalle, lo que permite aumentar la precisión (Desarrollo Malla Sondajes).

Basado en la precisión de la información obtenida en la etapa anterior, se generan trabajos de mayor certidumbre con el objetivo de afinar y sustentar el modelo. De esta manera se realizan diferentes modelos enfocado en el mismo depósito, como por ejemplo; Modelos Geotécnico, Modelo de Estimación de Recursos y Modelo Geometalúrgicos.

- Modelo Geotécnico busca definir: Unidades Geomecánicas, a través de una clasificación del macizo rocoso, mediante diversos parámetros: RQD (*Rock Quality Designation*), FF (*Frecuencia de Fracturas*), IRS (*Intact Rock Strength*), y la realización de ensayos de resistencia (Uniaxial y Triaxial) y análisis de fallas y estructuras.
- Modelo de Estimación de Recursos se busca la definición de las Unidades de Estimación por elemento y caracterización, delimitado por sus bordes duros así como la realización de cálculos estadísticos: Medias, Desviaciones, Variogramas y Varianzas. Asignando de esta manera leyes a bloques de mineral (Kriging).
- Modelo Geometalúrgico define las unidades según procesos de recuperación de metales, pruebas pilotos, estudios de representatividad, consumos y extracciones.

Todos estos modelos deben ser coherentes entre ellos, para que de esta manera, se pueda generar un modelo geológico integrado en cual al considerar aspecto minero-metalúrgicos puede ser denominado “Modelo Geominerometalúrgico).

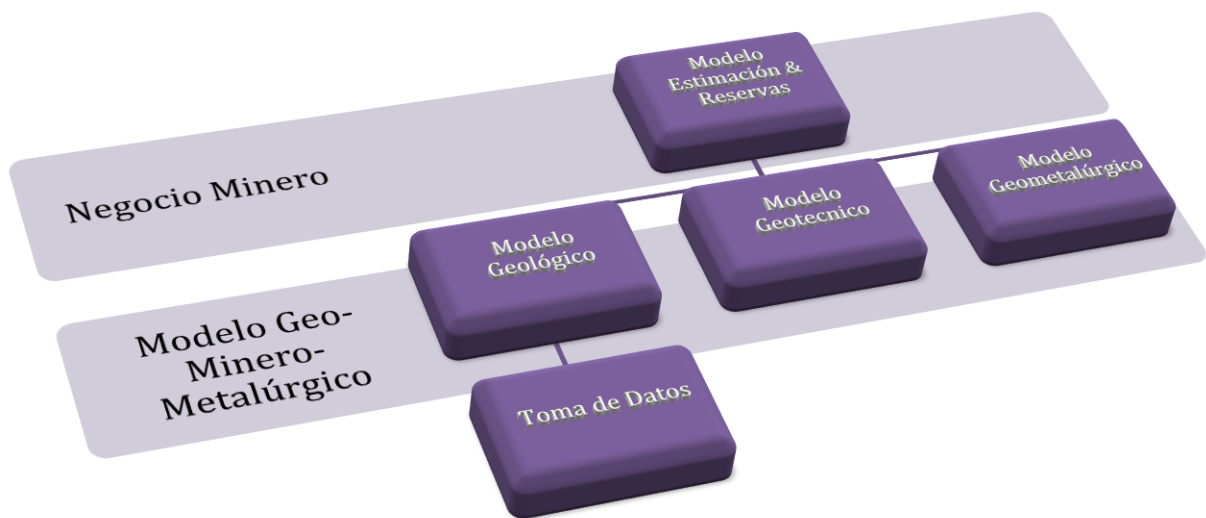


FIGURA 6: Parámetros base Modelo Geominerometalúrgico. Fuente_ Elaboración Propia

Este Modelo Geo-Minero-Metalúrgico basa su realización, contenido, certidumbre, incertidumbre y errores en los datos y/o muestras recogidas por los profesionales a cargo en su elaboración, es por ello que deben someterse a un proceso de control de calidad o QA/QC al momento de su obtención y análisis, ya que la no representatividad de la información implicará poca validez y con ello, **la destrucción del valor del activo.**

Proceso de Recursos a Reservas

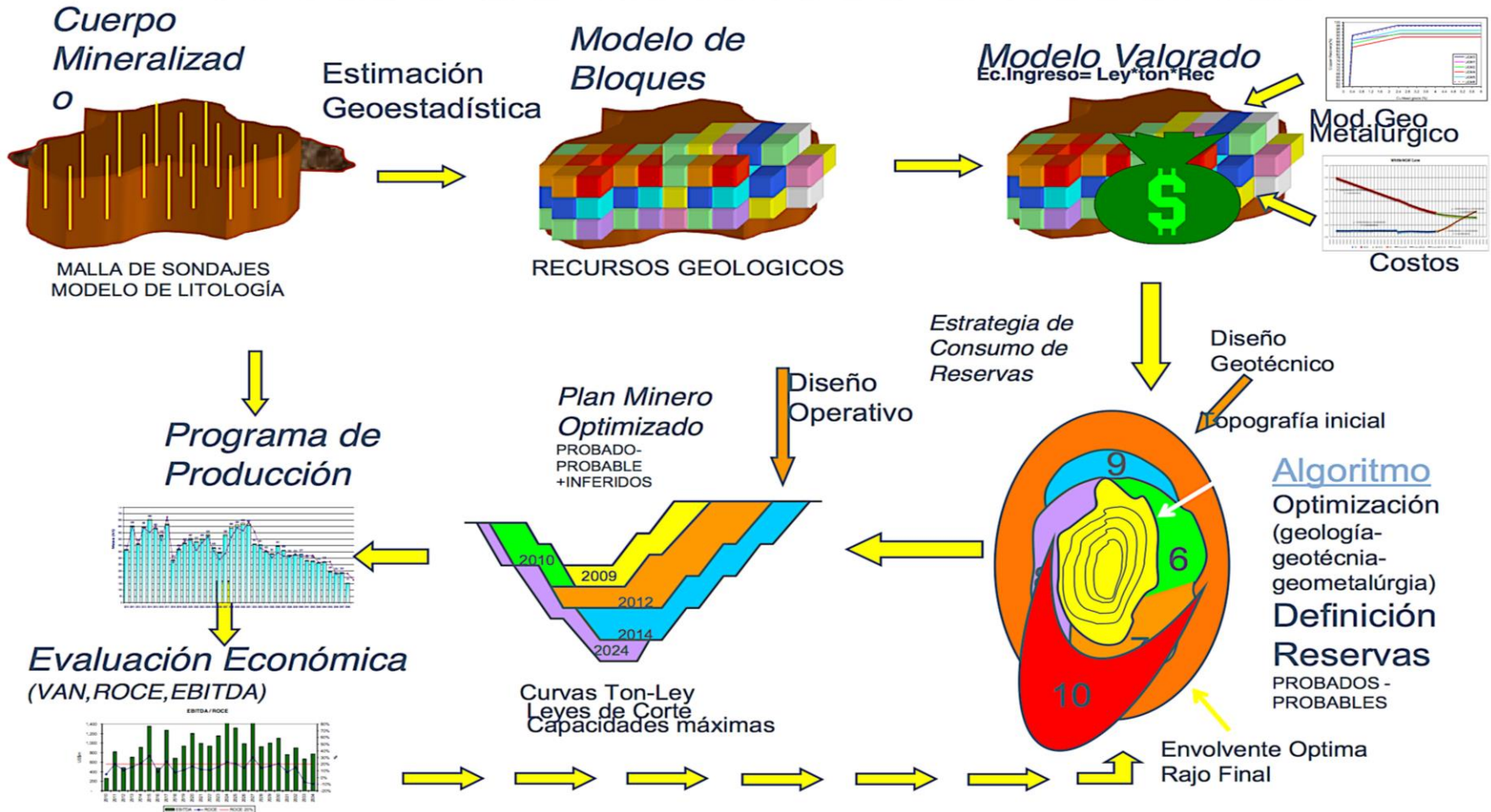


FIGURA 7: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016

6.3.1 Proceso QA/QC Para Poblar Una Base Dato Geominerometalúrgico.

El acrónimo QA/QC “Quality Assurance/Quality Control” en termino general se refiere a la Garantía de Calidad de todas las actividades planificadas y sistemáticas aplicadas en un sistema de calidad que pueda demostrar o crear confianza en que un producto o servicio satisfará los requisitos de calidad.

Basado en estos argumentos es necesario asegurar dicha calidad en las técnicas operacionales y actividades utilizadas en la gran minería; a través de buenas practicas o procedimientos para la toma, registro, mapeo y preparación de muestras que aseguren los estándares preestablecidos de precisión y exactitud.

Los controles de calidad implica procedimientos tales como elección de laboratorio, análisis de duplicados, duplicados de terreno, blancos, estándares, control granulométrico, etc., que permiten controlar que los estándares en los procedimientos se mantienen en el tiempo.

QA	QC
Se diseña y definen los parámetros de aceptación de la calidad del muestreo	Se controla el comportamiento de cada etapa relevante del proceso de muestreo
Es un sistema preventivo de fallos que predice el funcionamiento y normas de calidad en un proceso de muestreo	Se ejecutan duplicados, materiales de referencia controles granulométricos y se corrigen fallos
QA esta presente desde el diseño, programación y presupuestación de una campaña de muestreo	QC se aplica en el desarrollo del proceso en cada producto o etapa intermedia y final del muestreo
QA está orientado al Proceso	QC está orientado al Producto

Aplicación del QA/QC en Geociencias

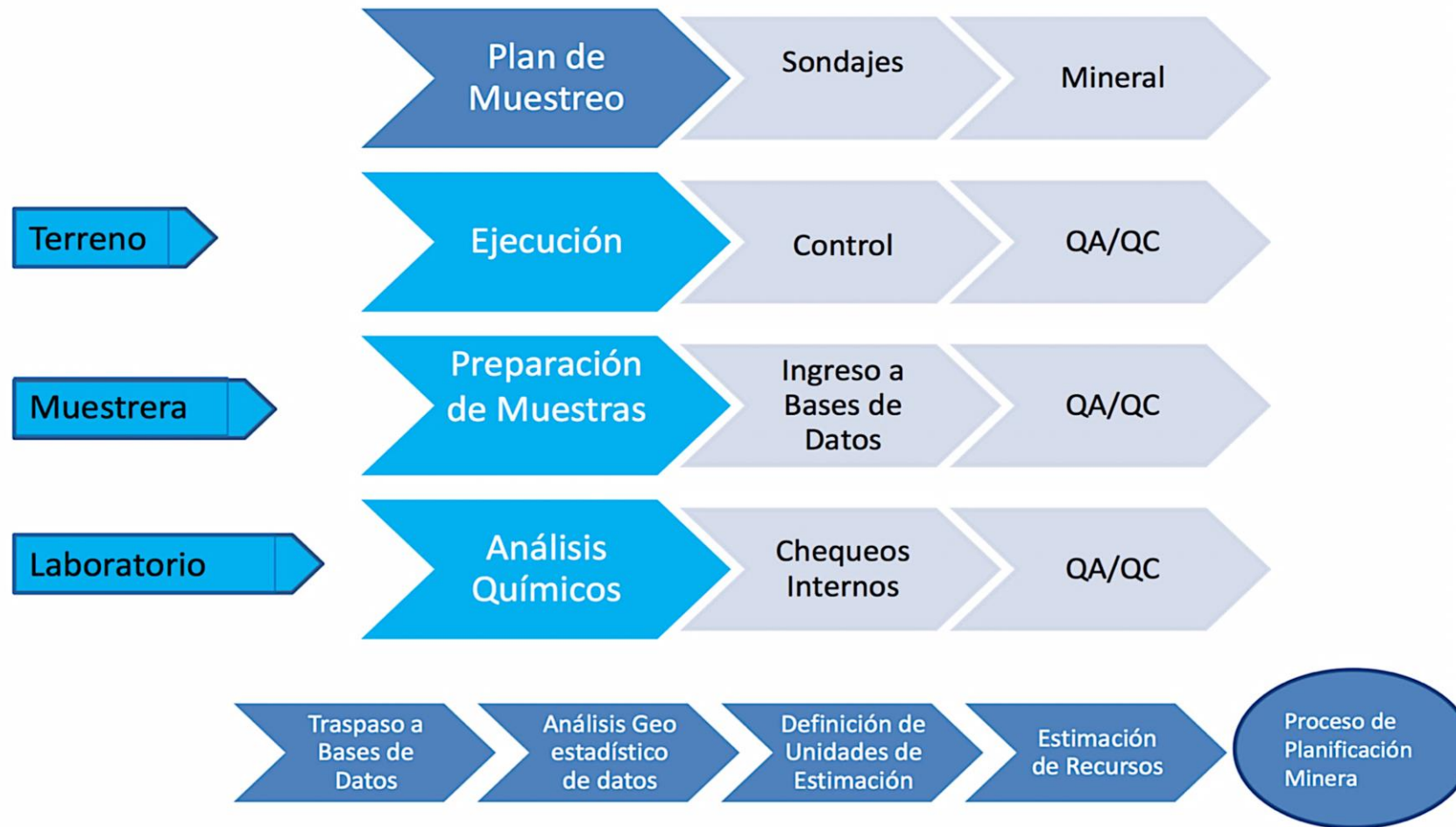


FIGURA 8: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016.

EL MUESTREO EN LA CADENA DE VALOR DEL NEGOCIO MINERO

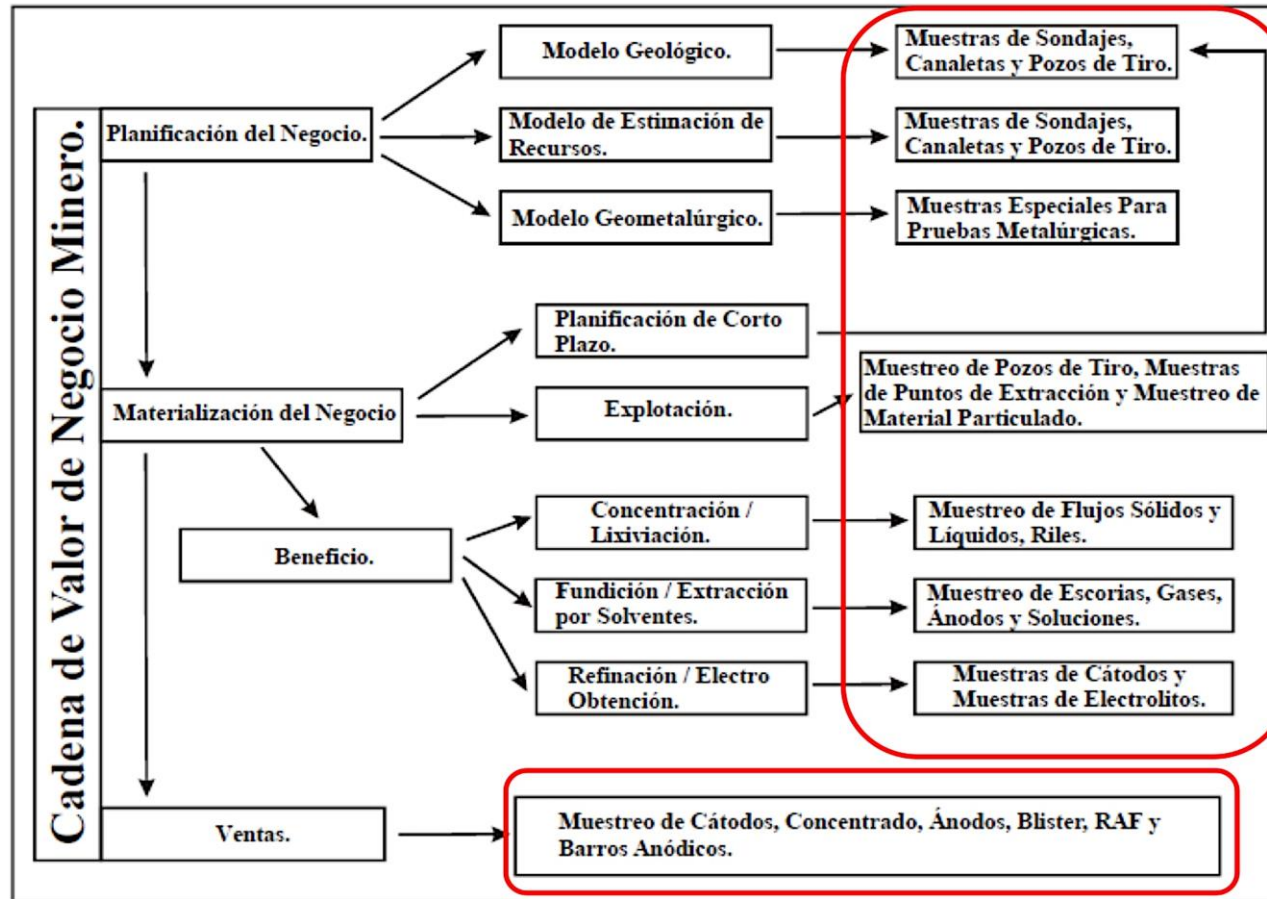


FIGURA 9: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016

La importancia y el rol que cumple el QA/QC en el negocio minero, siendo bien usado puede constituir una garantía de prevención de pérdidas económica en la cadena del valor del proceso minero. El muestreo incorrecto genera pérdidas ocultas que no aparecen en los cálculos de VAN o en la contabilidad y por lo tanto, la alta dirección no puede tomar conciencia de ellos.

Los profesionales se concentran más en los efectos y no sobre las causas de los problemas (Ej.: prácticas de muestreo incorrecto, captura de datos o parámetros geológicos sesgados, etc.). Esta actitud muy oculta en la alta dirección crea pérdidas de tiempo, económica que daña el patrimonio contable de una compañía.

A veces las personas involucradas no comprenden en profundidad las fuentes de la variabilidad de los procesos de minería, siendo difícil estimar su impacto económico. La revisión y/o auditoría sistemática de los procesos de muestreo de roca a cátodo relacionado tanto en operaciones como proyectos es estrictamente necesaria.

La industria minera tiene una magnífica oportunidad de aumentar su rendimiento económico mediante el descubrimiento de las pérdidas ocultas. Esto se puede hacer mediante la aplicación de los principios de la teoría del muestreo, estadísticas y pensamiento estadístico de procesos eficaces, fomentado por el trabajo de expertos múltiples, alineados con los objetivos principales de la empresa minera.

6.4 Factores Críticos En La Industria Minera

Basado en la experiencia y los datos históricos, es frecuente que los problemas comienzan en los estudios tempranos de ingeniería, incluso antes de la construcción. La figura adjunta muestra la frecuencia en qué áreas claves de los estudios causan desviaciones importantes.

Área en Problema	Frecuencia
Geología, Estimación de Recursos y Reservas	17%
Análisis Geotécnico	9%
Diseño y Planificación Minera	32%
Selección de Equipos Mineros	4%
Pruebas Metalúrgicas, Muestreo y Escalamiento	15%
Diseño de Planta de Procesamiento	12%
Estimación de Costos	7%
Hydrología	4%

Fuente: McCarthy, Peter. “Why Feasibility Studies FAIL”, AusIMM Melbourne Branch, 2013

FIGURA 10: Factores críticos en Minería. Fuente _ Datos tomados “Why Feasibility Studies FAIL”, autor McCarthy.P. 2013.

Factores Críticos en Minería

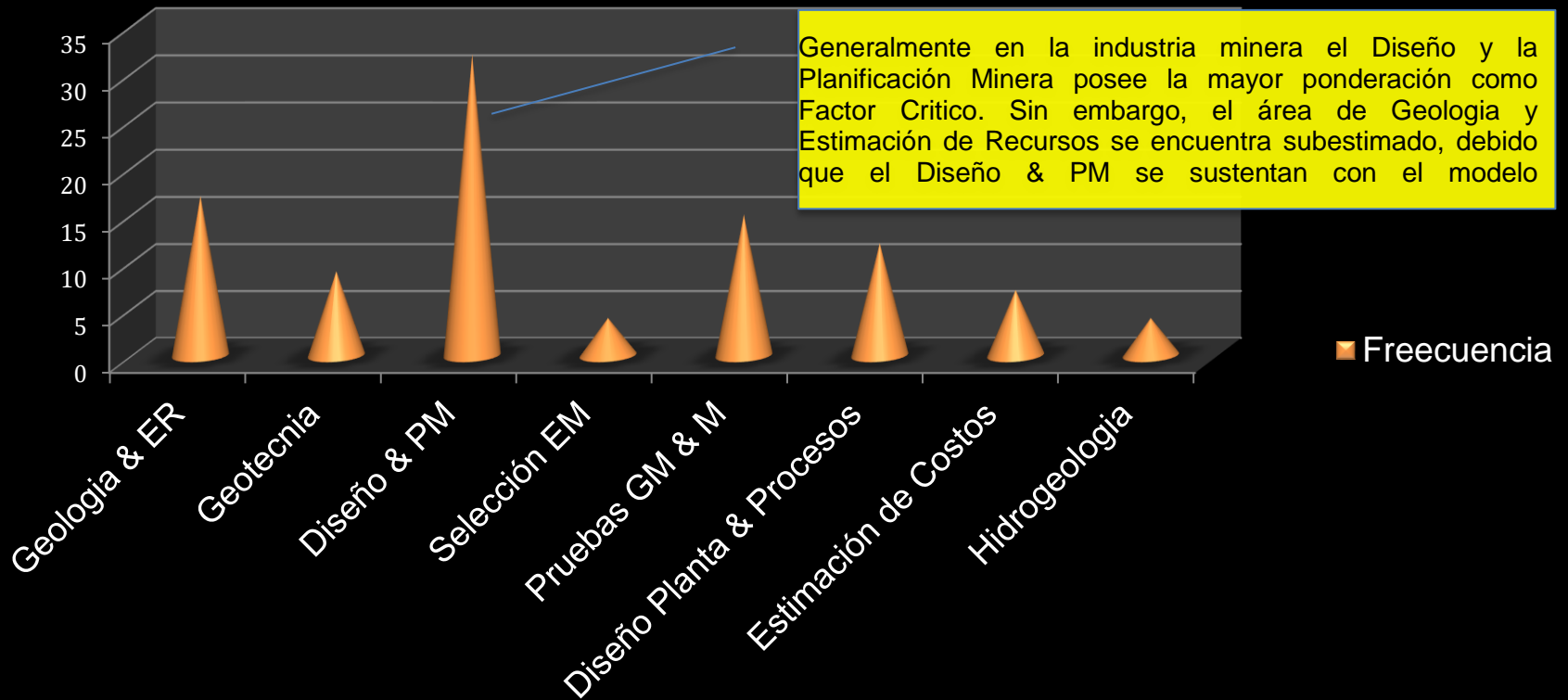


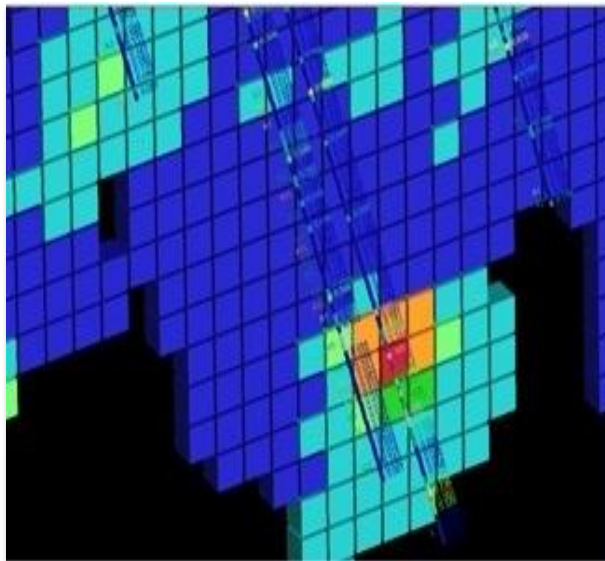
FIGURA 11: Gráfica piramidal sobre los Factores críticos en Minería. Fuente _ Datos tomados "Why Feasibility Studies FAIL", autor McCarthy.P

6.5 Impacto Financiero.

Todo proyecto minero debe ser financiado con el fin obtener resultados (Retorno Cartera a los Inversionistas). Por ende, la cadena de valor del negocio minero debe ser comprendido desde sus inicios; donde la exploración juega un rol crucial y preponderante en la gestión del modelo y la incertidumbre que esconde los datos en un depósito. Por ende, es deber de todo gerente o las más altas instancia ejecutiva, comprender la importancia que esconde cada parámetro en un modelo geológico, su gestión debe ser clara en su fase inicial, pues ella comprime información sobre los costos asociados y la calidad de la información geológica (Modelo Bloque 15x15x15 m); que a futuro impactan en el diseño y construcción de una mina o la fase de expansión de si misma.

Estos parámetros agregan valor a la cartera, rentabilizando la producción y sus reservas; transacción que se valoriza en el mercado de los commodities.

- **Componente asociado a cada bloque del Modelo**

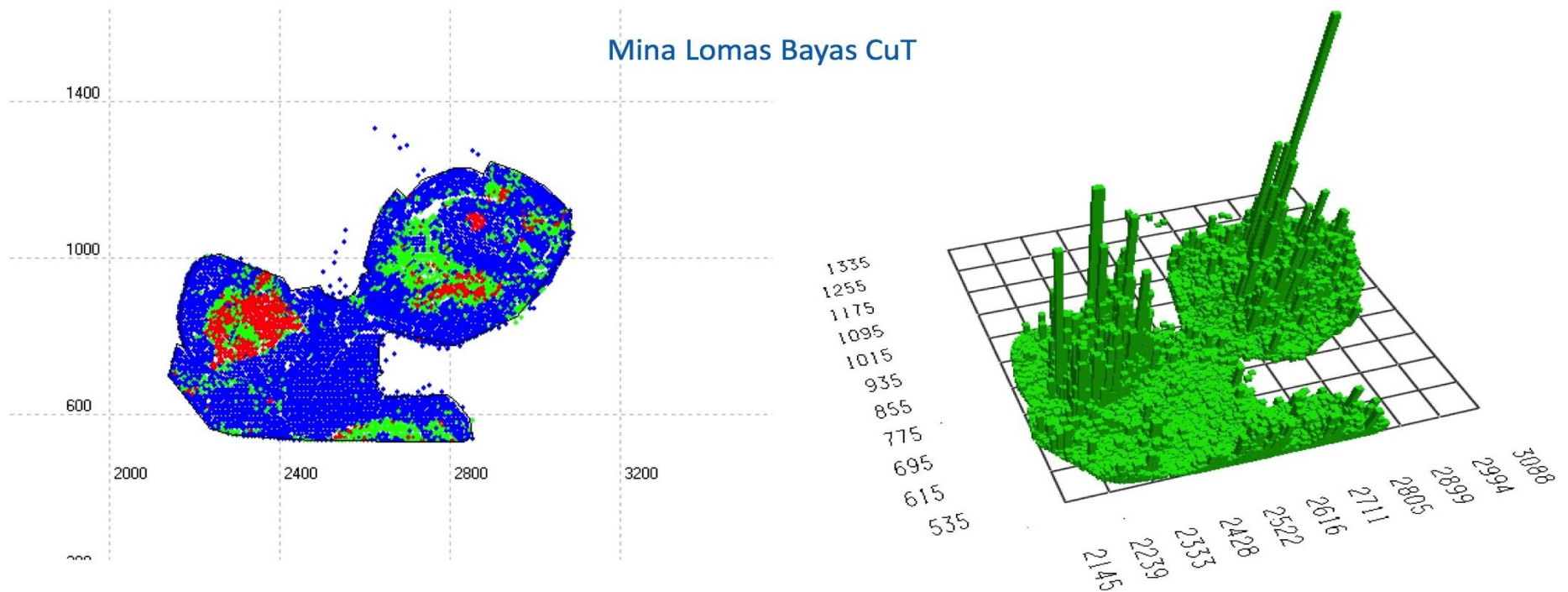


Geológico
Geotécnico
Metalúrgico
QA/QC
Estimación y Reserva
Diseño Minero
Plantas & Procesos
Equipos
Venta & Exportación

FIGURA 12: Representación esquemática Modelo Bloque Minero. Fuente: Leapfrog 3D-EMSA, 2016.

Acerca de la variabilidad de las leyes

En general la variabilidad es decir la dispersión de las leyes no es constante dentro de un mismo depósito



Efecto proporcional de las leyes: a mayor ley media, mayor variabilidad

FIGURA 13: Aplicación QA/QC en Geociencias _ Fuente Seminario Recursos, Reservas y Planes Minero, abril 2016.

Para comprender en detalle sobre este punto, se desglosa en forma atomizada un ejemplo sobre los costos asociado para una campaña de sondaje diamantino de 18.300 m HQ, cuyo objetivo es generar la trazabilidad de la información, desarrollo y viabilidad en un modelo geominerometalúrgico en el corto plazo (5 años). Cabe destacar que los costos aumentan a medida que las campañas abarcan una malla de mayor densidad de sondajes.

API CAPTURA			
Tabla 0			
PLAN DE CUENTAS & PRESUPUESTO GLOBAL			
			US\$ Moneda Base 2016
COSTOS DIRECTOS			11.098.379
Costos Materiales y Componentes			1.068.135 Tabla 1
Costos Ingeniería			10.030.244
Geología			7.380.407
CDUG	Costos del Dueño Geología		1.389.104 Tabla 3
CARA	Serv. Geológicos		806.882 Tabla 3
MINE	Serv. Caracterización Mineralógica Geología		11.349 Tabla 4
PERF	SONDAJES GEOLÓGICOS - GEOMETALÚRGICOS RAJO INCA 37KTPD (8.720 m Ø HQ)		1.596.177 Tabla 5
PERF	SONDAJES DE CONDENACIÓN Y DELINEACIÓN RAJO INCA 37KTPD (3.550 Ø HQ)		638.821 Tabla 5
PERF	SONDAJES SUPERFICIE Aire Reverso (AR recuperacion muestra con entubación en quebrado)		649.514 Tabla 5
PERF	SONDAJES GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS - GEOMETALÚRGICOS RAJO INCA 37KTPD (5.830 m Ø HQ3)		1.074.472 Tabla 5
TRAY	Serv. Medición de Trayectoria		132.706 Tabla 6
AQCO	Serv. Preparación de Muestras y Análisis Químicos		665.730 Tabla 6
COSO	Serv. Complementarios Sondajes		415.653 Tabla 6
Geometalurgia			554.395
PERF	SONDAJES METALÚRGICOS RAJO INCA 37KTPD (2.690 Ø PQ)		554.395 Tabla 5
Geotecnia			531.992
PERF	SONDAJES GEOTÉCNICOS - GEOFÍSICOS RAJO INCA 37KTPD (Ø HQ3)		531.992 Tabla 5
Solicitudes Fuera de Contrato			1.563.449
GEOLOGÍA			
CDUG	Costos del Dueño Geología		194.310 Tabla 7
CARAG	Serv. Geológicos		585.491 Tabla 7
GEOTECNIA			
CDUGT	Costos del Dueño Geotécnia		127.340 Tabla 9
CARAGT	Serv. Geotécnicos		84.800 Tabla 7
METALURGIA			
CDUM	Costos del Dueño Metalurgia		77.031 Tabla 7
CARAM	Serv. Metalúrgicos		9.958 Tabla 7
HIDROGEOLOGÍA			
CDUH	Costos del Dueño Hidrogeología		207.013 Tabla 7
CARAH	Serv. Hidrogeológicos		0 Tabla 7
SUSTENTABILIDAD			
CDUS	Costos del Dueño Sustentabilidad		0 Tabla 7
CARAS	Serv. Sustentabilidad		127.747 Tabla 7
COSTOS OTROS COMPONENTES			
CDUGL	Costos del Dueño		0 Tabla 7
CARAGL	Servicios		149.761 Tabla 7
COSTOS INDIRECTOS			706.280
Costos del Dueño			
	Serv. Compartidos Contratos (5% monto contratos)		401.772
	Serv. Compartidos Compras (5% monto compras)		53.407
	SSO (2% monto PERF)		100.907
	ADM (1% monto PERF)		50.454
	Fee (5 % sobre costos del dueño)		99.740
CONTINGENCIAS			0 Tabla VEB
PRESUPUESTO TOTAL US\$			11.804.659
Tasa de Cambio (\$/USD)			714,0
Se ha considerado el 100% del Ppto en Moneda Nacional			

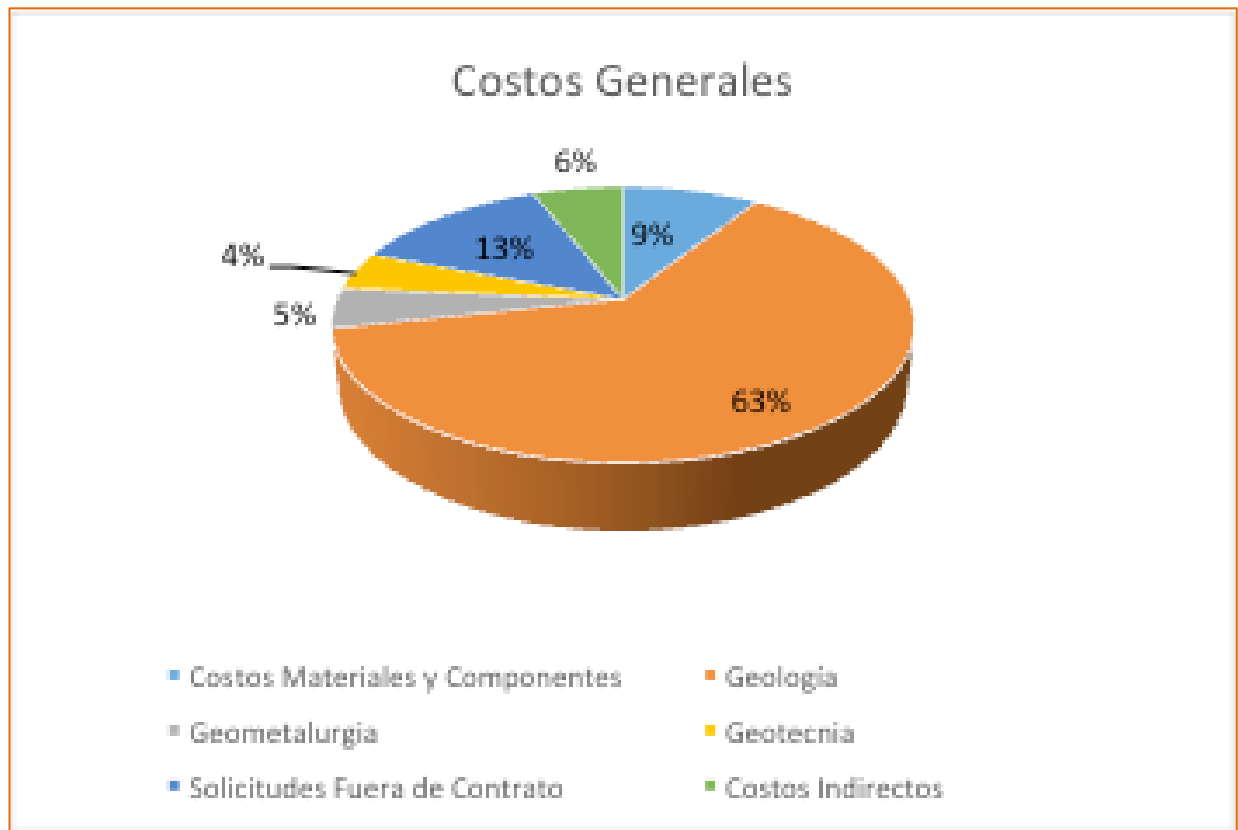
FIGURA 14: Recuadro general sobre costos asociados a una campaña sondaje diamantina DSAL. Fuente _ Inversión Proyecto Rajo Inca, EMSA 2016.

La importancia sobre los costos asociados en el presente ejemplo, visualiza en forma parcial cada uno de los ítems involucrado en el desarrollo operacional del modelo, resaltando no solo el rol que se debe tener en la gestión de costos, sino que resaltar la importancia en la captura y calidad de los datos asociados (Sondajes y Geología).

- **Costos Generales _ Campaña HQ (18.300 m)**

Costos Materiales y Componentes	1.068.135
Geología	7.380.407
Geometalurgia	554.395
Geotecnia	531.992
Solicitudes Fuera de Contrato	1.563.449
Costos Indirectos	706.280
PRESUPUESTO TOTAL US\$	11.804.659

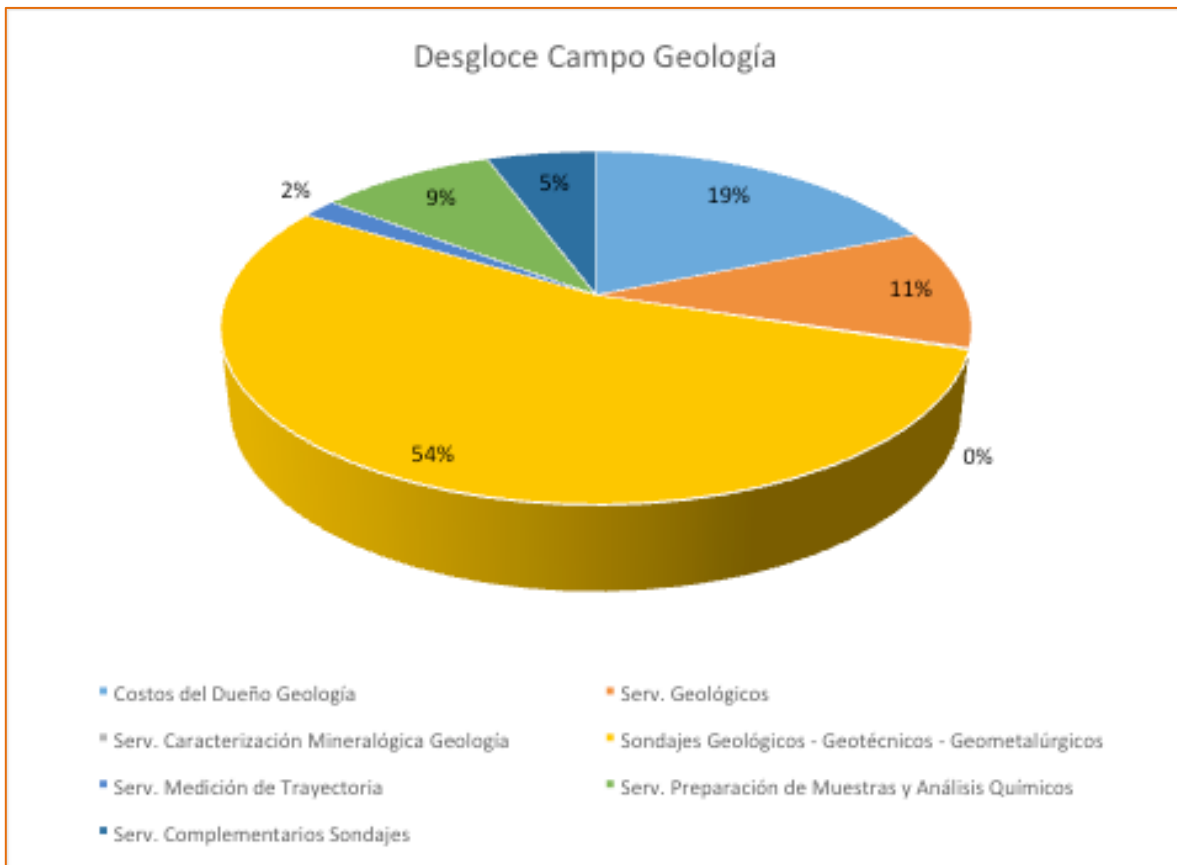
- **Representación Gráfica _ Costos Generales**



- **Desgloce Costo Geología**

Costos del Dueño Geología	1.389.104
Serv. Geológicos	806.882
Serv. Caracterización Mineralógica Geología	11.349
Sondajes Geológicos - Geotécnicos - Geometalúrgic	3.958.983
Serv. Medición de Trayectoria	132.706
Serv. Preparación de Muestras y Análisis Químicos	665.730
Serv. Complementarios Sondajes	415.653

- **Representación Gráfica _ Costos Geología**



Gran parte de la inversión del proyecto está focalizado en el ítem de Geología, representando un 63% del costo asociado. Su Desglose parcial, observamos que la inversión directa se encuentra distribuida en tres subcapas.

ITEM	Monto U\$ (Millones)	%
Sondajes Geológico-Geotécnico-Geometalúrgico	≅ 4	54
Servicios Geológicos	≅ 1	11
Análisis Químico	≅ 0,5	9

(*) Los costos del Dueño de Geología, es otro campo no menor y se refiere a las instalaciones entregadas por el cliente.

Por ende, toda la actividad se encuentra concentrada en los procesos, que de alguna manera están ligados con la captura de la información, representada como testigo de sondaje y/o análisis de logueo, enfocado en la captura de los parámetros geológicos (Litología, Alteración, Estructuras, Menas, Zona Mineral, Pisos, Techos y Análisis Químico).

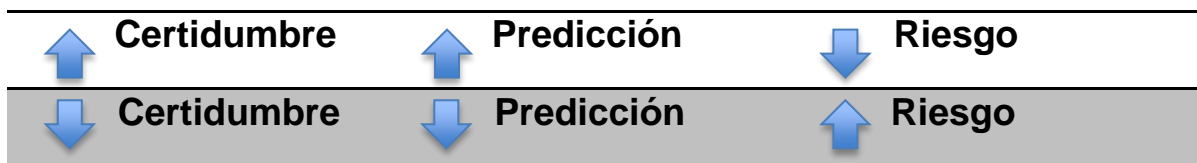
El conocimiento del depósito, los procedimientos de perforación de sondajes, aseguramiento y control de calidad de la determinación de las leyes y el mapeo geológico son actividades críticas y relevante que soportan la definición de la continuidad del yacimiento (**Factores Modificantes**)

Factores Modificantes	Componentes
Mineros	Método de Explotación Optimización del Pit Evaluación de Bloque Ley de Corte Parámetros Geotécnicos Dilución y Rec. Minera Rec. Inferidos en el Plan Requerimiento de Infraestructura del Método
Metalúrgicos	Proceso Metalúrgico Propuesto Tipo, Cantidad y Representatividad de muestras y pruebas metalúrgicas Consideraciones de elementos contaminantes Pruebas a escala piloto o industriales, escalamiento de resultados Modelos de recuperación metalúrgica Modelos Geometalúrgicos
Medio Ambientales y Sociales	Situación de Permisos MA Consultas a Comunidades Caracterización del Lastre y potencial de generación de ácido Ubicación de tranques de relaves impacto social y ambiental en Comunidades Acuerdos con partes interesadas
Costos e Ingresos	Supuestos relacionados con Ingresos Supuestos para la estimación de Capex y Opex Consideraciones para el pago de Royalties Costo de Cierre
Mercado	Oferta - Demanda y Nivel de Stocks Tendencias de Consumo Pronósticos de Precios
Económicos	Parámetros para Análisis Económico-Financiero Inflación estimada, tasa de descuentos análisis de Tributación fiscal Análisis de Sensibilidad
Otros	Factores de Riesgo naturales, de Infraestructura, MA, legales. Situación de Propiedad Minera, Servidumbres

FIGURA 15: Características de los Factores Modificantes _Fuente Comisión Minera 2014

La alta gerencia a veces se focaliza en los costos y oportunidades, resaltando aquellos servicios más económicos que el mercado minero posee (**Oferta Económica**) sin prestar atención a la calidad técnica que implica generar un bloque de estimación (**Oferta Técnica**). Más aún, fusionando estos dos elementos, la oferta económica más conveniente y su baja calidad técnica, tienden en su ejecución a generar los accidentes de trabajos, errores de muestreo y mala información geológica que, traducido en el tiempo el riesgo es mucho mayor. (**Aversión o Tolerancia al Riesgo**).

- **Aversión o Tolerancia al Riesgo**



Fuente _ Elaboración Propia

Es por ello que este proceso de roca a cátodo (Cadena de Valor de la Minería) debe ser entendida en su plenitud. Los ejecutivos sólo conocen una parte del negocio (Cartera Valor Disgregada), estableciendo en su gestión parcelas de trabajos, desconectadas entre sí, sin discutir como equipo cada uno de los procesos que involucra la construcción de un modelo de bloque de estimación geominerometalúrgico, cuyas variables cambian en el tiempo del ciclo minero.

Diversos casos en la minería privada y estatal han fallado en estas decisiones, confiando en el valor entregado, creyendo dogmáticamente que es puro y real; en forma homogénea, lo cual escapa o está lejos de la realidad. **Es necesario comprender la cadena valor del negocio minero como un todo y no la suma separada de sus partes, puesto que el error de la información mal capturada aumenta en el tiempo, siendo cuestionado o no confiable la construcción del modelo geominerometalúrgico.**

- **CADENA DE VALOR DISGREGADA O SEPARADA**

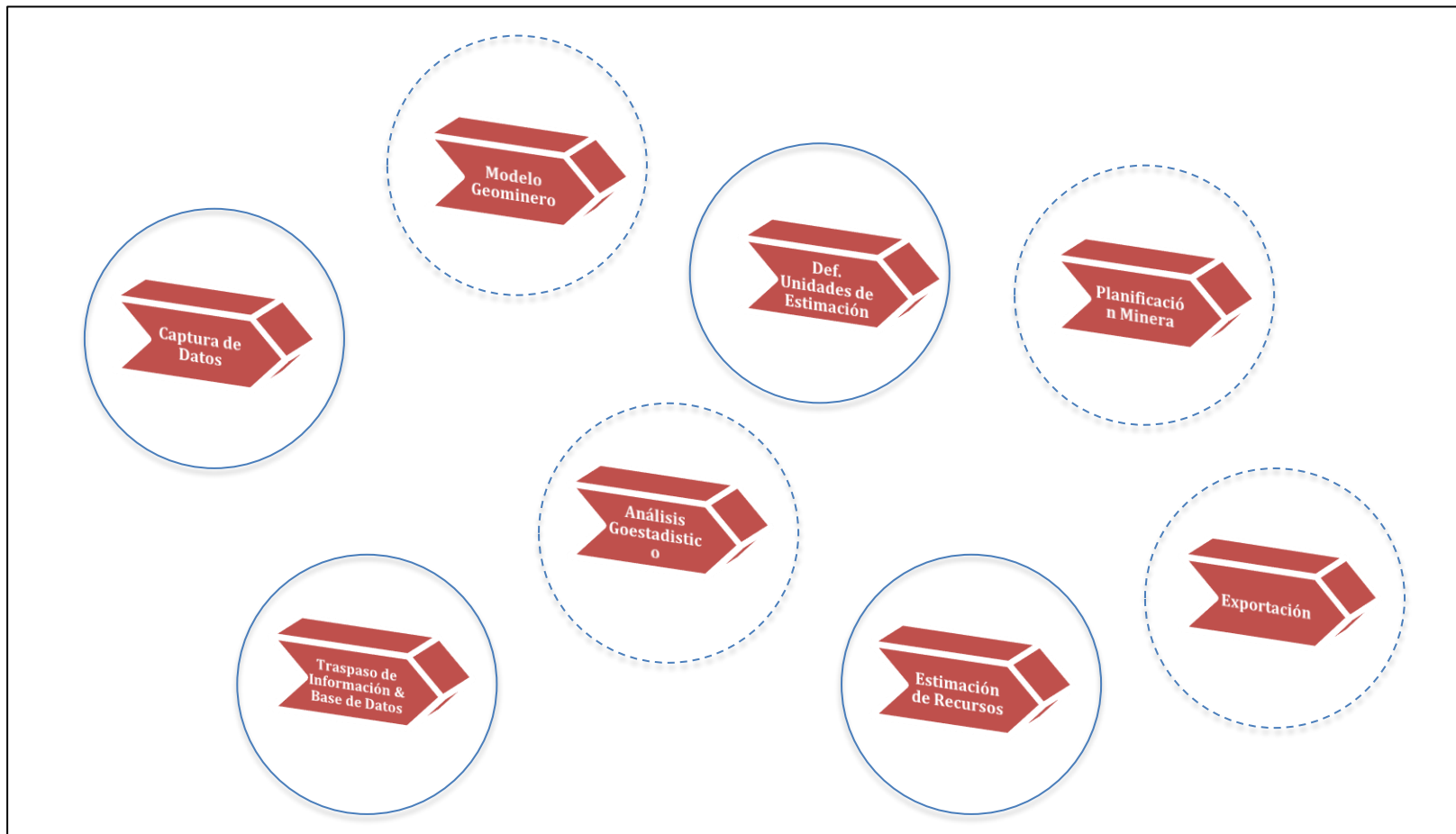


FIGURA 16: Visión disgregada de la cadena de valor del negocio Minero. Fuente _ Elaboración Propia

- **CADENA DE VALOR INTEGRAL**

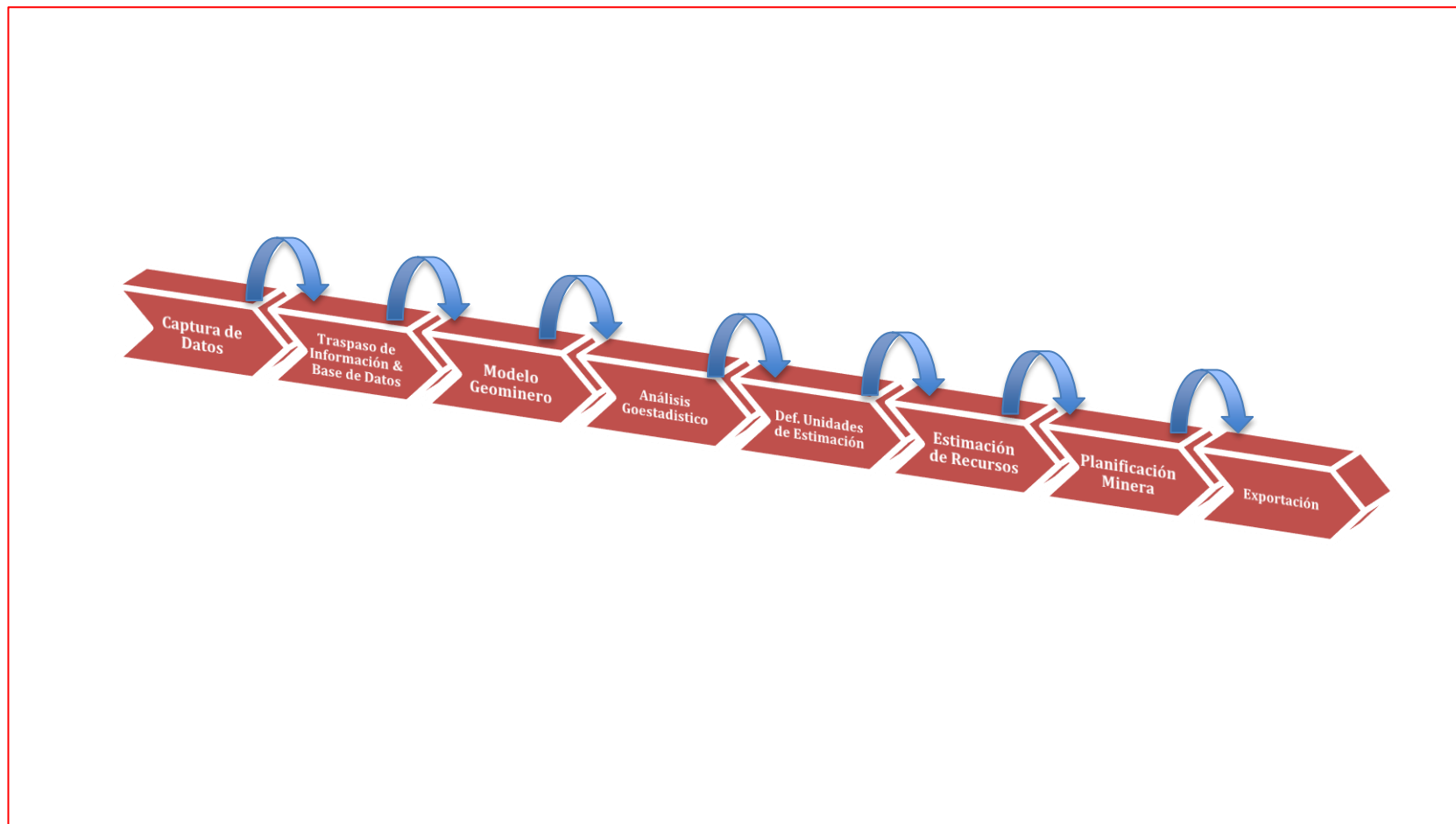


FIGURA 17: Visión integral de la cadena de valor del negocio Minero. Fuente _ Elaboración Propia

La siguiente figura adjunta, corresponde a un ejercicio desarrollado por un grupo de alumno de Ingeniería en Mina. En ella, se revela las diferencias sobre el cálculo de toneladas obtenidos sobre un panel de producción de 1 mes; todas ellas con interpretaciones diferentes.

Transformando estos resultados Máx y Min a un valor monetario, podemos visualizar la dimensión sobre el impacto de una rentabilidad de una producción.

Valor	Tonelaje	Ley	Recup. (%)	Total	Conversión Ton/Lb	Total, Lb	Bolsa (U\$)	Monto (MU\$)	Delta MU\$
(A)	(B)	(C)	(D)	(E: B*C*D)	(F)	(G: E*F)	(H)	(I)	(J)
Máx	16.376.949	0.008	0.85	111.363	2204,62	245.513.655	2	491.027.311	0
Min	12.780.658	0.008	0.85	86.909	2204,62	191.600.161	2	383.200.322	107.826.989

TABLA 1: Cálculo económico tonelaje/ley. Fuente: Ejercicio error de estimación curso Ing. Mina U. de Chile.

- Transformación en moneda nacional

Monto MU\$	Valor U\$/\$	Total (\$)
107.826.989	664	71.597.120.696

Con este valor bruto, sin impuesto y costo operacional, se podría adquirir lo siguiente:

- 477 Mercedes Benz de \$150.000.000.
- 333 Lamborghinis de \$215.250.000.
- 231 Rolls Royce de \$310.000.000.

Valores obtenidos para cada estudiante

Desviación estándar = 1,456,088 tons

Tons		Tons		Tons	
1	Albornoz Cristobal	15083051	17	Correa Javier	14841087
2	Ancaten Briams	13976948	18	Duran Carlos	14108462
3	Arancibia Esteban	16376949	19	Figueros Matias	12844543
4	Arancibia Francisca	13424912	20	Ibañez Javiera	16376949
5	Ayala Felipe	13988584	21	Ilabaca Matias	13646690
6	Barraza Nicolas	16057754	22	Jara Diego	14239324
7	Brajovic Manuel	16029000	23	Maturana Esteban	14453350
8	Bravo Juan	14904148	24	Merino Karime	13730917
9	Bravo Sebastian	14635508	25	Mowllo Felipe	14986810
10	Briceño Bastian	14055611	26	Moyano Pablo	15651995
11	Bustos Crithian	15799134	27	Navarro Felipe	15880693
12	Carretero Natalia	12780658	28	Nazar Javiera	15886884
13	Caviedes Bastian	14551733	29	Olmos Martin	14183832
14	Cazo Jean	16088826	30	Onell Nicolas	15720861
15	Chavez Thais	14693949	31	Osorio Hugo	15005383
16	Contreras Whitney	13303780	32	Perez Danay	13507886
			33	Perez Jose	13696302
			34	Puratic Goran	15518916
			35	Ramirez Brahiam	13106271
			36	Richards Dante	16088608
			37	Riquelme Christian	13454638
			38	Roco Omara	15011093
			39	Rojas Daniel	13439449
			40	Rozas Nicolas	13227318
			41	Salinas Hernan	13475048
			42	San Martin Pia	13459454
			43	Soto Valeria	13876317
			44	Tobar Boris	14223064
			45	Valencia Gabriela	13762874
			46	Valencia Juan	15340579
			47	Vargas Alexa	13931066
			48	Vasquez Javier	14189331
			49	Villanueva Lukas	14903623

Observar la importante presencia de mujeres.

Mínimo: 12,780,658 tons.

Máximo: 16,376,949 tons.

Rango: 3,596,291 tons.

Más de 1 mes
de producción
de esta mina

FIGURA 18: El error de la Estimación _Fuente Curso Geominero U. de Chile, Prof. Marco Antonio Alfaro, Doctor en Geoestadística.

- Caso diferencia cálculo tonelaje reservas en DSAL.

	DSAL		EMI-SA		
	Mton	CuT%	Mton	CuT%	Au ppm
In situ	1,931.0	0.39	1,982.5	0.38	0.21
quebrado	474.0	0.54	474.0	0.54	0.27
total	2,405.0	0.42	2,456.5	0.41	0.23

DSAL

Insitu	Mton	CuT%	%Med	%Ind	%inf
oxidos	15.0	0.48	51.0	36.00	13.00
Mixtos	10.0	0.52	33.0	19.00	48.00
SS	407.0	0.51	51.0	29.00	20.00
SP	1,499.0	0.35	9.0	14.00	77.00
M.Quebrado	474.0	0.54	4.0	9.00	87.00

EMI-SA

Insitu	Mton	CuT%	%Med	%Ind	%inf
oxidos	14.8	0.48	51.7	36.40	11.90
Mixtos	9.6	0.52	33.7	18.50	47.80
SS	360.6	0.53	55.2	29.60	15.20
SP	1,578.1	0.35	9.2	14.30	76.50
M.Quebrado	474.0	0.54	4.2	9.20	86.60

TABLA 2: Diferencia calculo tonelaje reservas de Óxidos en El Salvador. Fuente: Consultoría EMI-SA, 2014.

Cálculo_SS (Secundario)	Mton	Diferencia Mton
DSAL	407	46.4
EMI_SA	360.6	

Tonelaje (B)	Ley (C)	Recup. (%) (D)	Total (E: B*C*D)	Conversión Ton/Lb (F)	Total, Lb (G: E*F)	Bolsa (U\$) (H)	Monto (MU\$) (I)
46.000.000	0.005	0.85	195.500	2204,62	431.003.210	2	862.006.420

TABLA 3: Estimación económica diferencia calculo tonelaje reservas de Óxidos en El Salvador.

Esta diferencia, se debe al error de la topografía y problema de los datos ingresados en su base de datos. Por tanto, es claro el rol de la gestión y calidad de la información en todos sus procesos, debido que las pérdidas son considerables en el corto o largo plazo para una faena minera.

Hay que tener en cuenta que los modelos se construyen a partir de la información obtenida de los sondajes originales, cuyo espaciamiento varía en su etapa temprana (Exploración), aproximadamente 200 x 200 metros; aumentando su densidad a medida que avanza su factibilidad, construyéndose un modelo de bloque para el desarrollo de un plan minero único y finalmente el valor del proyecto.

Como es de esperar, a menor densidad de malla se obtiene una mayor probabilidad de error. El comportamiento del error de modelo, planificación y beneficio económico es aproximadamente lineal.

Densidad de malla [m]	Error Modelo [%]	Error Planificación [%]	Error VAN [%]
35	4.36	3.25	12.9
50	5.72	4.56	20.4
70	7.64	7.17	28.8
100	10.34	9.5	40.8
150	22.66	18.25	94.8
200	30.04	25.75	148.8

TABLA 4 Impacto de la Incertidumbre del Modelo Geológico en un Proyecto Minero. Fuente_Tesis Isabel Letelier M, U. De Chile, enero 2012.

Sin embargo, la incorrecta captura de datos geológicos genera pérdidas ocultas que no aparecen en los cálculos de VAN o en la contabilidad y, por tanto, la alta dirección no puede tomar conciencia de ellos.

Los profesionales se concentran más en los efectos y no sobre las causas de los problemas. Esta actitud crea pérdidas de tiempo, pérdidas económicas, y no se resuelve nada. Si las personas involucradas no comprenden en profundidad las fuentes de la variabilidad de los procesos de minería, las pérdidas son difíciles de descubrir y es difícil estimar su impacto económico.

La revisión y/o auditoria sistemática de los procesos de roca a cátodo relacionado tanto a operaciones como a proyectos es estrictamente necesaria.

6.6 Errores e Impacto en un Modelo Geominerometalúrgico.

6.6.1 Calificación de los Hallazgos.

Según los términos de referencia, los hallazgos han sido clasificado según las siguientes categorías:

- **No conformidades:** El problema detectado genera errores o inconsistencias graves, que son necesaria de modificar.
- **Observaciones:** El problema detectado genera errores o inconsistencias no graves, subsanables, y que se recomienda corregir.
- **Opciones de Mejora:** Situaciones que podrían generar errores o inconsistencias, o que aportan a mejorar la calidad del producto.

Basado en la clasificación de los hallazgo, se adjuntan aquellos errores que genera incertidumbre en las toma de decisiones y han sido focalizados en cuatros áreas temáticas que corresponden a:

- Área Base Datos.
- Área de Estudios Geocientíficos.
- Área Aseguramiento y Control de Calidad.
- Área de la Estimación de Recursos Minerales.

Estos cuatros pilares son los que sustentan la información contenida en el modelo geominerometalúrgico de acuerdo a las buenas prácticas ingenieriles y específicamente a la norma NCC-31 establecida por la Corporación.

De la auditoria se pudo constatar que existen situaciones que podrían generar, en algunos casos, equívocos e inconsistencias en ciertos resultados significativos a nivel de depósito y, de todos modos, subsanables; en otros casos estas situaciones pueden ser

oportunidades para mejorar la sustentabilidad y confiabilidad respecto a sus recursos.

A continuación, se describen algunas situaciones o malas prácticas que inciden la integración del modelo. Cada uno de las inconsistencia, se basa en la auditoría 5 al 10% de la información revisada.

- **QA/QC Ley:** Los sondajes de las campañas 2007, 2010, 2011 y 2012. Sondaje DD-9497, Tramo 162-165 m y DD-9452 sin muestras por chequeo de ley. Es preciso evitar esta práctica ya que no se dispone de material de respaldo para futuras revisiones.



FOTOGRAFIA 1: Error de muestreo en bandejas de sondajes _Fuente: Testigoteca El Salvador, 2016.

- **Datos Litológicos:** la revisión de los rasgos litológicos capturados a través de la cartilla geológica presenta incongruencia, donde se detectó en los siguientes sondajes DD-10414, Tramo 330-402 m; definidos como unidad piroclástica corresponde a una brecha volcánica. Tramo 372-373 m Andesita definida como Arenisca.



FOTOGRAFIA 2: Incongruencias mapeo litológico sondajes _Fuente: Testigoteca El Salvador, 2016.

- **Zonas de Almacenamiento:** Testigoteca desorden y pérdida de sondajes por manifestaciones sociales. Se debe cuidar y velar por el cuidado de la información física.



FOTOGRAFIA 3: Pérdida de muestras en bandejas de sondajes _Fuente: Testigoteca El Salvador, 2016.

- **Modelo Geológico**

La etapa de aseguramiento y control de calidad para el modelo geológico está basada en dos etapas fundamentales: la captura de un mapeo geológico, la construcción y desarrollo de secciones y plantas.

Para el mapeo geológico se requiere el levantamiento de la siguiente información: litología, alteración, zona mineral y estructuras; el control de calidad sobre ella es fundamental para asegurar la calidad de la información, mediante la aplicación de los procedimientos de mapeos, junto con validaciones cruzadas, es decir, la comparación de la información propia con aquella levantada por tercero, discusiones o clínicas geológicas levantada por el equipo y la presencia de un experto en el tema validado por el equipo.

El modelo geológico debe contener toda esta información con una codificación única y transparente, reproducible en el tiempo.

Se adjuntan diversas secciones de un modelo geológico con incongruencia en relación a los intercepto, generando incertidumbre en relación a los datos logueados.

Modelo Geológico _ Litología

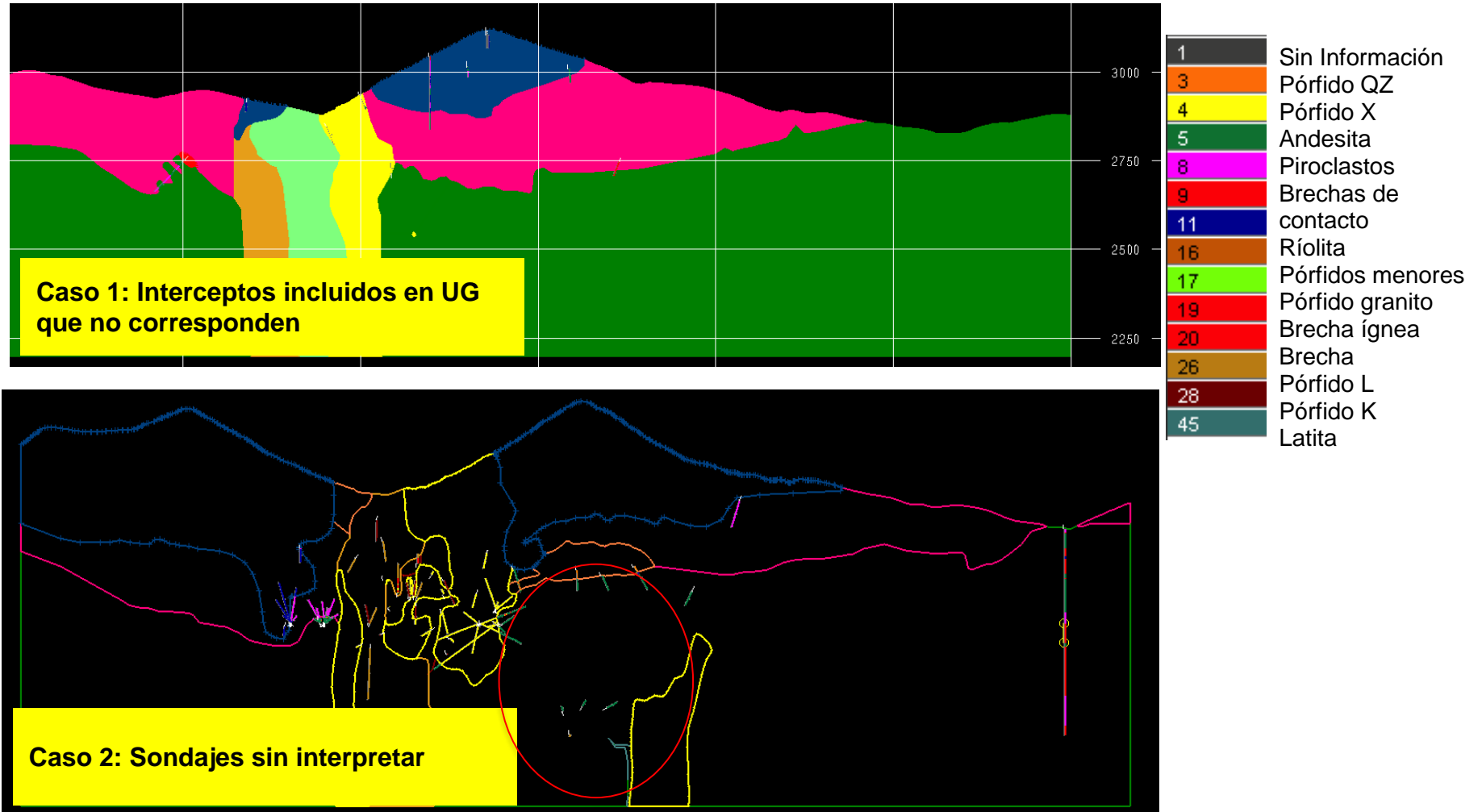


FIGURA 19: Incongruencias modelo litológico El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015.

Modelo Geológico _ Mineralización

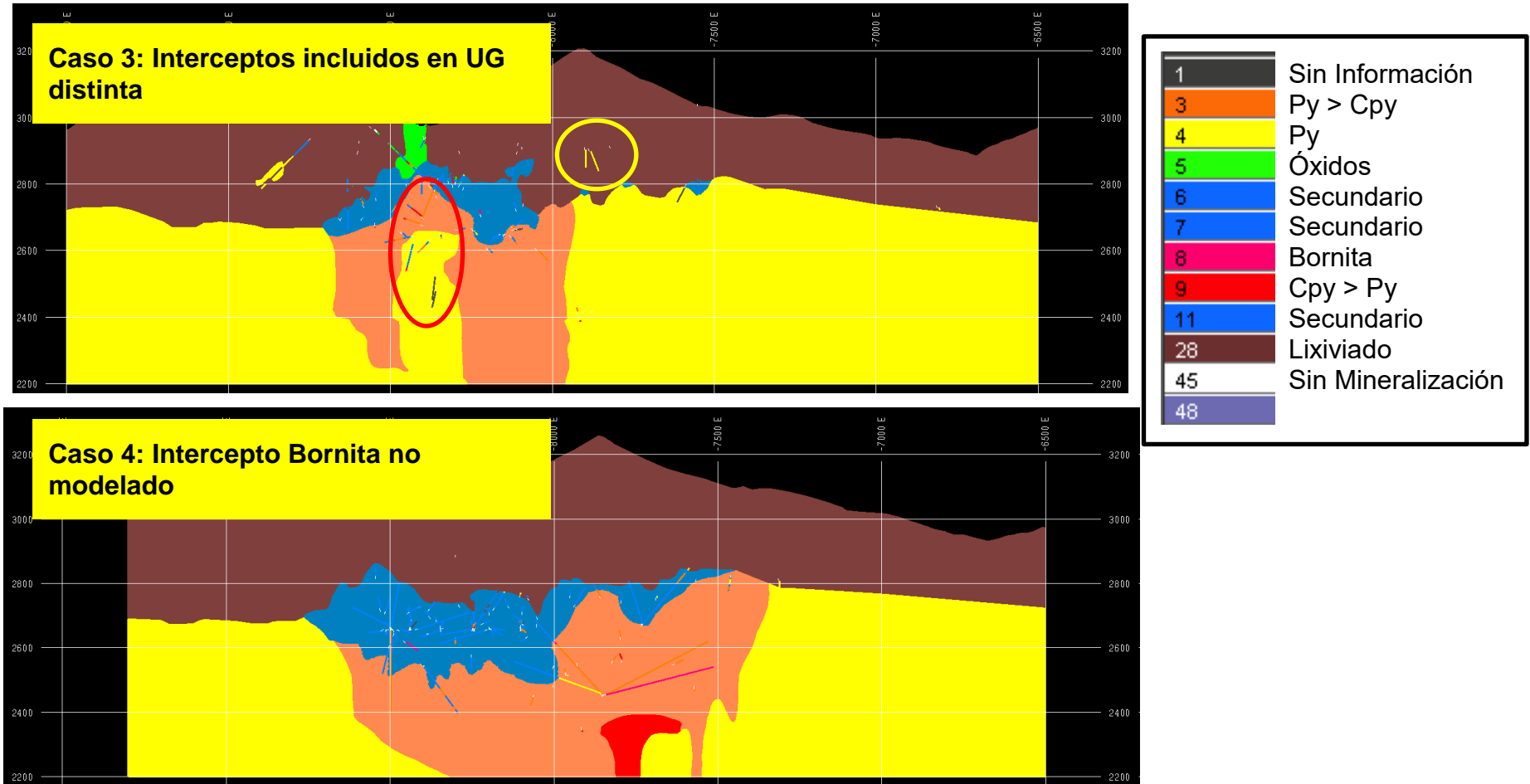


FIGURA 20: Incongruencias modelo Zona Mineral El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015.

Modelo Geológico

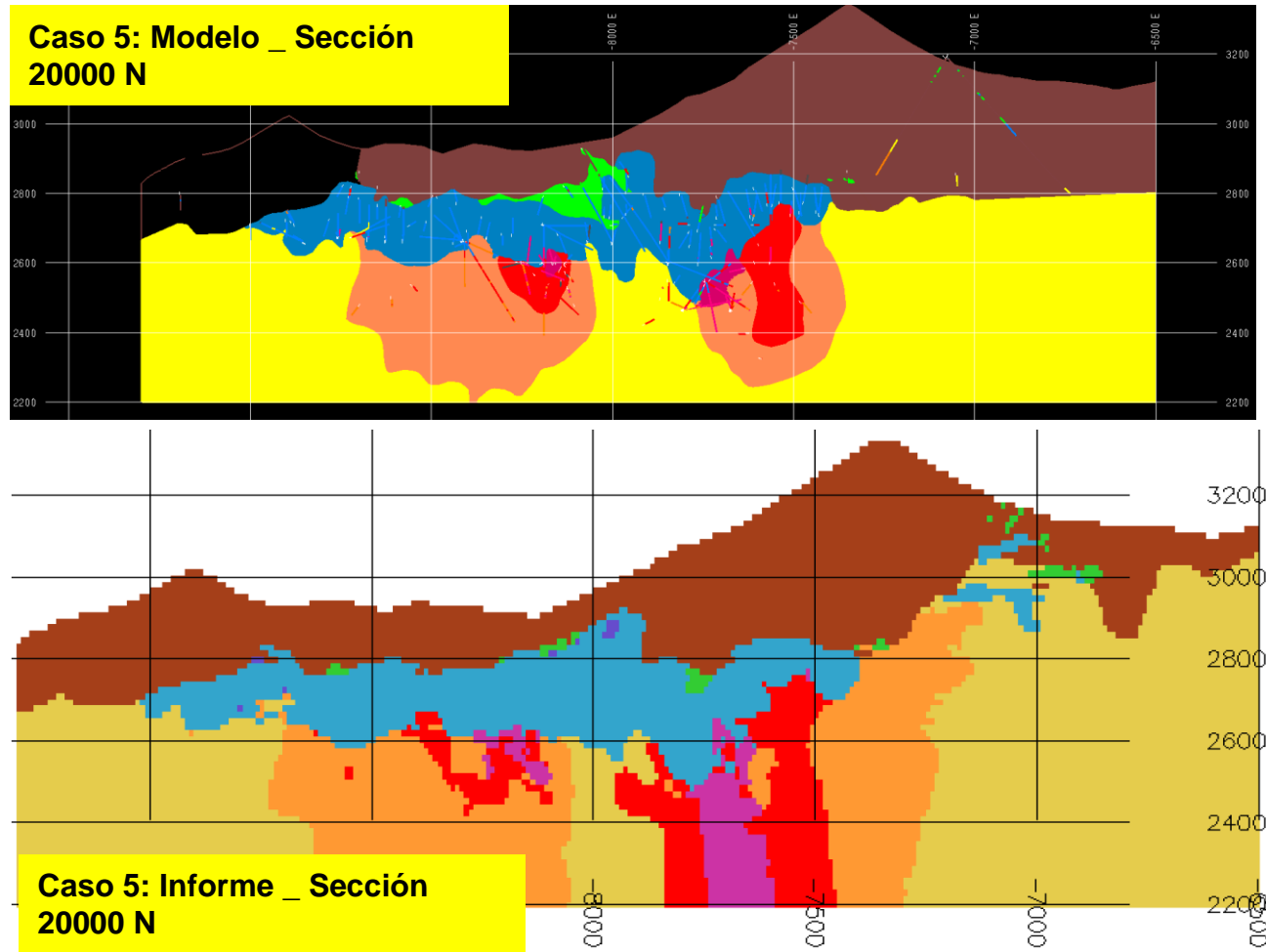


FIGURA 21: Incongruencias modelo Zona Mineral El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015.

Modelo Geológico

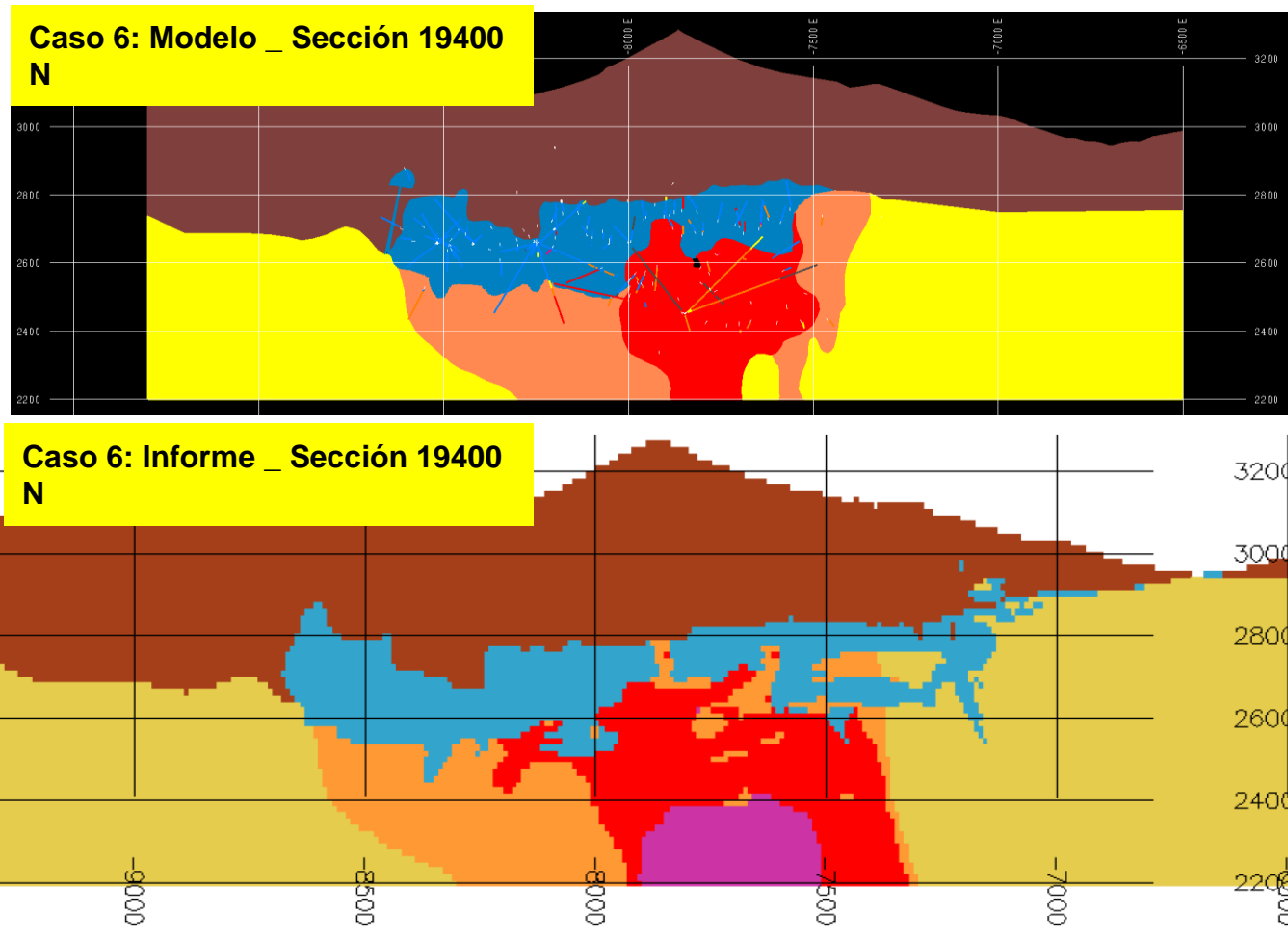


FIGURA 22: Incongruencias Zona Mineral El Salvador-Codelco. Fuente: Consultoría Geolnova, 2015.

6.7 Modelo Gestión del Conocimiento.

Hoy en día es crucial aprender de los errores históricos, principalmente aquellos asociados a la captura de la información geológica y considerar la importancia de los activos intelectuales que manejan este Know How, considerando este factor como un activo intangible.

Diversos libros de negocios explican el Activo Intangible como un recurso clave para el éxito de un proyecto o empresa. Sin embargo, su dominio público en la alta gerencia puede ser considerado algo superficial. Estos activos sustentan el 80 por ciento al 90 por ciento en una empresa. Algunos como patentes, derechos de autor, marcas, etc. Pero su verdadero valor permanece oculto en el interior del balance invisible. (Harvard Business Review-Mejores prácticas de gestión empresarial de Jeremy Hope & Steve Player; página 115)

Por ende, las distintas etapas que considera un proyecto geominerometalúrgico, es crucial que el conocimiento y su administración sean auditado por la empresa demandante, puesto que esta disciplina disminuye el riesgo asociado en la toma de decisiones; haciendo más efectiva la relación y confiabilidad en la calidad de los datos.

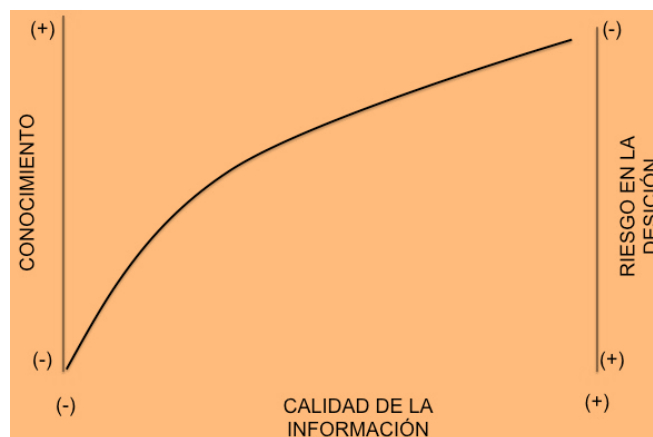


FIGURA 23: Riesgo Asociados a la Decisión basado en la calidad de la Información y Conocimiento. Fuente _ Elaboración Propia.

6.7.1 Modelo de Gestión Funcional del Conocimiento

A continuación, se presenta las principales acciones que se deben desarrollar para administrar y construir una gestión funcional del conocimiento para el desarrollo y asegurar la confiabilidad en un modelo geominerometalúrgico

- **Planificación y Ciclo de Control.**

Es necesario planificar, organizar, presupuestar, dirigir y controlar la calidad de los contratos de servicio, debido que diversas empresas se ajustan al precio de mercado, no tomando en cuenta la importancia de tener un equipo calificado.

- **Transferencia de Conocimiento Experto.**

Se debe transferir el conocimiento del personal especialista de cada proceso a profesionales de menos experiencia, generando equipos de trabajos de excelencia cuya sinergia evita errores de captura de los parámetros geológicos, resguardando la confiabilidad y calidad de la información. Para lograr este punto, es necesario que dicha captura sea validada por expertos del proceso.

Es importante destacar, que el problema que se enfrenta la mayoría de las organizaciones es el descuido en la toma y calidad de la información geológica, parámetro crucial y clave que conlleva la construcción de un modelo geominerometalúrgico.

- **Clínicas Geológicas.**

Se debe promocionar las ventajas competitivas de grupos de experto, liderando subequipos de menor experiencia, gestionando la información en terreno y corrigiendo los errores de su captura; desarrollando clínicas geológicas de mapeo con el fin de visualizar los conceptos complejos de la geología, incentivando la sana discusión y opinión grupal.

- **Rotación Experta.**

Rotar los equipos cada 3 años en diversas divisiones, promocionando el crecimiento del Know How roca a cátodo; interactuando con los equipos disciplinarios referente a los campos de la geología, ingeniería mina, operación, exploración y gestión de personas, asegurando el continuo saber y preparación de futuros gerentes y/o ejecutivos que lideran y entienden los procesos mineros.

- **Gestión Documental Electrónica.**

La mayoría de los trabajos desarrollados a través de la captura geológica es registrada a través de la gestión documental tradicional, cuya codificación no es eficiente y efectiva, generándose errores en su transcripción, agravándose al momento de entregar copias de versiones para su revisión, generándose desconocimiento de la validez de las versiones, provocando altos costos para la empresa, retrasando la continuidad de los procesos que apoya.

Múltiples son los beneficios de trabajar con sistemas de gestión documental electrónica, ya que permite tener un registro relacional único, lo que permite una codificación única y acceso inmediato de la información, garantizando la validez de cada uno de los registros, mejora la productividad y rendimiento del usuario.

Algunas características de os sistema de apoyo a la Gestión Documental:

- Captura electrónica única (Digitalización).
- Automatización del ciclo de vida documental electrónica (captura/creación, validación y almacenamiento final).
- Acceso y búsqueda directa.
- Integración y/o adaptabilidad para múltiples softwares de modelamiento (Leapfrog Geo3D, Vulcan, Datamine, etc.)



El Modelo de Gestión del Conocimiento, debe ser dinámico y fiscalizado por profesionales competente de cada área, analizando con la sinergia aquellos problemas e información que inciden en la construcción de un modelo geominerometalúrgico.

Además, es prescindible que la gerencia geológica comprenda a cabalidad los parámetros que integra el bloque de estimación del modelo, velando la confiabilidad del dato.

FIGURA 24: Modelo Gestión del Conocimiento, Fuente _ Elaboración Propia.

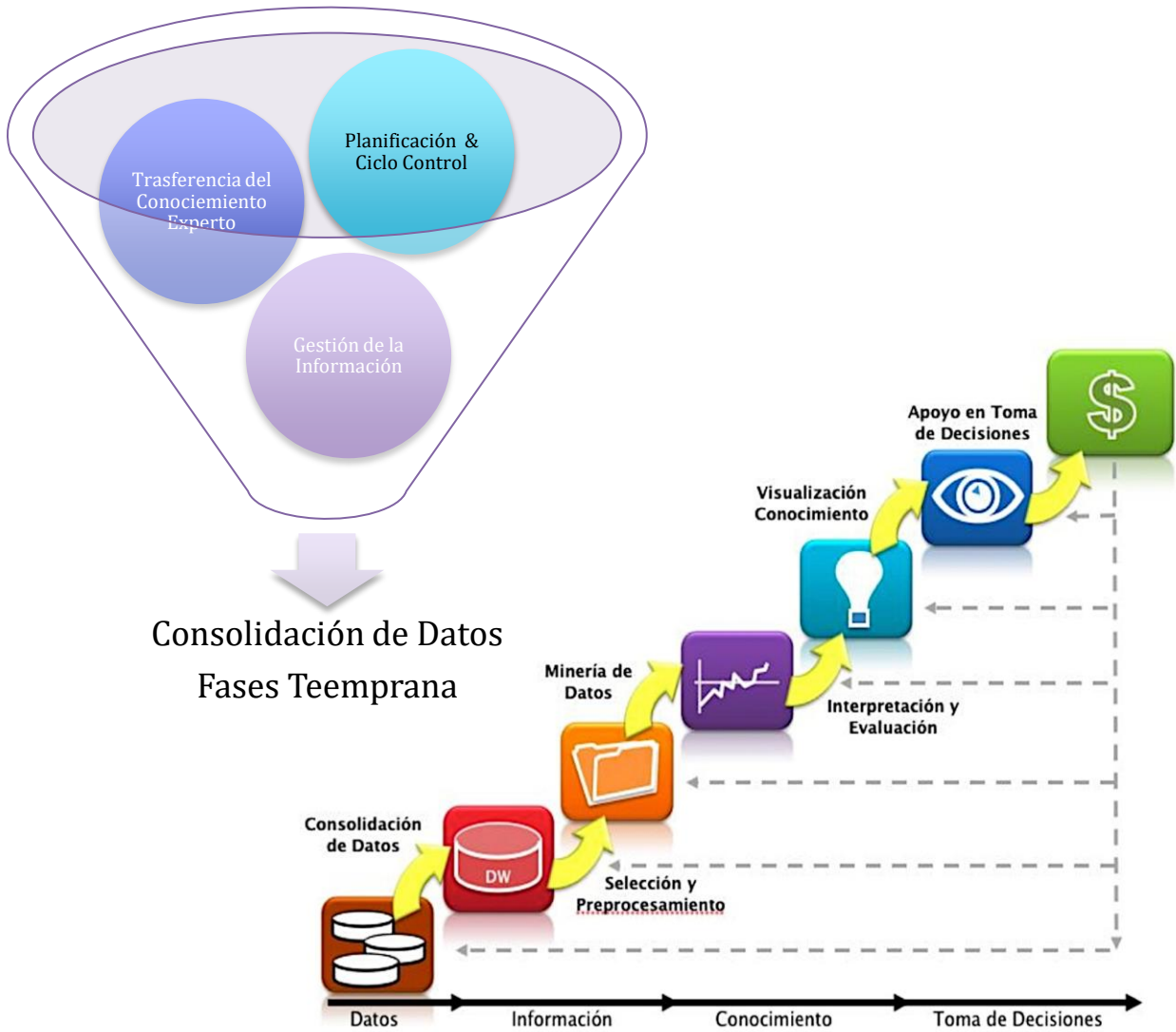


FIGURA 25: Diagrama de escala y el impacto temprano asociado a un Modelo Geominerometalúrgico para la toma de decisiones. Fuente _ Elaboración Propia.

La sinergia de estos elementos de gestión no solo agrega valor tangible a la compañía; sino que además asegura en forma temprana la confiabilidad de la información, siendo la base o el pilar fundamental para la toma de decisiones de una empresa minera.

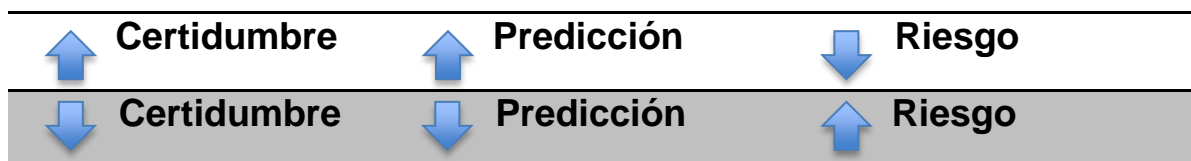
7 Conclusiones

De esta manera y según lo abordado en el presente trabajo, el rol y gestión de la información geominerometalúrgico es crítico en sus fases iniciales. Su impacto en el negocio minero en el corto y largo plazo inciden en diversos factores modificantes, clave para la toma de decisiones en las altas esfera, comúnmente en el ámbito financiero o estratégico para el desarrollo de la propia organización.

Es claro que se debe comprender la totalidad de la Cadena de Valor del Negocio Geominerometalúrgico y cada una de sus fases, como un todo y no la suma separada de sus partes, puesto que el error es crítico en el transcurso del tiempo, cuestionando la confiabilidad y la trazabilidad de los datos que componen dicho modelo.

La mayoría de los costos asociados en la inversión de una campaña de sondaje, se focalizan en la operación misma para la obtención de una muestra de testigo de sondaje y su logueo. Por ende, se debe contar con servicios geológicos de alto nivel que asegure la calidad de la información en un nivel de roca a cátodo.

- **Aversión o Tolerancia al Riesgo**



Los profesionales se concentran más en los efectos y no sobre las causas de los problemas. Esta actitud crea pérdidas de tiempo, pérdidas económicas, y no se resuelve nada. Si las personas involucradas (Cuerpo Ejecutivo) no comprenden en profundidad las fuentes de la variabilidad de los procesos de minería, las pérdidas son difíciles de descubrir y es difícil estimar su impacto económico

Es necesario que focalicen el trabajo en la discusión constructiva integrando las mejores prácticas con el fin de optimizar su gestión, rendimiento y costes; evitando la duplicidad de la información y los errores ocultos que, en el tiempo impactan en el negocio y en las decisiones futuras del negocio minero.

Las alternativas de inversión en la minería como mismo ocurre en otros sectores productivos son evaluada en un momento dado de tiempo sobre la base de la estimación de los valores futuros de parámetros técnicos, geológicos y económicos (Reservas, Ley Media, Vida Útil, Producción Anual, Precio, Costo de Operaciones etc.). Los proyectos mineros actuales son extremadamente costosos, generalmente el desembolso inicial de capital está en el orden de los cientos de millones de dólares; esto hace que la toma de decisión acerca de la ejecución o no de un proyecto sea una tarea de suma responsabilidad e importancia. Por ende, la gestión del conocimiento es crucial y vital, debido que garantiza equipos de trabajos de excelencia cuya sinergia evita la fuga de cerebros, los errores de captura, resguardando la confiabilidad versus calidad del proceso y la información.

8. Bibliografía

- Cornejo, P., Mpodozis, C., Ramírez, C. y Tomlinson, A. (1993).** Estudio Geológico de la Región El Salvador y Potrerillos. Servicio Nacional de Geología y Minería- CODELCO. Informe Registrado IR-93-01, 258 p.
- Cornejo, P., Tosdal, R., Mpodozis, C., Tomlinson, A., Rivera, O. & Fanning, M. (1997).** El Salvador, Chile Porphyry Copper Deposit Revisited: Geologic and Geochronologic Framework. *International Geology Review*, Vol. 39, p. 22-54
- Cornejo, P., Tomlinson, A., Mpodozis, C. y Tosdal, R. (1997).** Evolución magmático-estructural y geocronología K-Ar y U-Pb del distrito Indio Muerto y Yacimiento El Salvador (III Región, Chile). VIII Congreso Geológico Chileno, Actas, Vol. II, p. 911-915.
- Cornejo, P., Mpodozis, C. y Matthews, S. (1999).** Geología y Evolución Magmática del Distrito Indio Muerto y Yacimiento El Salvador. Servicio Nacional de Geología y Minería- CODELCO. Informe Registrado IR-98-14.
- Mpodozis, C., Tomlinson, A., Cornejo, P., (1994).** Acerca del Control Estructural de Intrusivos Eocenos y Pórfidos Cupríferos en la Región de Potrerillos-El Salvador. 7º Congreso Geológico Chileno, Actas Volumen II, p. 1596-1600.
- Rivera, O. (1997).** Proyecto Estudio Geológico Distrital del Cerro Indio Muerto, Sector Oriental de El Salvador, Escala 1:10.000. Codelco Chile / CEG Ltda. Informe inédito, 117 p.
- Rivera, O. y Falcón, M.F. (2000).** Calderas Tipo Colapso-Resurgentes del Terciario Inferior en la Pre-Cordillera de la Región de Atacama: Emplazamiento de Complejos Volcano-Plutónicos en las Cuencas Volcano-Tectónicas Extensionales Hornitos e Indio Muerto. 9º Congreso Geológico Chileno, Actas, vol. N°2, p. 67-71, Puerto Varas.
- Letelier, I., (2012).** Impacto de la Incertidumbre del Modelo Geológico de un Proyecto Minero, Tesis U de Chile, Santiago.
- Müller, G (1973).** Zonas de Mineralización en un Yacimiento de Cobre (Lectura Técnica), El Salvador.