

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS

**DESARROLLO DE GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS EN ESTIMACIÓN DE RECURSOS
MINEROS PARA YACIMIENTOS TIPO PÓRFIDO CUPRÍFERO EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS

MATÍAS ANDRÉS ÁVILA INDO

PROFESOR GUÍA:

XAVIER EMERY

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

RICARDO MIRANDA DIAZ

EDUARDO JARA SALAMÉ

SANTIAGO, CHILE

2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil de Minas
POR: Matías Andrés Ávila Indo
FECHA: 03/12/2019
PROFESOR GUÍA: Xavier Emery

DESARROLLO DE GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS EN ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINEROS PARA YACIMIENTOS TIPO PÓRFIDO CUPRÍFERO EN CHILE

El presente trabajo busca determinar los aspectos más relevantes a incorporar en una guía de mejores prácticas de estimación de recursos para yacimientos tipo pórfido cuprífero.

Para su realización, se desarrollan dos cuestionarios para recopilar información de la industria sobre las prácticas de las etapas de estimación de recursos, que corresponden a la captura y gestión de información, el modelamiento geológico, la estimación de variables cuantitativas, la categorización y la conciliación del modelo. El primero va dirigido a las empresas consultoras y el segundo a los encargados de estimación de recursos en los yacimientos de las principales empresas de gran minería en Chile. A partir de sus resultados se identifican los principales aspectos a considerar en cada etapa, los softwares más utilizados, y posibles mejoras.

La captura y gestión de información debe tener un lineamiento centrado en el control de calidad y en la unificación de criterios dentro de los yacimientos. Aún se realiza un QA/QC de manera reactiva, no previniendo la ocurrencia de errores. También existen falencias en la estandarización del muestreo de la densidad de roca y variables metalúrgicas, lo que debe ser mejorado. Asimismo, se debe mejorar la comunicación entre las áreas para generar modelos más robustos. El principal software gestión de información corresponde a acQuire.

El modelamiento geológico tiene que contemplar los eventos de formación que dieron lugar al yacimiento y buscar los atributos que pudieran controlar las variables de interés. Es necesario mejorar aspectos de validación de criterios y no solo enfocarse en la constructibilidad del modelo. La principal herramienta utilizada es el modelamiento implícito y el software más usado es Leapfrog Geo.

La estimación de variables debe considerar aspectos geológicos para su realización. No debe centrarse solo en la variable principal sino en todas las que tengan relevancia en el valor del negocio. Las principales herramientas corresponden a las variantes del Kriging. El software más utilizado es Vulcan, pero también se usa ISATIS cuando se requiere el uso de técnicas más complejas.

La categorización a menudo no es cuantitativa ni incorpora la calidad de las muestras, la continuidad geológica o la incertidumbre de leyes y tonelaje. La herramienta más usada corresponde a categorizar bloque a bloque en función del número y distancia de las muestras usadas para su estimación, lo que no logra representar adecuadamente la confiabilidad e incertidumbre de la estimación. Esto es realizado mediante scripts.

La conciliación debe considerar la mayoría de las variables que fueron estimadas. Es la mejor herramienta de validación y permite analizar la predictibilidad de los modelos. Es importante realizar conciliación geológica continuamente y no solo cuando haya problemas. El software más utilizado para los modelos de corto plazo es Vulcan.

Abstract

The present work aims to determine the most relevant aspects to incorporate in a best practices guideline for estimating resources on copper-like porphyry deposits.

For its realization, two questionnaires are developed to gather information from the industry about the practices of resource estimation stages, which are the capture and management of information, geological modeling, the estimation of quantitative variables, the categorization and reconciliation of the model. The first is aimed at consulting companies and the second at those responsible for estimating resources at the deposits of the main mining companies in Chile. From its results, the main aspects to be considered at each stage, most used software, and possible improvements are identified.

The capture and management of information must have a guideline focused on quality control and the unification of criteria within the deposit. The QA / QC is still reactively done, not preventing the occurrence of errors. There are also shortcomings in the standardization of rock density sampling and metallurgical variables, which should be improved. Likewise, communication between the areas must be improved to generate more robust models. The main information management software corresponds to acQuire.

The geological modeling has to contemplate the formation events that gave rise to the site and look for the attributes that could control the variables of interest. It is necessary to improve aspects of geological criteria validation and not only focus on the constructibility of the model. The main tool used is implicit modeling and the most used software is Leapfrog Geo.

The estimation of variables must consider geological aspects for its realization. It should not focus only on the main variable but on all those that have relevance in the business value. The main tools correspond to the variants of Kriging. The most commonly employed software is Vulcan, but ISATIS is also used when the utilization of more complex techniques is required.

Categorization is often not quantitative nor does it incorporate the quality of the samples, the geological continuity or the uncertainty of laws and tonnage. The most used tool corresponds to categorizing block by block according to the number and distance of the samples used for its estimation, which does not adequately represent the reliability and uncertainty of the estimate. This is done through scripts.

The reconciliation must consider most of the variables that were estimated. It is the best validation tool and allows to analyze the predictability of the models. It is important to perform geological reconciliation continuously and not only when there are problems. The most used software for short-term models is Vulcan.

Agradecimientos

Primero agradecer a Ricardo Miranda, director de la Comisión Calificadora de Competencias en Estimación de Recursos y Reservas Mineras, por darme la oportunidad de desarrollar esta memoria.

Agradecer a Patricio Zúñiga, Fernando Marambio, Paulina García y Eduardo Jara, miembros de la gerencia de geociencias de la casa matriz de CODELCO, por todo el apoyo brindado, la experiencia compartida y la voluntad de ayudarme con todas las dudas que surgieron durante mi instancia en la corporación. También agradecer a todas las empresas que facilitaron información para poder llevar a cabo este estudio.

Agradecer a la escuela por todos los conocimientos y herramientas entregadas durante mi formación profesional. A mi profesor guía Xavier Emery, por su buena disposición y por toda la ayuda que me brindó para lograr sacar adelante este proyecto.

A todos mis compañeros de carrera, con quienes arduamente estudiábamos para realizar de la mejor forma los proyectos, trabajos y aprobar los ramos en la universidad. Especialmente a mis amigos más cercanos Mauricio Díaz, Juan Carvajal, Lukas Ríos, Diego Rojas, Zinthia Oportus, Matías Quiñones, Juan Avilés y Sebastián Fuentes, por todos los maravillosos momentos vividos durante mi instancia en la escuela.

Agradecer también a mis amigos fuera de la carrera Daniel Albornoz y Rafael Castro, Francisco Gaviño y Murci Cavieres, a quienes conocí los primeros años de universidad y con quienes he compartido muchos momentos y alegrías.

A mi madre Ivon Indo, la persona más importante en mi vida, y que dedicó toda la suya en sacarme adelante. Es el pilar fundamental de mi familia y le agradezco por todo lo que soy, esperando llenarla de orgullo con este logro. Las palabras son pocas para expresar todo lo que has hecho por mí, todo lo que te debo y todo lo que te amo.

A mi abuela Ivonne Astudillo, quien me crio y cuidó durante toda mi vida y hasta sus últimos momentos, a quien extraño y que desearía estuviera aquí para poder ver como finalizo esta etapa de mi vida.

A mi pareja Karla Parra, quien me ha apoyado, ayudado y soportado durante los últimos años. Tu compañía, cariño y amor hicieron que esta última etapa fuera inolvidable. Te amo, espero que sigamos juntos por siempre. También le agradezco a sus padres, Sandra Madrid y Pedro Parra quienes me han acogido como a un hijo, con mucho afecto y cariño en su hogar.

Tabla de Contenido

Capítulo I: Introducción	10
1.1 Objetivo General	10
1.2 Objetivos Específicos	11
1.3 Alcances.....	11
1.4 Estructura de la Memoria	11
Capítulo II: Revisión Bibliográfica.....	12
2.1 Pórfidos Cupríferos	12
2.2 Etapas de Estimación de Recursos.....	15
2.2.1 Adquisición y Gestión de la Información	17
2.2.2 Modelamiento Geológico	22
2.2.3 Estimación de Variables Cuantitativas	26
2.2.4 Clasificación de Recursos.....	34
2.2.5 Conciliación del Modelo	36
Capítulo III: Metodología Experimental	38
3.1 Recopilación de información	38
3.2 Análisis de casos	39
3.3 Mejores Prácticas.....	39
Capítulo IV: Resultados y Discusión	40
4.1 Adquisición y Gestión de Información	42
4.1.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria.....	42
4.1.2 Resultados de Mineras	49
4.1.3 Síntesis y conclusiones.....	58
4.2 Modelamiento Geológico.....	65
4.2.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria.....	65
4.2.2 Resultados de Mineras	69
4.2.3 Síntesis y conclusiones	72
4.3 Estimación de Variables Cuantitativas	78
4.3.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria.....	78
4.3.2 Resultados de Mineras	84
4.3.3 Síntesis y conclusiones.....	91
4.4 Categorización de Recursos	98
4.4.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria.....	98
4.4.2 Resultados de Mineras	100
4.4.3 Síntesis y conclusiones.....	103

4.5	Conciliación.....	106
4.5.1	Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria.....	106
4.5.2	Resultados de Mineras	107
4.5.3	Síntesis y conclusiones.....	110
	Capítulo V: Conclusiones	113
	Capítulo VI: Recomendaciones	116
	Capítulo VII: Bibliografía.....	117
	Capítulo VIII: Anexos.....	120
	Anexos I – Información y Protocolos.....	120
	Anexos II – Cuestionarios	127
	Anexos III – Respuestas de cuestionarios de mineras	145

Índice de figuras

Figura 1.	Modelo de zonas de alteración en yacimiento tipo pórfido cuprífero.....	12
Figura 2.	Modelo de zonas de alteración en yacimientos tipo pórfido cuprífero	13
Figura 3.	Perfil supérgeno típico de un yacimiento tipo pórfido cuprífero	13
Figura 4.	Modelo integral con procesos supérgenos e hipógenos	14
Figura 5.	Esquema general de estimación de recursos	16
Figura 6.	Esquema detallado de estimación de recursos mineros	16
Figura 7.	Esquema general modelamiento geológico	22
Figura 8.	Esquema general de estimación de variables cuantitativas	27
Figura 9.	Esquema general de categorización de recursos.....	34
Figura 10.	Esquema general de conciliación.....	36
Figura 11.	Metodología experimental	38

Índice de gráficos

Gráfico 1.	Toneladas de cobre fino producidas por yacimiento en el año 2018	41
Gráfico 2.	Precauciones y chequeos de la base de datos en los yacimientos	58
Gráfico 3.	Uso de herramientas para evaluar la calidad de las muestras en los yacimientos	59
Gráfico 4.	Frecuencia de uso de elementos de QA/QC en los yacimientos	59
Gráfico 5.	Frecuencia de medición de densidad de roca y variables geometalúrgicas en los yacimientos.....	60
Gráfico 6.	Variables presentes en la base de datos de los yacimientos.....	61
Gráfico 7.	Aspectos importantes de la base de datos tomados en cuenta en los yacimientos	61
Gráfico 8.	Softwares de gestión de base de datos utilizados en los yacimientos.....	62
Gráfico 9.	Tipo de información de mala calidad presente en los yacimientos	62
Gráfico 10.	Encargado de base de datos presente en los yacimientos	63
Gráfico 11.	Tipos de unidades modeladas en los yacimientos.....	73
Gráfico 12.	Atributos geológicos modelados en los yacimientos.....	73
Gráfico 13.	Tamaño de soporte de muestras	74

Gráfico 14. Herramientas de Construcción.....	74
Gráfico 15. Software de Modelamiento	75
Gráfico 16. Herramientas de Validación	76
Gráfico 17. Revisiones del Modelo	76
Gráfico 18. Parámetros para conciliar	77
Gráfico 19. Tipos de variables estimadas.....	91
Gráfico 20. Criterio de composición	92
Gráfico 21. Criterio de elección de tamaño.....	92
Gráfico 22. Atributos que controlan la ley.....	93
Gráfico 23. Herramientas para análisis estadístico de datos y separación de unidades de estimación	93
Gráfico 24. Herramientas de estimación	94
Gráfico 25. Software utilizado para estimar.....	94
Gráfico 26. Parámetros de plan de estimación.....	95
Gráfico 27. Herramientas y técnicas de validación.....	96
Gráfico 28. Revisiones del modelo de estimación	96
Gráfico 29. Enfoques de Categorización	103
Gráfico 30. Herramientas de Categorización.....	104
Gráfico 31. Forma de corrección de efecto salt and pepper.....	105
Gráfico 32. Parámetros para conciliar	110
Gráfico 33. Unidad básica de conciliación.....	111
Gráfico 34. Software en corto plazo	112

Índice de tablas

Tabla 1. Características de yacimientos analizados.....	40
Tabla 2. Características mineras básicas de los yacimientos	41
Tabla 3. Resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos	42
Tabla 4. Continuación de resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos	43
Tabla 5. Resultados con más de 50% de aceptación por parte de los expertos	45
Tabla 6. Resultados con menos de 50% de aceptación por parte de los expertos	47
Tabla 7. Frecuencia de variables mapeadas y analizadas en los yacimientos.....	49
Tabla 8. Frecuencia de tipos de muestreo utilizados en terreno	50
Tabla 9. Frecuencia de tipo de información geológica utilizada en el yacimiento	50
Tabla 10. Tamaños del soporte de muestreo y base de datos en los distintos yacimiento	51
Tabla 11. Frecuencia de elementos utilizados para el QA/QC de preparación y ensayos analíticos	52
Tabla 12. Frecuencia de uso de herramientas para el control de calidad	52
Tabla 13. Frecuencia de acciones tomadas respecto a los elementos y resultados del QA/QC de preparación y ensayos químicos.....	53
Tabla 14. Frecuencia de razones de zonas con mayor cantidad de sondajes	53
Tabla 15. Frecuencia de razones de zonas con menor cantidad de sondajes	53
Tabla 16. Frecuencia de tipo de información sin QA/QC o con bajos estándares de calidad	54
Tabla 17. Frecuencia de elementos de la base de datos	54
Tabla 18. Frecuencia de aspectos considerados en el diseño de la base de datos.....	55

Tabla 19. Frecuencia de elementos de validación de la base de datos	56
Tabla 20. Frecuencia de uso de software de gestión de información.....	56
Tabla 21. Frecuencia de externalización de encargado de base de datos.....	57
Tabla 22. Frecuencia de oficialización de datos a utilizar en etapas posteriores	57
Tabla 23. Porcentaje de revisión de las bases de datos históricas y actuales	57
Tabla 24. Resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos para modelamiento geológico.....	65
Tabla 25. Resultados con menos de 100% de aceptación por parte de los expertos para el modelamiento geológico.....	67
Tabla 26. Frecuencia de los modelos utilizados en los yacimientos	69
Tabla 27. Frecuencia de atributos geológicos modelados	69
Tabla 28. Frecuencia de uso de herramientas de construcción	70
Tabla 29. Frecuencia de herramientas de validación del modelo.....	71
Tabla 30. Frecuencia de revisiones y chequeos	71
Tabla 31. Frecuencia de utilización de software de modelamiento	72
Tabla 32. Resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos para Estimación de Recursos.....	78
Tabla 33. Resultados con menos de un 100% de aceptación por parte de los expertos para Estimación de Recursos.....	81
Tabla 34. Frecuencia de variables estimadas	84
Tabla 35. Frecuencia de herramientas para análisis estadístico y separación de unidades	84
Tabla 36. Frecuencia de atributos que controlan las leyes del yacimiento.....	85
Tabla 37. Frecuencia de herramientas para identificación de datos outliers	85
Tabla 38. Frecuencia de técnicas de tratamiento de datos outliers.....	86
Tabla 39. Frecuencia de realización de análisis de tamaños de compuesto	86
Tabla 40. Frecuencia de criterios utilizados para la composición.....	86
Tabla 41. Frecuencia de técnicas variográficas	87
Tabla 42. Frecuencia de herramientas de estimación.....	87
Tabla 43. Frecuencia de estrategia de estimación	88
Tabla 44. Frecuencia de criterios para la elección del tamaño de bloques	89
Tabla 45. Frecuencia de uso de técnicas de validación	89
Tabla 46. Frecuencia de revisiones y chequeos	90
Tabla 47. Frecuencia de uso de softwares de estimación.....	90
Tabla 48. Resultados de expertos respecto a categorización de recursos	98
Tabla 49. Frecuencia de enfoques de categorización utilizados	100
Tabla 50. Frecuencia de herramientas utilizadas para la categorización	101
Tabla 51. Frecuencia de niveles de error para recursos medidos.....	101
Tabla 52. Frecuencia de niveles de error para recursos indicados	101
Tabla 53. Frecuencia de tamaño de malla para recursos medidos	102
Tabla 54. Frecuencia de tamaño de malla para recursos indicados	102
Tabla 55. Frecuencia de técnica de corrección de Salt and Pepper	102
Tabla 56. Resultados de expertos respecto a la conciliación del modelo	106
Tabla 57. Frecuencia de variables presentes en el modelo de bloques	107
Tabla 58. Frecuencia de tipo de modelo de estimación	107
Tabla 59. Frecuencia de tipo de modelo geotécnico	107
Tabla 60. Frecuencia de tipo de modelo geo metalúrgico	108
Tabla 61. Frecuencia de parámetros utilizados para conciliar.....	108

Tabla 62. Frecuencia de unidades básicas de conciliación.....	108
Tabla 63. Frecuencias de nivel de conciliación	109
Tabla 64. Frecuencia de softwares utilizados para el modelamiento y estimación del corto plazo.....	109
Tabla 65. Respuestas individuales de los primeros 7 yacimientos respecto al muestreo, mapeo, QA/QC y análisis químico.....	145
Tabla 66. Respuestas individuales de los siguientes 6 yacimientos respecto al muestreo, mapeo, QA/QC y análisis químico.....	146
Tabla 67. Respuestas individuales respecto al muestreo, mapeo, QA/QC y análisis químico.....	147
Tabla 68. Códigos de resultados para variables de mapeo y análisis en los yacimientos	148
Tabla 69. Códigos de resultados para tipos de muestreo llevados a cabo en terreno .	148
Tabla 70. Códigos de resultados para tipo de información utilizada y registrada.....	148
Tabla 71. Códigos de resultados para elementos de QA/QC utilizados.....	149
Tabla 72. Códigos de resultados de herramientas de control de calidad	149
Tabla 73. Códigos de resultados de procedimientos de QA/QC utilizados por las minera	149
Tabla 74. Código de zonas con mayor cantidad de sondajes	150
Tabla 75. Código de zonas con menor cantidad de sondajes	150
Tabla 76. Código de datos sin QA/QC	149
Tabla 77. Respuestas individuales de los primeros 4 yacimientos respecto al diseño y gestión de la base de datos.....	150
Tabla 78. Respuestas individuales de los siguientes 9 yacimientos respecto al diseño y gestión de la base de datos.....	151
Tabla 79. Continuación de respuestas individuales de los yacimientos respecto al diseño y gestión de la base de datos.....	152
Tabla 80. Código de resultados de variables presentes en la base de datos.....	152
Tabla 81. Códigos de resultados sobre aspectos a considerar para el diseño de la base de datos.....	153
Tabla 82. Código de resultados de precauciones y chequeos que hay que tener con la base de datos.....	153
Tabla 83. Códigos de resultados de software utilizados para la gestión de la base de datos	153
Tabla 84. Respuestas individuales de los yacimientos respecto al modelamiento geológico.....	154
Tabla 85. Continuación de respuestas individuales de los yacimientos respecto al modelamiento geológico.....	155
Tabla 86. Códigos de resultados de enfoques para el modelamiento geológico.....	155
Tabla 87. Códigos de resultados de atributos geológicos modelados.....	156
Tabla 88. Código de resultados de herramientas utilizadas para la delimitación de unidades.....	156
Tabla 89. Código de resultados de validaciones realizadas al modelo geológico	156
Tabla 90. Código de resultados de revisiones que se realizan al proceso de modelamiento geológico	157
Tabla 91. Código de resultados de softwares utilizados para construir el modelo geológico	157
Tabla 92. Respuestas individuales respecto a la Estimación de Recursos	158

Tabla 93. Continuación de respuestas individuales de los primeros 9 yacimientos respecto a Estimación de Recursos	158
Tabla 94. Continuación de respuestas individuales de los siguientes 4 yacimientos respecto a Estimación de Recursos	159
Tabla 95. Continuación de respuestas individuales para los yacimientos respecto a Estimación de Recursos	159
Tabla 96. Códigos de respuestas de variables estimadas	160
Tabla 97. Códigos de respuestas de herramientas para el análisis estadístico y la separación de unidades	160
Tabla 98. Códigos de respuestas de atributos que controlan la ley en el yacimiento ..	160
Tabla 99. Códigos de resultados de herramientas utilizadas para la identificación de outliers.....	160
Tabla 100. Códigos de resultados de tratamientos para los datos outliers	161
Tabla 101. Códigos de resultados para criterios de composición	161
Tabla 102. Códigos de resultados de herramientas variográficas utilizadas para la identificación de las direcciones de continuidad.....	161
Tabla 103. Código de resultados de metodologías utilizadas para la estimación de variables.....	161
Tabla 104. Códigos de resultados de parámetros utilizados para el plan de estimación	162
Tabla 105. Códigos de resultados de validaciones y revisiones realizadas a la tapa de estimación de variables.....	162
Tabla 106. Códigos de resultados del nivel de detalle utilizado en la estimación	162
Tabla 107. Códigos de resultados de revisiones y chequeos de la estimación.....	163
Tabla 108. Códigos de resultados de softwares utilizados para la estimación.....	163
Tabla 109. Respuestas individuales de los yacimientos respecto a categorización de recursos.....	163
Tabla 110. Continuación de resultados individuales de los yacimientos respecto a categorización de recursos.....	164
Tabla 111. Códigos de resultados sobre los enfoques de categorización.....	164
Tabla 112. Código de resultados de herramientas para categorizar recursos	164
Tabla 113. Respuestas individuales de los yacimientos respecto al modelo de bloques	165
Tabla 114. Respuestas individuales de los yacimientos respecto a la conciliación del modelo.....	166
Tabla 115. Códigos de resultados de variables presentes en el modelo de bloques ...	166
Tabla 116. Códigos de resultados de parámetros conciliados	167
Tabla 117. Códigos de resultados de unidades básicas de conciliación.....	167
Tabla 118. Códigos de resultados para herramientas de modelos de corto plazo	167

Capítulo I: Introducción

Los yacimientos son formaciones que se encuentran en la corteza terrestre en las que está presente una concentración anómala de minerales. Estos son de gran interés para el ser humano debido a que somos consumidores habituales de un sin número de los componentes que los constituyen. Así, muchos yacimientos llegan a tener un potencial económico apreciable, sin embargo, no es hasta después de un proceso de evaluación que se define si su explotación es factible o no.

La industria minera sustenta sus negocios en base a la valorización integral de sus activos. Para esto primero se debe tener conocimiento de los recursos que se encuentran en el subsuelo y el nivel de confiabilidad de su existencia. Por lo tanto, se necesita generar un modelo predictivo del comportamiento de las variables que más impactan los recursos minerales, con el fin de tener una interpretación correcta del material del subsuelo, y así poder tomar las mejores decisiones posibles para el negocio. Es claro entonces, que la estimación de recursos mineros es de vital importancia a la hora de evaluar proyectos, y que debe ser realizada adecuadamente dado que la información que poseemos de los yacimientos es parcial y su cantidad relevantemente menor respecto a la del yacimiento completo.

El proceso de estimación comprende etapas como el almacenamiento, captura y uso de información, el modelamiento geológico, la estimación de variables cuantitativas, formación del modelo de bloques, la categorización y las validaciones y reconciliaciones de los resultados obtenidos. Cada una tendrá enfoques y entregables con niveles de detalle diferentes según la etapa en la que se encuentre el proyecto. Los resultados deben ser validados a partir de diversas técnicas y de nueva información proveniente desde la operación de la mina o nuevas campañas de sondajes según corresponda.

Cada etapa de la estimación tiene distintas metodologías y protocolos específicos para realizarse, diferentes métodos de control de calidad y técnicas para la validación de sus resultados. Estas prácticas son diferentes dependiendo de la persona que las está llevando a cabo y de características particulares del yacimiento estudiado. Teniendo esto en consideración, se llega al cuestionamiento de cuáles son las que cumplen de mejor forma los estándares expuestos en las distintos códigos nacionales e internacionales que son los requerimientos mínimos de reporte de recursos y reservas.

La Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras en conjunto con la Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO), desean confeccionar una guía clara de las herramientas utilizadas por la industria chilena que contenga estrategias, chequeos y validaciones de las distintas etapas del proceso de estimación para generar la mejor estimación posible para yacimientos de tipo pórfido cuprífero, que cumplan con características similares.

1.1 Objetivo General

- Definir las principales prácticas, metodologías y herramientas a incorporar en una guía de mejores prácticas del proceso de estimación de recursos mineros, considerando todas sus etapas y enfocándose en yacimientos tipo pórfido cuprífero.

1.2 Objetivos Específicos

Para poder desarrollar el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar información de empresas mineras y consultoras a partir de encuestas que abarquen cada etapa del proceso de estimación.
- Analizar la información comparando las practicas llevadas a cabo por la industria en Chile en diferentes empresas y yacimientos, contrastando las consideraciones que los expertos consideran más importantes al llevar a cabo el proceso de estimación.
- Determinar que practicas son más adecuadas para generar una estimación de recursos confiable que se adecue a las normas de reportabilidad.

1.3 Alcances

La presente memoria tiene como alcance el análisis de las prácticas de estimación abarcando las etapas de Captura y Gestión de Información, Modelamiento Geológico, Estimación de Recursos, Clasificación de Recursos y Conciliación del Modelo para yacimientos tipo Pórfido Cuprífero en la gran minería de Chile.

1.4 Estructura de la Memoria

- Capítulo I Introducción: Se presenta la introducción a los aspectos y etapas más relevantes de la estimación de recursos que serán abordados en la investigación.
- Capítulo II Revisión Bibliográfica: Se presentan las principales características de la geología de los pórfidos cupríferos y un detalle de las actividades y herramientas utilizadas en las distintas etapas de estimación.
- Capítulo III Metodología: La metodología mostrada se basa en la confección de un benchmark para luego contrastar sus resultados con las prácticas recomendadas en los distintos códigos de reportabilidad de recursos.
- Capítulo IV Resultados y Discusión: Se presenta la información obtenida de las encuestas y se contrastan junto con la información bibliográfica adquirida para generar un análisis crítico y así definir las mejores prácticas de estimación de recursos.
- Capítulo V Conclusiones: En función de los resultados, se concluyen las metodologías y practicas más adecuadas para los yacimientos tipo pórfido cuprífero.
- Capítulo VI Recomendaciones: Se recomiendan análisis adicionales para futuras investigaciones, que tomen ésta como base para seguir desarrollando la guía de mejores prácticas de estimación de recursos. Además, se generan recomendaciones a la industria.
- Capítulo VII Referencias: Se muestra la bibliografía utilizada para llevar a cabo esta investigación que considera principalmente guías de mejores prácticas internacionales, de algunas empresas nacionales, códigos de reportabilidad y seminarios.

Capítulo II: Revisión Bibliográfica

2.1 Pórfidos Cupríferos

Los pórfidos cupríferos corresponden a un tipo de yacimiento con gran relevancia en Chile, principalmente por el tonelaje de metal que poseen y su abundancia en el territorio. Están asociados a magmatismo y fluidos provenientes de desgasificación magmática. Los minerales de interés económico suelen estar diseminados, en stockworks de vetillas, en vetas o en brechas hidrotermales y generalmente se distribuyen uniformemente en las rocas. Las características del pórfido quedarán definidas en función de los procesos hipógenos y supérgenos que hayan tenido lugar para su formación [1][2].

Los procesos hipógenos son cambios en la composición de las rocas producto de la intrusión de magmas provenientes desde el manto, y de los fluidos hidrotermales liberados por estos. La expansión de volátiles producto del ascenso y descompresión magmática aumenta la presión sobre las rocas generando nuevas estructuras por donde pueden moverse los fluidos y el magma. Parte de los metales que se encuentran disueltos en forma de complejos se depositan formando minerales a medida que el fluido se desplaza en el interior de la roca huésped, la que a su vez puede ser alterada. Las principales zonas de alteración hipógena presentes en los pórfidos corresponden a la argílica, sericitica, propilitica, potásica, calco sódica y cloro sericita. Cada una tiene la presencia y ausencia de minerales característicos definidos por las profundidades de cristalización, condiciones de presión y temperatura, pH del fluido hidrotermal, y con las características mineralógicas y estructurales de la roca huésped. En las Figuras 1 y 2 se puede apreciar el modelo de Lowell y Guilbert donde se muestra la distribución teórica de las alteraciones y zonas de mineralización hipógena [1][2].

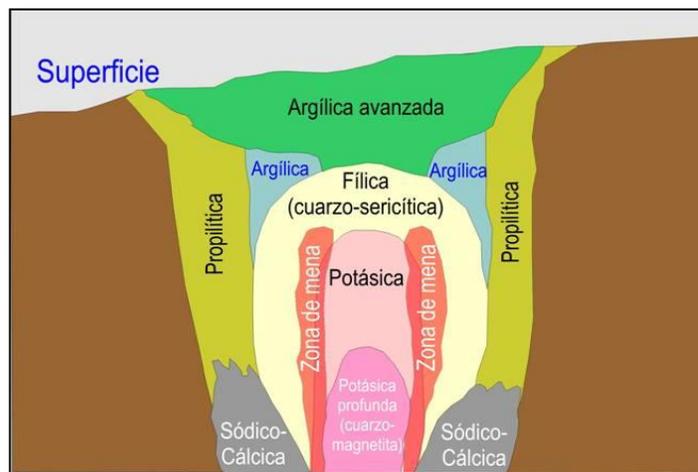


Figura 1. Modelo de zonas de alteración en yacimiento tipo pórfido cuprífero [1].

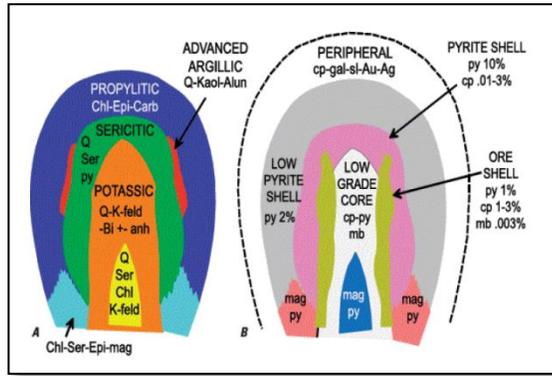


Figura 2. Modelo de zonas de alteración en yacimientos tipo pórfido cuprífero [1].

Los procesos supérgenos son posteriores a la intrusión (o intrusiones) del pórfido y corresponden a alteraciones ocasionadas por condiciones medioambientales oxidativas (sobre el nivel freático), de erosión o por la infiltración de aguas meteóricas. Algunos minerales se ven alterados debido a que no son estables bajo este ambiente. Producto de la oxidación de ciertos minerales de hierro (pirita principalmente) se genera ácido sulfúrico cuya presencia provoca la lixiviación de ciertas especies sulfuradas, llevando los metales a una fase acuosa que percola por las rocas. Si la roca de caja tiene componentes neutralizantes entonces se generará una zona de óxidos bajo la zona estéril. Si el líquido sigue su camino hasta abajo del nivel freático, este puede reaccionar con los sulfuros hipógenos generando una zona de mineralización de sulfuros supérgenos. En la Figura 3 se puede apreciar un esquema simplificado de la distribución de las zonas producto de estos procesos [1][3].

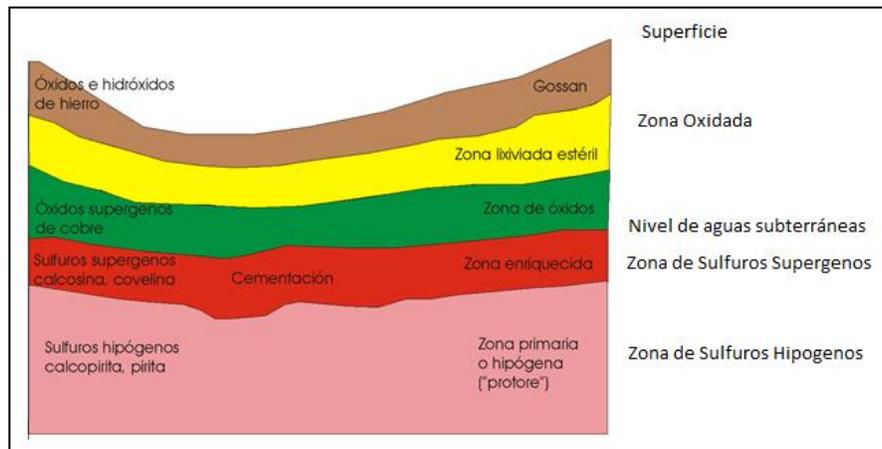


Figura 3. Perfil supérgeno típico de un yacimiento tipo pórfido cuprífero [3].

En la Figura 4 se aprecia un modelo que contempla tanto los procesos primarios como secundarios (hipógenos y supérgenos respectivamente). Sin embargo, hay que destacar que estos modelos son idealizados y muy pocos yacimientos siguen patrones tan bien definidos como estos. Aun así, es necesario comprenderlos dado que son la base para poder determinar los controles de mineralización y obtener una conceptualización geológica adecuada al momento de desarrollar el modelo geológico [1].

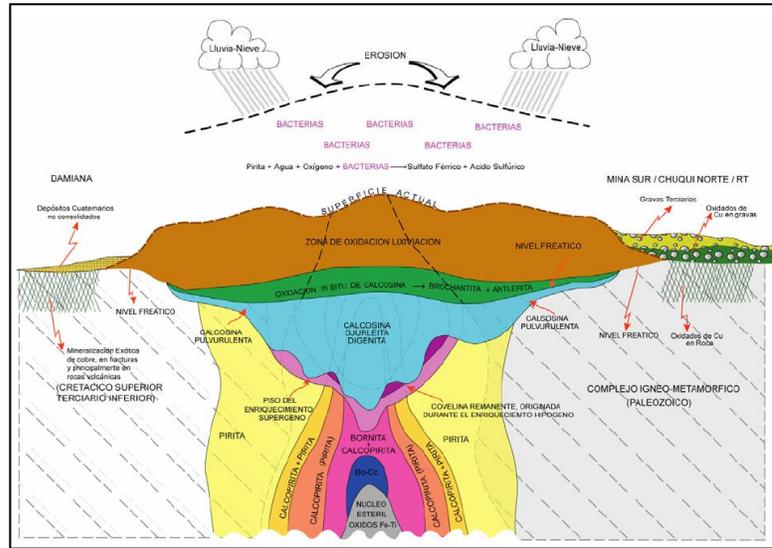


Figura 4. Modelo integral con procesos supérgenos e hipógenos [3].

Dependiendo del tipo de magma y de los procesos de formación (tomando en cuenta que también pueden ocurrir eventos de activación de fallas, plegamientos u otros que cambien la disposición del yacimiento), el yacimiento podrá tener diferentes configuraciones. Los pórfidos principalmente se pueden diferenciar por su contenido metálico, distribución (geometría) y estilos de mineralización (diseminado, brechas, vetillas o vetas). Estas características diferenciarán la forma en la cual se realiza el modelamiento geológico y la estimación de recursos [1].

Dentro del contenido metálico interesa analizar los yacimientos de Cu-Mo y los de Cu-Au. Los primeros se asocian con stockworks y/o brechas con cuarzo, calcopirita y molibdeno en intrusivo aproximadamente porfídico y rocas adyacentes con razón $Au[ppm]/Mo[\%]$ menor a 30. Los segundos están relacionados con stockworks de calcopirita, bornita y magnetita en intrusivo porfídico y rocas volcánicas contemporáneas con razón $Au[ppm]/Mo[\%]$ mayor a 30. Respecto a la distribución solo se diferenciará entre geometrías complejas respecto a otras relativamente más fáciles de modelar. Los estilos de mineralización de un yacimiento pueden ser varios en conjunto o predominar uno sobre los demás [1].

2.2 Etapas de Estimación de Recursos

El proceso de estimación de recursos tiene como objetivo desarrollar un modelo predictivo de la cantidad, calidad y distribución del material del subsuelo, considerando también las variables que influyan en su explotación y procesamiento. Se compone de etapas que son: la adquisición, almacenamiento y gestión de la información, el modelamiento geológico, la estimación de variables cuantitativas de interés (leyes de producto principal, contaminantes, tonelajes, etc.), la formación del modelo de bloques, la categorización de los recursos, y finalmente las reconciliaciones de los resultados obtenidos. Estas etapas deben considerar actividades de revisión, validación y documentación, apuntando al mejoramiento continuo y a la trazabilidad. Un esquema general y otro detallado son presentados en las Figuras 5 y 6.

Cada una de las etapas de estimación tiene que tener en cuenta una herramienta transversal a todas las industrias y procesos existentes que corresponde al QA/QC. El QA/QC tiene dos enfoques, Quality Assurance (aseguramiento de calidad) y Quality Control (control de calidad). El primero tiene relación con la definición de protocolos y actividades para poder generar un producto de cierto nivel de calidad, mientras que el segundo se centra en el cumplimiento de los protocolos y en controlar la calidad del entregable. Esta fuerte herramienta, si es aplicada de manera correcta, permitirá que a lo largo de las etapas de estimación se entreguen productos que disminuyen la incertidumbre del volumen, ley y distribución espacial de los recursos [4].

La estimación de recursos comienza en etapas tempranas de los proyectos de exploración. Aquí se define la zona a estudiar a partir de la geología regional, proponiéndose una hipótesis geológica sobre la que se diseña la base de datos y las cartillas de mapeo. Luego, en función de los hallazgos de superficie en terreno, puede determinarse la posición de los primeros sondajes de tipo scout. Si se encuentra mineralización, se puede continuar a etapas de generación de blancos, con el objetivo de encontrar intersecciones o continuidad a partir de una campaña de sondajes. Al pasar a etapas de exploración avanzada, se densifican las perforaciones y se desarrolla una conceptualización y modelamiento geológico. Éstos son la base para la definición de las unidades de estimación, que son dominios sobre los que se estimarán los recursos de manera independiente. Finalmente se procede con la estimación y desarrollo del modelo de recursos, cuyos bloques tienen asociado una categoría de la confiabilidad de los resultados (principalmente recursos inferidos y potenciales).

Al terminar las etapas de exploración comienzan las de ingeniería. Para ir avanzando en ellas (considerando solo el área de estimación de recursos), se requiere que un porcentaje de recursos cuente con cierto grado de confiabilidad, que dependen de la aversión al riesgo de la empresa (clasificados como recursos medidos o indicados). A estas alturas los modelos solo pueden conciliarse y validarse con información de sondajes de largo plazo, lo que cambia una vez el proyecto entra a etapas de producción, donde también se puede utilizar la información del corto plazo (geológica, leyes o recursos a partir de labores subterráneas o pozos de tronadura según corresponda).

Las etapas estimación de recursos quedan sujetas a ciertos principios de aplicación de los códigos internacionales (JORC, NI 43-101, CRIRSCO) y del chileno que son: la Transparencia, que corresponde a la presentación clara, oportuna e inequívoca de la información; la Materialidad, que trata de que toda la información relevante debe estar razonablemente dispuesta y accesible; y la Competencia, que establece que el informe público debe basarse en actividades que son de responsabilidad de una persona debidamente calificada y con experiencia en el tipo y estilo de yacimiento que se está informando.

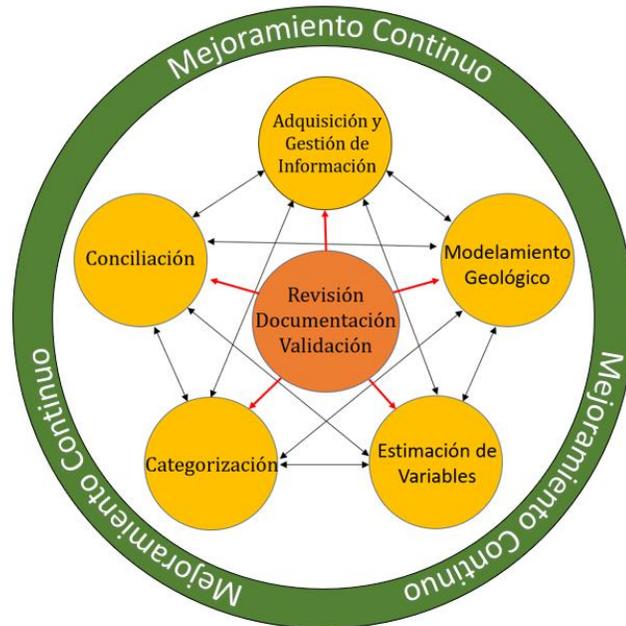


Figura 5. Esquema general de estimación de recursos. Confeccionado por autor.

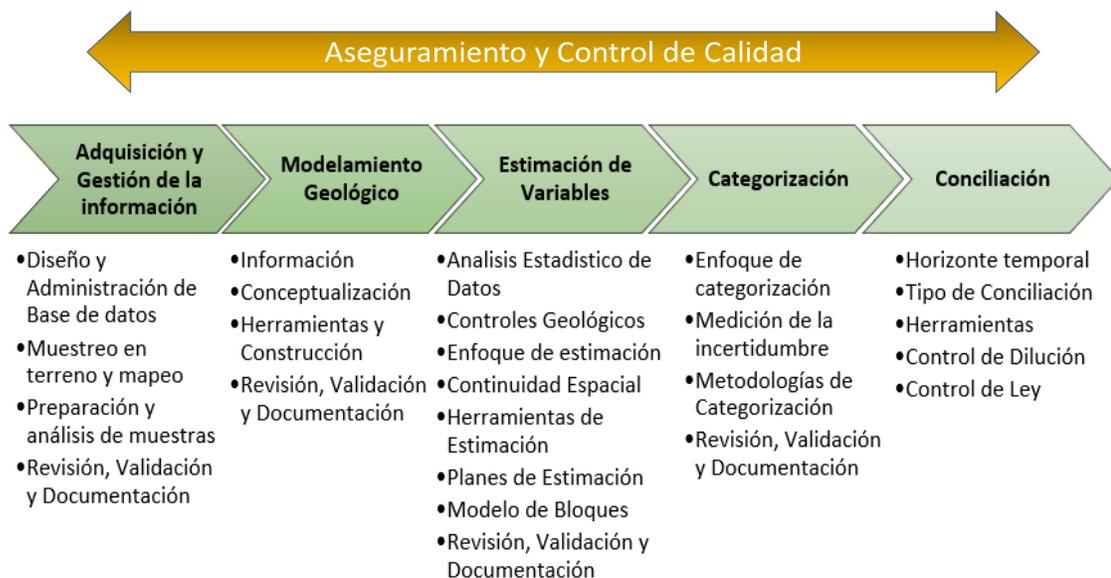


Figura 6. Esquema detallado de estimación de recursos mineros. Confeccionado por autor.

2.2.1 Adquisición y Gestión de la Información

La adquisición y la gestión de información son partes fundamentales del proceso de estimación de recursos. La primera, trata de la captura de los datos a partir de la obtención de muestras en terreno. Éstas son analizadas por geólogos para recabar sus características geológicas (mapeo), y posteriormente, son enviadas a preparación mecánica con el fin de producir submuestras para realizar diferentes tipos de ensayos (analíticos, geometalúrgicos, geotécnicos, etc.). La segunda se centra en el flujo de las muestras e información obtenida, las que deben quedar almacenadas de manera física y digital para asegurar su materialidad y trazabilidad. Para esto, es útil el uso de sistemas que muestren la ubicación y procesos a los que se están sometiendo las muestras, en conjunto con otros que permitan el acceso y uso de la información para diferentes miembros de la organización. Finalmente, debe existir un correcto diseño e interacción entre la base de datos y las cartillas de mapeo, con el fin de evitar inconsistencias, pérdidas o poca integridad de la información.

Los datos obtenidos son la base sobre la que se llevará a cabo el modelamiento geológico, y posterior estimación de leyes y tonelajes. Los resultados de estas etapas deben tener un alto nivel de calidad, ya que son la base de todo el negocio. Las equivocaciones en esta parte del proceso son difíciles de identificar aguas abajo, pudiendo conllevar a errores de interpretación. Esto afecta el resultado final de la estimación, pudiendo repercutir fuertemente en la toma de decisiones del modelo de negocio, por lo que es necesario que cada una de las actividades realizadas, cuenten con una metodología de QA/QC adecuada.

2.2.1.2 Muestreo en Terreno y Mapeo y Logueo

Luego de que la base de datos y las cartillas de mapeo sean diseñadas en función de la hipótesis geológica, se comienza a capturar los datos, siendo éstos la base fundamental del negocio. Se deben definir sus ubicaciones geoespaciales, los tipos de muestras y su finalidad, tomando en consideración la etapa del proyecto, la complejidad del yacimiento, los atributos geológicos, los minerales presentes, los metales de interés y consideraciones técnico-económicas (por ejemplo, puede que la malla necesaria para analizar sulfuros sea más amplia que la de óxidos).

Todas las decisiones son llevadas a cabo en función de la información disponible, por lo tanto, ésta debe tener una calidad adecuada relacionada con los estándares definidos por cada empresa. Para lograr esto, se deben desarrollar protocolos y controles tanto del muestreo en terreno, del mapeo geológico, geotécnico, geo-metalúrgico y del logueo de la información.

En exploración y etapas de ingeniería, las muestras corresponden a sondajes (de aire reverso, diamantina u otro) o afloramientos de diferentes campañas. Su objetivo principal es delimitar el cuerpo mineralizado y entregar la información base para la conceptualización geológica. Por otro lado, en explotación, las muestras provienen además de pozos de tronadura, bancos, labores subterráneas como canaletas, puntos de extracción, etc., siendo sus objetivos principales validar los resultados del modelo geológico o de estimación, y mejorar la interpretación del yacimiento a partir de la nueva información.

Los protocolos de muestreo en terreno tienen relación con la forma en que se deben seleccionar y ubicar las muestras, lo que depende fuertemente del tipo de muestreo a realizar. Los puntos principales a capturar, registrar y revisar para asegurar su calidad se encuentran en el Anexo I [5][6].

Cada una de las muestras debe ser analizada e interpretada respecto a sus atributos. Éstos pueden ser los tipos de mineralización (óxidos, sulfuros, mixtos, lixiviado, etc.), la alteración presente en las rocas (argílica, sericitica, potásica, etc.), las estructuras visibles (vetillas, vetas, brechas, etc.), las distintas litologías, etc. Esta caracterización es llamada mapeo geológico y debe ser común para todo el yacimiento. Es recomendable establecer una serie de protocolos para su realización, de manera que no haya incongruencias entre los geólogos. El mapeo geológico no tiende a realizarse bajo un soporte fijo, sino que se mapea en función de los contactos de las unidades visibles en las muestras. También se requiere mapear variables geo-metalúrgicas y geotécnicas, para desarrollar sus respectivos modelos que influyen directamente en el modelo de negocio.

En el caso de haber dificultades para definir cierto atributo, mineral o cronología, se pueden analizar algunas muestras bajo el microscopio haciendo uso de cortes transparentes, cortes pulidos, cortes transparentes-pulidos y/o briquetas pulidas, en función de la opacidad del material. [5][7][8][9][10].

El registro de la información debe realizarse de manera estandarizada (para los generadores internos y/o externos), en planillas tabuladas (de papel o electrónicas), rellenas con códigos establecidos. En la actualidad existen sistemas automatizados de registro de información, éstos tienen la finalidad de disminuir los errores que puede provocar un registro manual.

Para poder asegurar la calidad de la información se necesitan ciertos controles básicos. Estos corresponden a la supervisión en terreno y a las revisiones de mapeo. Ambas deben realizarse periódicamente con el fin de evitar errores en esta etapa.

- **Supervisión en Terreno:** Los errores en el muestreo pueden traducirse en importantes pérdidas de valor. Por tanto, cuando sea posible, un geólogo con experiencia debe estar supervisando que los protocolos de muestreo en terreno se lleven a cabo de manera adecuada. También es necesario educar a los muestreadores para que comprendan el nivel de excelencia que requiere su labor, y como ésta afecta y sustenta todo el negocio minero.
- **Revisiones de Mapeo:** Se deben revisar las interpretaciones que realizan los geólogos sobre las muestras y confirmar que siguen los protocolos definidos en el yacimiento para que así exista una coherencia geológica. Las revisiones de mapeo deben ser un proceso de discusión, un trabajo en equipo que permita determinar los problemas de interpretación y sus respectivas soluciones [5].

2.2.1.3 *Preparación y Análisis de Muestras*

Los análisis o ensayos a los que será sometido el mineral deben ayudar a determinar la composición mineralógica, química, densidad de las muestras y cualquier parámetro geológico, geotécnico o geo-metalúrgico (cada uno con sus protocolos y controles correspondientes), que impacte en el futuro modelo de reservas y por lo tanto en la estrategia y valor del negocio.

Uno de los puntos importantes de esta etapa tiene relación con el soporte de las muestras. La muestra de terreno debe tener un soporte tal que se adecúe lo mejor posible a los contactos de las unidades geológicas presentes, considerando también costos, tiempos de preparación, las diluciones geológicas, la dilución operativa y el tipo de yacimiento (ya que en yacimientos masivos no es tan relevante como en aquellos estructurales). Sobre este soporte debe realizarse un submuestreo en el laboratorio de preparación, para enviar cierta cantidad de masa a los laboratorios químicos. De esta masa se selecciona una parte para realizar los análisis. Ambas etapas deben generar muestras representativas de la muestra en terreno. Para el caso de ensayos geo-metalúrgicos y geotécnicos la cantidad de masa es mayor (generalmente más de una muestra en terreno), y los ensayos tienden a ser de carácter destructivo. Pese a su relevancia, este estudio no aborda en mayor detalle los protocolos relacionados con estas pruebas.

Los protocolos de muestreo, el tamaño final de las muestras obtenidas en el laboratorio de preparación, y la cantidad de masa necesaria para el análisis químico, se determinan en función de: parámetros intrínsecos del material (heterogeneidad, mineralogía, etc.), de las variables que se desean estimar, de la fuente de la muestra (sondaje, canaleta, etc.) y del tipo de análisis a realizar; por lo tanto, distintos protocolos serán desarrollados para diferentes yacimientos, y serán evaluados a partir de diversas pruebas (test de heterogeneidad, Ingamells, homogeneidad, etc.) [11][12][13][14].

Para poder validar los protocolos y los resultados de las pruebas, hay que realizar revisiones de calidad del mapeo, registro, muestreo, análisis realizados y de la base de datos, y también definir métodos de supervisión para las operaciones. Dentro de las herramientas de control y validación más comunes se tienen las siguientes:

- **Test de Heterogeneidad**: Herramienta utilizada para determinar la varianza del error fundamental que tiene un determinado protocolo de muestreo, en función de un experimento realizado sobre los fragmentos gruesos del material, haciendo uso de las ecuaciones de Pierre Gy. Una herramienta que acompaña al test de heterogeneidad corresponde al nomograma, que es un gráfico de ejes logarítmicos que muestra la varianza del error fundamental en función de la granulometría y el tamaño de la muestra [16].
- **Test de Ingamells**: Prueba que sirve para determinar el tamaño de una muestra para su envío a determinado análisis químico considerando cierto elemento de interés. Toma en cuenta la heterogeneidad del material producida por el error fundamental y errores de segregación y agrupamiento. Utiliza herramientas como la distribución de leyes, gráficos de dispersión, intervalos de confianza e histogramas para poder determinar la masa adecuada para el ensayo [13].

- **Test de Homogeneidad:** Sirve principalmente para determinar la homogeneidad dentro y entre frascos de muestras, es decir, analizar si existe un significado estadístico de la variación de una variable de interés. Para esto se comparan muestras duplicadas considerando un criterio respecto al Coeficiente de Variación y comprobando que las leyes sigan una distribución normal [12].
- **Estándares:** Muestras generadas bajo condiciones especiales que tienen una precisión y exactitud aceptables. Se utilizan como herramientas para asegurar la calibración de los análisis químicos, es decir, para evaluar la exactitud analítica de los elementos de interés (ausencia de error sistemático). Su conformación queda definida según protocolos específicos de cada yacimiento. Deben existir estándares para todos los rangos de leyes que se deban analizar. Los estándares pueden provenir internamente de la empresa (envíos a varios laboratorios para generarlos por Round Robin), ser comprados a un laboratorio o ambos. [4] [12] [17].
- **Blancos:** Uso de muestras de testigos o de preparación, de los que se tenga conciencia que tengan una muy baja o no detectable concentración del elemento que se quiere analizar (estéril). Se utiliza para controlar la contaminación de las muestras o de los equipos de muestreo [17].

Los blancos se subdividen en blancos gruesos y finos. Los blancos gruesos se someten al mismo proceso de preparación de las demás muestras. Deben ser preparados luego de muestras fuertemente mineralizadas para evaluar si se produce contaminación durante la preparación. Los blancos finos son muestras estériles de material pulverizado que se deben analizar luego de muestras con mineralización intensa y así determinar la contaminación en el proceso de análisis [4].

- **Duplicados:** Los duplicados corresponden a muestras que en teoría deberían ser idénticas. Se extraen ambas de un lote común bajo las mismas características de muestreo, y posteriormente son enviadas a análisis para comprobar cierto tipo de error. De esta forma se valida la precisión de la medición de una variable (cuando la dispersión del error de medición es pequeña). Se pueden incluir en diferentes etapas teniendo objetivos diferentes [17] [18].

Los duplicados de testigos son las muestras provenientes de la preparación de la otra mitad de cierta cantidad de los testigos. Su finalidad es determinar las diferencias respecto a la mitad original. Si los protocolos están bien construidos esta herramienta sirve para evaluar si el proceso de corte fue llevado a cabo de manera adecuada [4] [18] [19].

Los duplicados gruesos se realizan para muestras que ya pasaron por alguna etapa de chancado y cuarteo. Deben ser analizadas en el mismo laboratorio para evaluar error de submuestreo [4] [18].

Los duplicados de pulpa corresponden a material pulverizado. Son enviados al mismo laboratorio y su objetivo es determinar la precisión analítica del laboratorio [4] [18].

Los duplicados externos corresponden a material pulverizado. Son enviados a diferentes laboratorios y su objetivo es determinar la exactitud analítica del laboratorio primario [4] [23].

- **Sondajes Gemelos**: Canal paralelo aledaño al área donde ya se había recolectado una muestra. Ambas muestras deben ser obtenidas bajo condiciones idénticas. Esta técnica se utiliza para cuantificar la variabilidad del yacimiento en distancias cortas y posibles errores de muestreo en terreno [5] [18].
- **Estadísticas Básicas**: Las estadísticas básicas (de posición y de dispersión) como la media, desviación estándar, rango inter-cuartil, etc., permiten caracterizar un grupo de datos con el fin de analizar o comparar la información obtenida de diferentes variables [18].
- **Error Relativo y Coeficiente de Variación**: Son herramientas utilizadas para medir precisión al analizar la dispersión de las diferencias entre las mediciones de las muestras originales y sus duplicados. Se comparan los resultados de ambos respecto a estándares de aceptación, en conjunto con gráficos de error relativo contra tiempo o ley, para determinar si se cumple con la precisión necesaria [18].
- **Diagramas de Dispersión**: Permite analizar la correlación entre variables o la diferencia entre los valores de una variable para dos grupos de muestras. Esta comparación se aplica a duplicados, blancos, estándares, etc. Ayudan a determinar características de precisión, exactitud, contaminación, etc., de las medidas y de los protocolos [18].
- **Diagramas QQ**: Herramienta que permite una comparación directa entre las distribuciones de una variable en dos grupos de muestras a analizar, por ejemplo, el original y el duplicado. Al comparar cuantiles no es necesario que ambos grupos tengan la misma cantidad de muestras [18].

2.2.2 Modelamiento Geológico

El modelamiento geológico corresponde al desarrollo de un concepto que explica el comportamiento de un conjunto de atributos y características del yacimiento, culminando con su representación espacial a partir de modelos tridimensionales. Para realizarlo, el encargado del modelamiento analiza la distribución espacial y temporal de las variables geológicas a partir de la información de las muestras presentes en la base de datos. El modelador busca la continuidad de aspectos como la litología, la alteración, la mineralización, las estructuras, las leyes, etc., y que, a partir de un sustento geológico, interactúen como un todo explicando la formación y emplazamiento del yacimiento, para finalmente modelarlas como “unidades geológicas”.

Los procesos geológicos controlan la composición química y mineralógica del yacimiento, las condiciones estructurales y por consecuencia, el comportamiento del material frente a los diferentes procesos productivos a los que será sometido. Por lo tanto, el modelo geológico sirve como base para la construcción del modelo de estimación, del geotécnico, del hidrogeológico, del geometalúrgico y del de reservas, siendo el sustento para la toma de decisiones y para toda la estrategia de negocios minera.

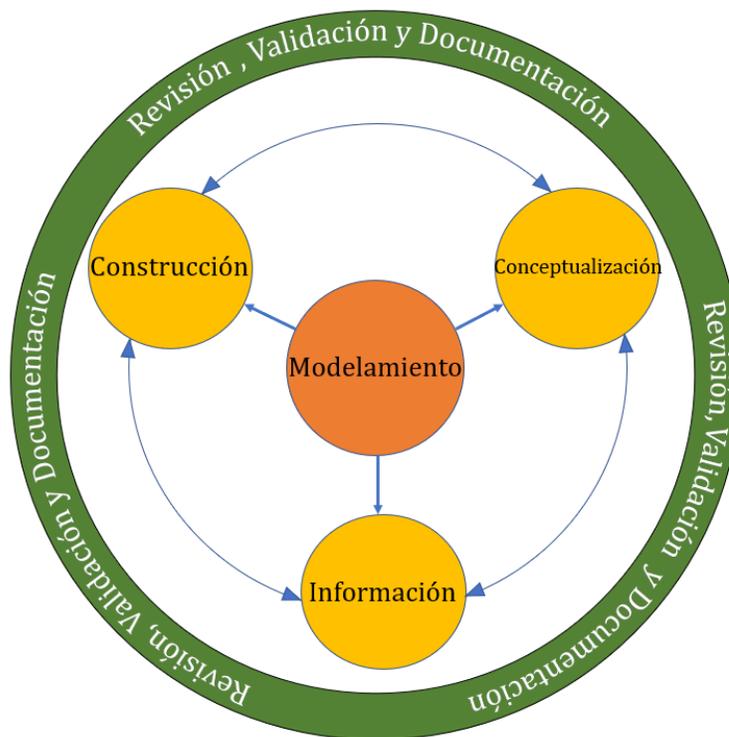


Figura 7. Esquema general modelamiento geológico. Confeccionado por autor.

2.2.2.1 *Identificación de Unidades Geológicas*

Las unidades geológicas corresponden a dominios espaciales y temporales con propiedades geológicas similares (identificables a partir del mapeo), es decir, un conjunto de puntos en el espacio cuyas características nos permiten agruparlos entre sí, o separarlos respecto a los que se encuentran a su alrededor en función de una variable específica. Tratan de encontrar continuidad para una variable en análisis. Los principales aspectos en los cuales fijarse en el caso de los pórfidos son los eventos primarios (hipógenos) y los secundarios (supérgenos), las zonas minerales, los techos y pisos de sulfuros u óxidos, los tipos de vetillas, etc., ya que la interacción o superposición de distintos eventos generan la configuración del yacimiento. Un procedimiento similar se lleva a cabo para caracterizar variables geotécnicas (unidades geotécnicas) o geometalúrgicas (unidades geo metalúrgicas), con la diferencia de que, en el caso de las últimas, la cantidad de información es mucho menor debido al costo de obtenerla. [21] [22].

2.2.2.2 *Delineación de Unidades Geológicas*

Las unidades geológicas son volúmenes en 3D, por lo cual deben tener sus límites definidos. Estos límites y contactos entre las unidades deben expresar su riesgo asociado, debido a que existe la posibilidad de que no se encuentren exactamente en la "línea" dibujada, sino tal vez, a varios metros de diferencia. Esto será de gran relevancia para ciertos tipos de yacimientos (como los con gran control estructural).

El modelo está sujeto a dilución geológica debido a que pueden existir unidades muy pequeñas para ser modeladas. Al modelarlas se podrían generar cuerpos aislados sin ningún sentido geológico, que no son relevantes debido a la futura dilución que habrá en la operación. Por lo tanto, se puede considerar la posibilidad de generar dilución en los contactos, para evitar la existencia de artefactos que no cumplan con criterios geológicos robustos en el interior de los cuerpos.

A continuación, se pueden apreciar las posibles herramientas a utilizar para definir los límites de las unidades y definir su incertidumbre.

- **Interpretación en Plantas y Secciones:** La interpretación de los fenómenos que dieron origen al yacimiento (teniendo en consideración también su temporalidad dado que eventos ocurridos en diferentes momentos no pueden mezclarse) se realiza en una serie de cortes de plantas y secciones de manera conjunta, es decir, al mismo tiempo. Las secciones tienden a generar una primera aproximación 2D y ayudan a visualizar controles geológicos sub-horizontales. Las plantas generan una mejor visualización de controles geológicos sub-verticales y completan la caracterización 3D (al realizarlas en conjunto con las secciones) [22].
- **Extrusión de Polígonos:** Proceso de expansión de una forma 2D para generar un objeto 3D. En general se deben utilizar geometrías básicas como líneas, puntos y polígonos [23].

- **Modelamiento Implícito:** Técnica de modelamiento que interpola los valores de los sondeos en relación con la distancia que hay entre cada dato respecto a los contactos más cercanos dentro de las muestras. Puede generar geometrías aisladas o artefactos horizontales, y a veces genera intercepciones forzadas o improbables, sin embargo, esto puede evitarse al tener un buen manejo del software de modelamiento [23].
- **Kriging de Indicador:** Se aplica un Kriging a datos binarios que tienen el valor 0 si el dato no pertenece a cierta categoría y 1 si pertenece. Los resultados de este Kriging corresponden a valores de probabilidad de que el punto estimado pertenezca a la categoría analizada. A partir de criterio experto se definen los umbrales de probabilidad que determinan si corresponde a una categoría u otra [24].
- **Simulación Geoestadística:** Principalmente se realiza una simulación de indicadores, donde se utiliza la metodología de simulación condicional con variables categóricas. Se realizan múltiples realizaciones para determinar la variabilidad de los límites y así poder delimitar las unidades [24].

2.2.2.3. *Validación del Modelo Geológico*

La validación del modelo geológico se basa su revisión considerando su consistencia con los datos, la forma en la que fue llevada la interpretación geológica y en que no exista sesgo en la estimación de tonelaje. Para esto se deben chequear y analizar geometrías extrañas (por ejemplo, cuerpos muy pequeños o aislados), la relación entre los parámetros del modelo (que la geología tenga sentido entre sí como la mineralización y la alteración), los criterios de interpretación en el mapeo, los métodos de agrupación y asociación tomando en cuenta la cronología de los eventos, inconsistencias geológicas, y finalmente una revisión de los contactos entre las unidades para tener un indicio de la variabilidad en el tonelaje. En el anexo I se puede apreciar un listado de los principales puntos a revisar.

A continuación, se presentan algunas herramientas que sirven para poder llevar a cabo la validación del modelo geológico:

- **BackFlag:** El backflag es una técnica que permite revisar si el modelo es consecuente con la información utilizada para su construcción, y también para determinar la dilución geológica. Puede realizarse viendo el porcentaje de muestras del modelo con la misma codificación que el sólido que la contiene (ej. El 80% de las muestras de litología A se encuentran dentro de un sólido de litología A) o viendo el porcentaje de muestras dentro de un sólido con su misma codificación (ej. el sólido de litología A tiene en su interior un 90% de muestras codificadas como litología A) [21] [22].
- **Análisis de Proporciones:** El análisis de proporciones constituye una herramienta que compara el porcentaje de muestras de un código para un atributo geológico determinado respecto al total de muestras, y lo compara con la proporción en volumen de los sólidos con esa codificación generados por el modelamiento respecto al volumen total de sólidos generados. Este análisis confirma que no hay errores en la conceptualización de los volúmenes de los sólidos. (ej. No tiene sentido que solo un 10% de las muestras sean de litología A mientras que el 90% del volumen de los sólidos sea de litología A) [21] [22].

- **Secciones de Control**: Metodología utilizada para interpretaciones en papel o digitales, que se basa en comparar el modelo con secciones con alta información geológica. Su objetivo es verificar que el modelo sea consistente con ellas. Actualmente las secciones de control pueden importarse a softwares [21] [22].
- **Reinterpretación**: Esta técnica se basa en realizar una reinterpretación del modelo. Para ello se retira o agrega información (por ejemplo, quitando o agregando sondajes), y así en función de cuanto varíen los contactos del modelo, se tendrá una medida de su robustez y de qué tan bien definida está la cantidad de información en las diferentes zonas. Otra manera de reinterpretar es comparar la interpretación de dos geólogos [21] [22].
- **Control de Cambios**: Se analizan los cambios que hubo entre un modelo geológico y su actualización para definir si fueron causados principalmente por errores en la base de datos, mala interpretación geológica en el mapeo, en la conceptualización del yacimiento, o si simplemente los cambios generaron una definición diferente de los límites de las unidades debido a la incorporación de nueva información [21] [22].
- **Evaluación de Predicción**: Se compara para cada atributo geológico la diferencia entre lo que el modelo predecía qué habría en una ubicación del espacio con los nuevos datos obtenidos desde la operación (modelo de corto plazo) o proveniente de nuevas campañas de sondajes (comparación con los mismos sondajes) [21] [22].

2.2.3 Estimación de Variables Cuantitativas

La etapa de estimación de variables cuantitativas tiene como objetivo generar un modelo que represente la distribución de las leyes, tonelajes y otras variables relevantes del yacimiento. Al igual que en el caso del modelamiento geológico, se pueden realizar modelos de estimación en función de diferentes horizontes temporales y con distintos objetivos. Estos son principalmente evaluar proyectos en etapas tempranas, valorizar compras y ventas, su uso como base para tomar decisiones y ser el sustento de promesas de producción (tanto en el largo como en el corto plazo). Se basa en la información de los mapeos geológicos, de los ensayos analíticos, geo-metalúrgicos y del modelo geológico, incorporando un aspecto matemático-estadístico para entregar resultados insesgados.

Los datos para realizar la estimación pueden provenir de distintas fuentes, por lo que sus soportes volumétricos tienden a ser diferentes. Esto puede influir en los resultados, por lo que deben tomarse decisiones sobre cómo combinar esta información. También hay que considerar algunos parámetros operacionales, ya que generar un modelo a partir de información muy detallada no tendrá mucho sentido si la operación va a generar dilución. Por lo tanto, es necesario determinar a qué tamaño llevar las muestras de manera que se adecuen a las necesidades del proyecto. Se debe distinguir la diferencia entre compositación y regularización, conceptos que son explicados a continuación [35].

- **Regularización:** Es un proceso en el que las diferentes muestras de sondajes se llevan a un mismo tamaño de soporte (generalmente se simplifica al solo considerar el largo de las muestras), mezclándose entre ellas. Como las muestras son irregulares, parte de los compósitos no alcanzan a tener el tamaño necesario y tienden a haber dos opciones para tratar estos tramos: la primera es eliminarlos ya que se encuentran en la parte inferior de los sondajes y la segunda es incorporarlos al último segmento para no perder información [21] [35].
- **Compositación:** La compositación es el proceso en el que, a partir del tamaño de regularización y de un algoritmo definido, se ponderan las muestras que conforman el soporte regularizado y se determina tanto su codificación geológica como el valor de las variables cuantitativas de interés. Compósitos más pequeños se utilizarán cuando se necesite realizar análisis con mayor detalle y compósitos más grandes cuando no. Estos últimos generan un suavizamiento de la(s) variable(s) medida(s), por lo que se debe realizar un análisis estadístico antes y después de compositar con el fin de determinar cuánto varían los valores de las variables respecto al tamaño original de la muestra. También se debe analizar el efecto que tienen los compósitos que atraviesan más de una unidad geológica [21] [35].

Ambos procesos se llevan a cabo de manera simultánea y comúnmente se tiende a hablar solo de compositación. El tamaño de compósito debe escogerse de forma que genere menor variabilidad respecto a los datos originales y que a su vez ayude con los objetivos de modelamiento o estimación.

La asignación de leyes y tonelajes se realiza en un soporte llamado bloque que es un volumen definido por las características intrínsecas del yacimiento (por ejemplo, geométricas), por el método de explotación, por la programación de explotación, y considerando que un menor volumen aumenta el error o incertidumbre que se tendrá de la estimación. El bloque será el elemento básico del modelo y contendrá todos los atributos necesarios para las etapas posteriores del proyecto.

Hay muchos criterios para realizar la estimación de recursos, pero el paradigma actual se basa en la definición de Unidades y Planes de estimación, con los cuales se estimarán las variables necesarias para el modelo de bloques.

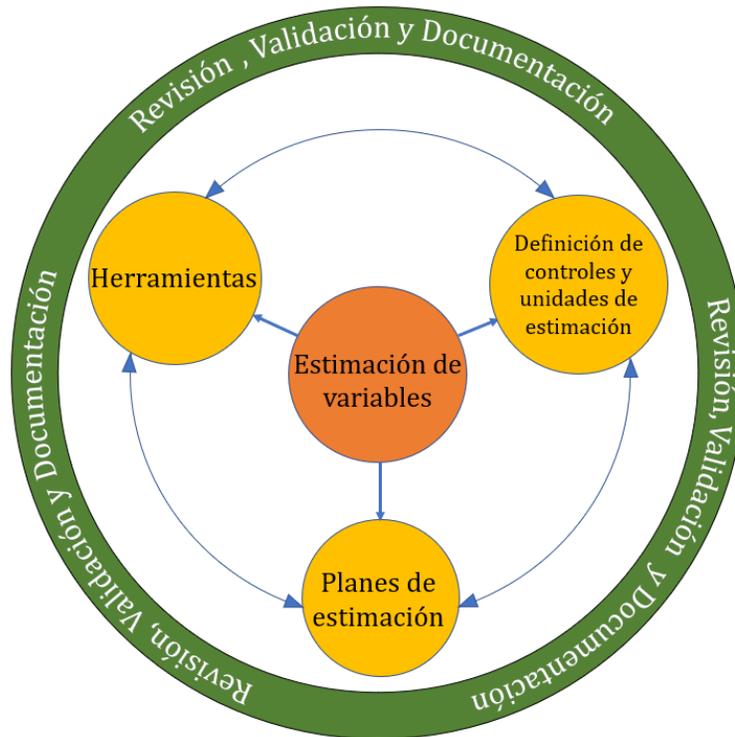


Figura 8. Esquema general Estimación de Variables. Confeccionado por autor.

2.2.3.1 Unidades de Estimación

Para poder realizar la estimación de recursos se deben definir “Unidades de Estimación” (UE). Estas son dominios donde las características del material son lo suficientemente similares en su interior y diferentes con los otros definidos a su alrededor. Su finalidad es separar los datos que serán utilizados para estimar las variables en una u otra región del espacio. Esta separación se debe determinar considerando tanto un sentido geológico como estadístico (quebres en poblaciones u otras consideraciones), y contemplando las posibles combinaciones de Unidades Geológicas (UG) que pudiesen estar controlando la distribución de la mineralización.

Las siguientes herramientas pueden ser utilizadas para el análisis estadístico y para la definición de las unidades de estimación:

- **Desagrupamiento**: En general para hacer un análisis estadístico se deben utilizar ponderadores que sirvan para corregir los efectos provenientes de la irregularidad de la malla de muestreo, dándole una relevancia menor a datos agrupados (redundantes en su información). Para llevar a cabo el desagrupamiento tiende a utilizarse el método de las celdas, donde la zona muestreada se separa en celdas de igual dimensión, agrupando las muestras que quedan dentro de una misma celda, definiendo un ponderador inversamente proporcional al número de muestras. En este aspecto, la elección del tamaño de la celda tiene un carácter relevante en los resultados de las estadísticas desagrupadas, por lo que la decisión debe ser discutida y fundamentada adecuadamente [21].
- **Diagramas QQ**: Es la misma herramienta que se utiliza en el control de calidad de muestreo para comparar dos distribuciones, sin embargo, en este caso se utiliza con el fin de determinar la relación entre las leyes de dos potenciales unidades de estimación [21].
- **Leyes Promedio**: Se puede calcular el valor promedio de una variable para dos potenciales unidades, una diferencia importante puede indicar que efectivamente es necesaria su separación, y que el control de mineralización analizado efectivamente influye en el dominio sobre el que se llevara a cabo la estimación [21].
- **Gráfico de Derivas**: Dado que no todas las UE's presentan estados estacionarios de las variables de interés (homogéneos o sin derivas), sino que más bien, se puede apreciar una tendencia en función de su ubicación, es necesario, a partir de un gráfico de posición contra variable geológica, determinar cómo se comporta ésta en las principales direcciones del espacio [21].
- **Gráfico de Cajas**: Es una representación de los cuantiles de la distribución de datos en un solo eje. Muestra los cuantiles 2.5 % y 97.5 % y también el primer, segundo y tercer cuartil. Resume algunas características de la distribución y permite apreciar diferencias entre unidades [20] [21].
- **Gráficos de Distribución de Probabilidad**: Se usa para contrastar una distribución experimental respecto de una de referencia teórica. En minería las variables tienden a comportarse de manera normal o lognormal, por lo que éstas son las distribuciones que se utilizan como referencia. El gráfico se ordena de manera lineal cuando los datos corresponden a la distribución de referencia, y pueden apreciarse quiebres cuando existe más de una población [20] [21].
- **Gráficos de Contactos**: Se utiliza un gráfico de distancia al contacto contra la variable de interés, para ver cómo cambia la ley en torno a los límites entre dos unidades de estimación. Se pueden definir dos tipos de contactos: los llamados duros que se caracterizan por una clara discontinuidad de las leyes al cruzar el contacto, por lo que no se puede pensar en la mezcla de las unidades, y los contactos suaves donde la variable no cambia mucho en torno de la interfaz entre las UE's, habiendo la probabilidad de que se puedan utilizar muestras inter-unidad. Es decir, los gráficos de contactos son una herramienta que da señales de cómo escoger los datos al momento de la estimación [21].

- **Análisis Variográficos:** La variografía se compone de herramientas que sirven para analizar la distribución y correlación espacial de una variable regionalizada. Determinan la relación (contraste o desemejanza) que hay de la variable para un par de muestras que se encuentran a ciertas distancias, direcciones y tolerancias específicas. Para analizar la información de la variografía se utilizan gráficos de distancia contra valor del variograma en una o varias direcciones y, para casos multidireccionales también puede utilizarse el llamado mapa variográfico con el que se pueden apreciar mejor las tendencias de continuidad. Entre más pequeño el valor del variograma más relación hay entre los datos que se separan por la distancia analizada. Los variogramas son una herramienta potente y necesaria debido a que a partir de ellos se puede realizar la estimación por Kriging, que es la técnica de interpolación de datos más usada actualmente [21] [35].

Puede ocurrir que dentro de los datos ciertos valores sean notoriamente diferentes al resto. Estos se conocen como outliers o valores escapados. Su presencia puede influir significativamente en los resultados de la estimación generando sobre-estimaciones o subestimaciones en un entorno cercano a ellos, por lo tanto, se debe realizar un análisis del impacto de los criterios utilizados para manejarlos antes de tomar una decisión.

- **Identificación de Outliers:** Para poder identificar los valores escapados se debe analizar si son parte de la misma población. Para esto se pueden utilizar herramientas estadísticas como gráficos de probabilidad, histogramas, Test de Grubs o Rosner, entre otros [20].
- **Manejo de outliers:** La decisión de qué forma manejarlos dependerá de criterios expertos. En un principio se debe revisar si el dato proviene de un error en el desarrollo de la base de datos, en caso de no serlo, el impacto de su tratamiento debe ser estudiado para ver de qué manera afecta el resultado de la estimación. El manejo de outliers se puede llevar a cabo de muchas maneras, por ejemplo, estos se pueden eliminar, disminuirlos a un límite superior (truncamiento o capping), reemplazarlos por el promedio de las muestras más cercanas, acercarlos a una regresión o, en la construcción del modelo de recursos, se puede restringir el radio de búsqueda para que no se consideren en la estimación de bloques demasiado lejanos (high yield) [20].

Una vez definidas las unidades de estimación, y al haber determinado el manejo de los datos aberrantes, se cuenta con la información mínima requerida para comenzar a desarrollar el plan de estimación.

2.2.3.2 *Plan de Estimación de Recursos*

Para poder llevar a cabo la estimación de recursos es necesario definir un plan de estimación. Este se refiere a la forma en la que las muestras van a ser escogidas para estimar los diferentes bloques, y también a la herramienta de estimación con la que se calculará el valor de la variable analizada. Las estrategias tienen relación con la distancia hasta la que serán seleccionadas las muestras, las cantidades máximas y mínimas de muestras por sondajes, el número de sondajes, las direcciones de anisotropía, las estructuras presentes, los tipos de límites de las unidades y otras consideraciones geológicas. Malas estrategias (que no estén enfocadas en la geología o dominios definidos con anterioridad), pueden generar estimaciones sesgadas que consideren datos indebidos para ciertas ubicaciones en el espacio. Las herramientas de estimación por su parte son diferentes en su naturaleza, desde modelos matemáticos que consideran la distancia de las muestras respecto al bloque, hasta geoestadísticos más complejos o incluso basados en simulaciones. Respecto a lo anterior se pueden presentar las siguientes metodologías:

- **Estimación Global**: La estimación se hace en un soporte grande intentándose estimar la ley media y tonelaje de todo el yacimiento o de un volumen de producción representativo de un periodo a analizar (anual, quinquenal, etc.) [21] [25].
- **Estimación Local**: La estimación se realiza en un soporte pequeño como las unidades o bloques dentro del yacimiento, se puede utilizar para determinar zonas de mayor interés (ricas individualmente) y para direccionar la explotación. Es tan importante como la estimación global, dado que errores locales pueden afectar al negocio en el corto plazo [25].
- **Polígonos o Poliedros de Influencia**: Estimador local que trata de interpolar los datos en función de la muestra más cercana a la posición a estimar. Se generan polígonos (2D) o poliedros (3D) de influencia. En general es una mala práctica debido a que produce imprecisión debido al apantallamiento de la información más lejana [20] [25].
- **Inverso de la Distancia**: Este estimador local asigna ponderadores inversamente proporcionales a la distancia al sitio a estimar, por lo tanto, las muestras cercanas tienen una influencia mayor que las lejanas (la diferencia de influencias dependerá de la potencia a la que se encuentre elevada la distancia) [20].
- **Kriging Simple**: El Kriging es un estimador lineal local basado en una suma ponderada de datos. Toma en cuenta las distancias al sitio a estimar, las redundancias entre los datos y la continuidad espacial de la variable regionalizada (variograma). Por construcción, el error de estimación del Kriging tiene media nula (insesgo) y varianza mínima (precisión) El Kriging Simple es una forma de Kriging donde la media de la variable a estimar es conocida. El rol de la media es compensar la falta de información cuando hay datos escasos o muy alejados [20].

- **Kriging Ordinario**: Es otro tipo de Kriging donde se considera que la media de la variable a estimar no es conocida. Esta variante otorga mayor flexibilidad que el Kriging Simple, puesto que la media de la variable puede variar a escala global, siempre y cuando permanezca aproximadamente constante a escala local, permitiendo entonces enfrentar los casos de variables cuya media no es rigurosamente constante en el espacio (presencia de tendencias) [20].
- **Kriging de Bloques**: Consiste en estimar el valor promedio de una variable sobre un soporte mayor respecto al del dato (que generalmente se considera como un punto). Para esto hay dos metodologías: Realizar numerosos Kriging sobre varios puntos del bloque que luego son ponderados (la cantidad debe ser determinada en función de la covarianza del bloque). O estimar directamente los bloques a partir de las ecuaciones de kriging de bloques. [20].
- **Co-Kriging**: Corresponde a una versión multivariable del Kriging donde a partir de datos de variables correlacionadas se estima el valor de una particular. Requiere el uso de variogramas individuales (directos o simples) y variogramas cruzados que miden la interdependencia entre variables [20].
- **Simulación Geoestadística**: Consiste en generar una realización de la variable regionalizada que reproduzca su continuidad espacial y valores medidos. Es una alternativa al Kriging debido a que no suaviza la distribución espacial de la variable, representando mejor con la variabilidad. Las características principales de la simulación corresponden a que es insesgada, con interpolación exacta pero no es precisa, lo que se corrige con la construcción de múltiples simulaciones, las que vistas como escenarios equiprobables, pueden ser utilizadas para medir riesgos e incertidumbre [20] [24].
- **Métodos de cambio de soporte**: Método geoestadístico no lineal que permite modelar las relaciones de tonelaje y ley en función de la selectividad minera y un conjunto de leyes de corte. Pueden ser de carácter local o global con la diferencia de que con los primeros se puede determinar la ubicación de los bloques estimados [26].
- **Cambio de soporte discreto gaussiano**: Es un método de cambio de soporte global sin restricción para la distribución de los datos que utiliza una anamorfosis gaussiana para la determinación de la distribución de las leyes en bloques de tamaño arbitrario. A partir de esto se pueden construir curvas tonelaje ley [27].
- **Condicionamiento Uniforme Local**: Técnica de cambio de soporte local que sirve cuando la densidad de información es muy baja como para estimar bloques del tamaño de la selectividad minera. Requiere conocer la ley real de un volumen mayor que contenga los bloques, el que, al no ser conocido, se cambia por la ley estimada por Kriging ordinario. Entrega resultados con una mayor resolución manteniendo la condición de insesgo [26].

2.2.3.3 Validación de Estimación

La validación en esta etapa es la revisión de los criterios y resultados de la estimación (tanto en tonelaje como en ley). Tiene como objetivo principal ratificar el modelo o identificar zonas de mejora. Para tener una buena validación del modelo, éste se tiene que revisar sistemáticamente buscando diferencias importantes con respecto a los datos. También se puede realizar una evaluación de predictibilidad cuando exista información de operaciones o de nuevos sondajes. Al igual que en todas las etapas se requiere revisar los datos utilizados y los resultados anteriores (en este caso el modelo geológico). Se pueden apreciar las técnicas y revisiones típicas a continuación.

- **Revisión de Criterios Geológicos:** Se debe revisar que la separación en unidades de estimación tome en cuenta las características geológicas del yacimiento, y no solo consideraciones de distribución de leyes en las muestras. Desarrollar modelos de isoleyes tiende a generar malas estimaciones (con artefactos o controles artificiales) cuando los controles geológicos son relevantes [21].
- **Estadísticas de Bloques vs Muestras:** El valor promedio de los datos debe ser similar a la de los bloques estimados en volúmenes lo suficientemente grandes. Las causas principales que pueden generar diferencias (sesgos) pueden ser extrapolaciones excesivas, errores en los datos utilizados para la estimación, entre otros [21].
- **Similitud de Valores Estimados con Datos Cercanos:** Estimaciones de una misma unidad deben ser similares a los datos que son cercanos a ellos. Esto tiende a ser verdad en la medida de que el efecto pepita o la variabilidad a distancias pequeñas no sea muy grande en función del soporte utilizado [21].
- **Nivel de Suavizamiento:** Hay que fijarse en el nivel de suavizamiento que presenta la estimación. Para realizar esto existen distintas herramientas como la comparación entre los resultados y las muestras. Existen otros métodos como el vecino más cercano o con un análisis de cambio de soporte [21].
- **Inspección Visual:** Se debe realizar una comparación entre los datos y los valores del modelo, esta revisión debe realizarse exhaustivamente en secciones y plantas. Los problemas encontrados deben ser chequeados y registrados [21].
- **Validación Cruzada:** Para verificar el desempeño de la estimación se utiliza la técnica de validación cruzada, con la que a partir del mismo plan de Kriging se estima cada uno de los datos en función de los demás, determinándose la diferencia entre el valor estimado y el valor real mediante un análisis estadístico [21].
- **Jack-Knife:** El Jack-Knife funciona de manera similar a la Validación Cruzada, solo que en este caso los datos se separan en dos subconjuntos, estimándose los datos de uno a partir de los del otro [21].
- **Evaluación de Predictibilidad y Conciliación:** Se comprueba cuál fue la capacidad del modelo para predecir las leyes y los tonelajes de metal en función de nuevos datos provenientes de explotación o de una nueva campaña de sondajes [21].

- **Revisión de Errores:** Se revisan los errores de estimación con el fin de determinar si las características de definición de las unidades, controles geológicos o el plan de estimación fueron llevados a cabo de manera correcta. Se deben revisar las medias y varianzas de los errores, las nubes de dispersión entre valores reales y estimados y sus derivas en función de lo que se quiera validar [21] [23].
- **Control de Cambios:** Se analizan los cambios que hubo entre un modelo de estimación y su actualización para definir si fueron causados principalmente por errores en la base de datos, mala interpretación de los controles de mineralización, un error en la definición de las unidades de estimación, o si se generó una definición diferente de los límites de las unidades producto de la incorporación de nueva información. En teoría una buena estimación no debería cambiar de manera importante (en promedio para un volumen grande) al incorporar información nueva [21].

2.2.4 Clasificación de Recursos

La clasificación o categorización de recursos busca entregar una medida del nivel de confianza que se tiene de la exactitud y precisión de las leyes y tonelajes estimados de uno o más elementos de interés del yacimiento. Esta confianza puede basarse en la cantidad de información, calidad de datos (QA/QC de registro físico, muestreo, análisis químico, mapeos, perforaciones, etc.), aspectos geológicos (complejidad del yacimiento, continuidad de mineralización, conceptualización del yacimiento, forma de construcción del modelo, etc.), y de la estimación de variables de interés (continuidad de leyes y unidades de estimación), ya que son las principales fuentes de error e incertidumbre. Los recursos se clasifican en orden ascendente de confianza como inferidos, indicados y medidos. Los criterios y umbrales que definen cada categorización dependen del dueño del negocio y del juicio experto del estimador siendo decisiones subjetivas [28].

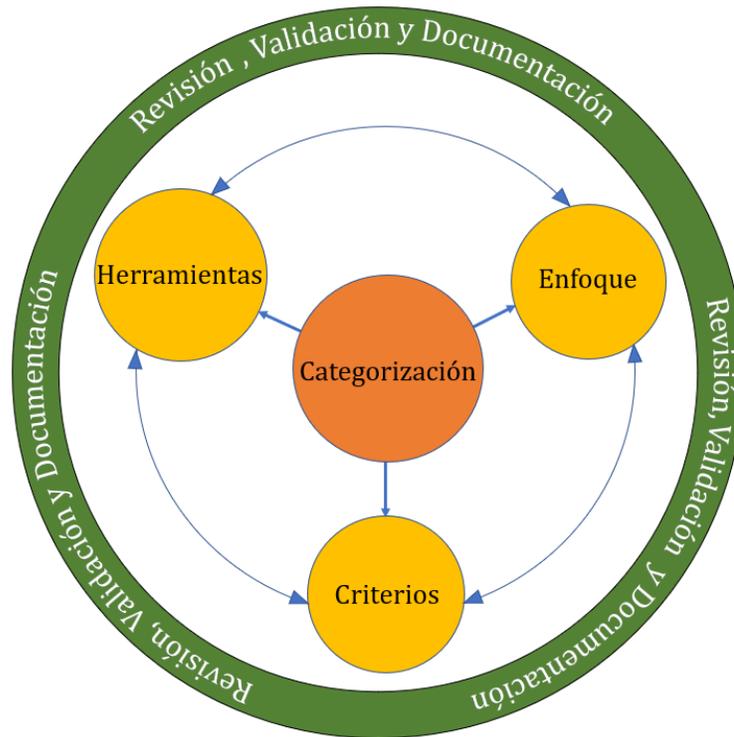


Figura 9. Esquema general Categorización de Recursos. Confeccionado por autor.

- **Incertidumbre de Ley y Tonelajes Estimados:** Principalmente se basa en la necesidad de entender la incertidumbre tanto de las leyes como de los tonelajes estimados. En función del soporte analizado, se puede tener una mayor incertidumbre de las leyes o el tonelaje, así, por ejemplo, en un gran volumen la incertidumbre de las leyes disminuye mientras que para el tonelaje aumenta. Estas características también van a tener relación con la complejidad de los cuerpos (los más continuos tienen mayor incertidumbre de ley, mientras que los con estructuras principales o geometrías complejas tienen mayor incertidumbre de tonelaje) [21].

- **Distancia a la Muestra más Cercana:** Para definir la clasificación del recurso se puede analizar su distancia a la muestra más cercana, comparándose con el radio de búsqueda utilizado para la estimación o el alcance del variograma de leyes. Cuando ésta distancia es menor, el recurso puede clasificarse como medido o indicado. En el caso contrario, éste puede considerarse inferido. Este método es simple, pero sin justificación y no incorpora la continuidad geológica [21].
- **Dimensiones de la Malla de Sondajes:** Esta metodología analiza el tamaño de la malla de sondajes en función de la complejidad del yacimiento. Bloques rodeados de suficientes muestras tienen la confiabilidad de ser definidos como medidos o indicados, sin embargo, si se encuentran lejos de los sondajes, su clasificación solo puede ser de inferidos. También hay que considerar que las mallas no siempre son regulares, en este caso se debe calcular una malla cuadrada equivalente para poder analizar la densidad de las muestras. El problema de este enfoque es que las dimensiones de las mallas umbrales no necesariamente deberían ser del mismo tamaño en todas las zonas del yacimiento y en algunos casos se utilizan por igual. Por ejemplo, los recursos en zonas complejas pueden clasificarse como medidos o indicados utilizando el mismo criterio o tamaño de malla que una zona de menor complejidad. Esto no es adecuado ya que una zona compleja puede requerir una mayor cantidad de información para ser representada correctamente, y de esta forma asegurar los mismos niveles de confiabilidad [21].
- **Varianza de Kriging:** Es una medida de la varianza del error de la estimación en función de la distancia entre el punto a estimar, los datos utilizados y el variograma de estos. No considera los valores de las leyes, por lo que puede omitir fuentes de incertidumbre (por ejemplo, un efecto proporcional, donde la variabilidad local es mayor en las zonas con mayores leyes). Otro problema es que la selección de los valores críticos de varianza puede ser arbitraria y no tener sentido para la categorización. Otro punto por considerar es que si hay una incorporación de datos nuevos la varianza de Kriging puede cambiar, haciendo que bloques que antes tenían menor información y eran clasificados como medidos ahora sean clasificados como indicados o inferidos [21].
- **Simulación Condicional:** En este caso la simulación condicional se utiliza para definir la incertidumbre de los valores estimados de manera cuantitativa (en general para diferenciar recursos medidos e indicados), también se puede utilizar para analizar la incertidumbre en las toneladas y leyes sobre una ley de corte. Se producen realizaciones equi-probables de la variable que reflejan la variabilidad de una zona.
- **Clasificación por Error, Probabilidad y Volumen EPV:** Considera la clasificación en función de un volumen de producción (asociado temporalmente según ritmos de extracción), continuidad geológica, configuración de las muestras (distribución de sondajes) y variabilidad en función de la ley (efecto proporcional). El reporte de incertidumbre es claro y comprensible (ej. Volumen de producción trimestral, con un error de ley de 15% un 90% del tiempo para una malla de 50m x 50m se define como indicado). Para calcular estos niveles se utiliza alguna de las técnicas anteriores en función de sondajes sintéticos para poder así analizar el EPV para diferentes volúmenes y dimensiones de malla [29].

2.2.5 Conciliación del Modelo

La conciliación del modelo se refiere a la comparación entre los resultados del proceso de estimación (pronósticos) con los nuevos datos provenientes de la explotación minera (in situ) o de nuevas campañas de sondajes. El análisis de las desviaciones sirve para generar medidas de acción en las diferentes etapas del proceso de estimación, con el fin de tener un mejoramiento de los modelos, lo que puede traducirse en un mayor cumplimiento de los planes mineros y en una mayor certeza para el valor del negocio.

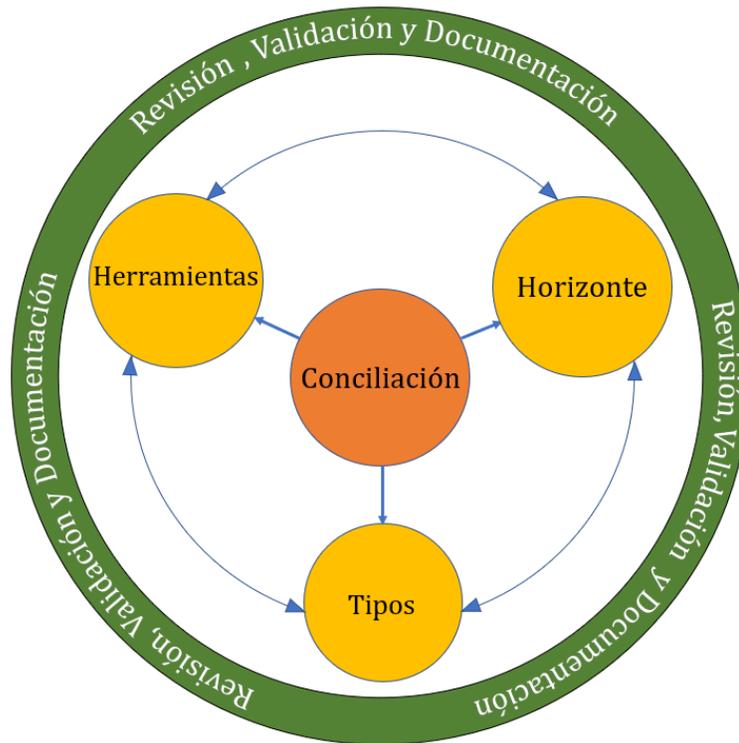


Figura 10. Esquema General de Conciliación. Confeccionado por autor.

Para llevar a cabo la conciliación se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Unidad Básica de Conciliación:** Se define como el volumen sobre el que se llevará a cabo la conciliación. En general se escoge como medida el soporte del modelo de bloques, también puede ser un volumen representativo de un horizonte temporal específico o la comparación de un modelo completo actualizado con información de nuevos sondajes [30].
- **Variable a Conciliar:** Es importante definir la variable a conciliar que no necesariamente es una ley metálica, ya que también puede ser un parámetro del modelo geológico como la alteración, mineralización, densidad u otro parámetro geo-metalúrgico o geotécnico según la necesidad [30].

- **Método de Explotación**: Para cada método de explotación se tendrán diferentes formas de realizar la conciliación. Esto es debido a los fenómenos particulares que los controlan, por ejemplo, en una mina subterránea de tipo block caving, es más común realizar la conciliación con el material extraído desde los puntos de extracción antes de la entrada de dilución, mientras que en rajo, se debe hacer una ponderación de los pozos de tronadura que componen la unidad de conciliación [30].
- **Calidad de la Información**: La información con la que se realiza la conciliación debe ser de alta calidad, por lo que esta debe ser validada y analizada antes de utilizarla. También es importante considerar una medida de la densidad de roca para tener una mejor representatividad de la realidad de los finos [30].
- **Representación de los Datos**: Para poder hacer la conciliación se pueden tomar en cuenta diferentes atributos como las unidades geológicas, la categorización, diferentes leyes de corte o zonas operacionales de la mina, con el fin de identificar cuál es el nivel de variabilidad [30].
- **Horizonte Temporal**: Se debe definir bajo qué horizonte realizar la conciliación, teniendo en cuenta que para un menor horizonte temporal existe una mayor variabilidad (por ejemplo, una conciliación semanal) con respecto a un horizonte mayor (conciliación anual) [30].

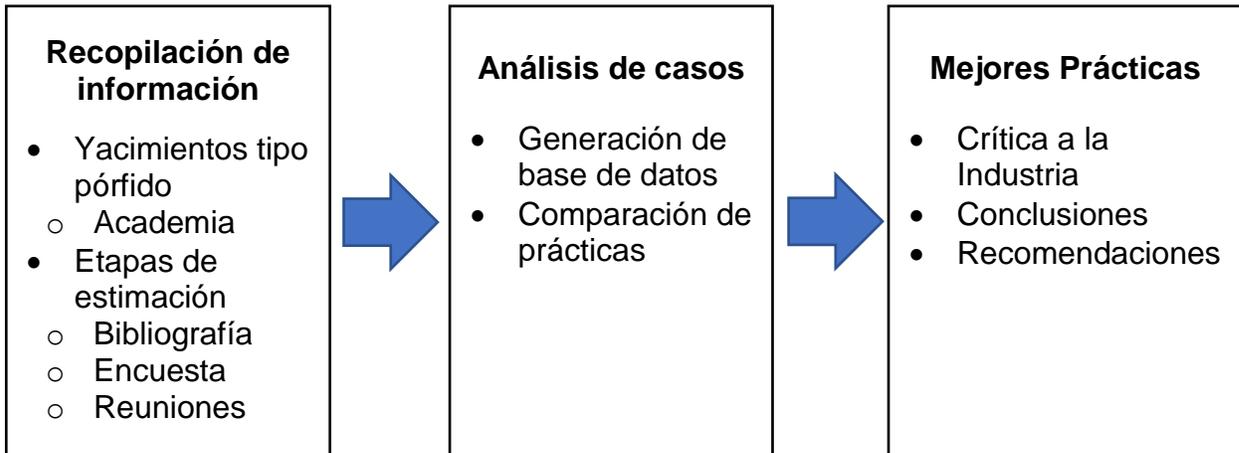
A continuación, se muestran una serie de herramientas que sirven para el análisis de la conciliación de datos:

- **Curvas Tonelaje Ley**: Se puede observar la sobreestimación o subestimación de las leyes y tonelajes al comparar la curva tonelaje ley determinada a través del modelo de recursos respecto a la desarrollada a partir del material realmente explotado [30].
- **Diagrama de Dispersión con Leyes de Corte**: A partir de esta herramienta se obtiene la cantidad de material que realmente fue enviada por planificación al destino que le corresponde por su ley. Un bloque subestimado, en vez de ser enviado a procesar, puede ser enviado a botadero o bloques que no debían ser parte de la envolvente económica del yacimiento pudieron ser considerados dentro de ésta [30].
- **Error Relativo Según Leyes o Cronología**: Se grafica el error relativo entre los datos in-situ respecto a los resultados de la estimación por cronología (horizonte temporal) o según las leyes para poder apreciar periodos con malas conciliaciones o la existencia del efecto proporcional (mayor variabilidad en zonas de ley más alta) [30].

Capítulo III: Metodología Experimental

Debido a que el estudio consiste en definir las mejores prácticas de estimación de recursos para los yacimientos de Pórfidos Cupríferos en Chile, se debe contar con la información de diversos yacimientos necesitando la cooperación de varias empresas. A partir de esta base se define la siguiente metodología:

Figura 11. Metodología Experimental. Confeccionado por autor.



3.1 Recopilación de información

El objetivo de esta etapa es recopilar la información relevante tanto de carácter académico como de la industria para poder llevar a cabo el estudio. Se recolecta información académica de los tipos principales de yacimientos tipo Pórfido Cuprífero, con el fin de tener un mayor entendimiento de las principales características que pudieran influir en el proceso de estimación. También se recolecta información desde fuentes bibliográficas para comprender las distintas metodologías y prácticas que se pueden efectuar en las diferentes etapas de estimación.

Para poder adquirir la información de la industria se realizan dos cuestionarios preliminares, el primero se encuentra enfocado a las empresas consultoras que realizan auditorías o trabajos específicos del proceso de estimación (por ejemplo la construcción del modelo, la estimación de recursos, etc.), principalmente se cuestiona las principales falencias de la industria y los criterios o aspectos más relevantes a tener en consideración al momento de enfrentar el desarrollo de cada etapa de estimación. El segundo cuestionario está dirigido a las empresas mineras y se centra en recopilar las prácticas y metodologías utilizadas, junto con los criterios para la toma de decisiones en la estimación de recursos. Además de los cuestionarios, también se recopila información mediante la experiencia práctica que se adquiere al estar en la gerencia de recursos mineros de CODELCO durante la realización del estudio.

Para hacer llegar los cuestionarios a las personas correspondientes se buscó la información de contacto en la base de datos de la Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras, enviándose de manera digital y posteriormente gestionando una serie de reuniones presenciales y telefónicas. Los cuestionarios pueden observarse en la sección de Anexos II.

3.2 Análisis de casos

El objetivo de esta etapa es analizar cualitativa y cuantitativamente los resultados de las encuestas y entrevistas, teniendo en consideración las practicas más habituales y cómo estas se alinean con los diferentes códigos y guías internacionales. También se tiene que analizar la diferencia entre los diferentes yacimientos que puedan justificar la elección de ciertas herramientas o la omisión de ciertas prácticas.

3.3 Mejores Prácticas

A partir de los resultados del análisis de casos se realiza una crítica de las metodologías de los distintos yacimientos y se concluyen finalmente las mejores prácticas de estimación para yacimientos de tipo Pórfido Cuprífero, comenzando con la confección del manual guía.

Capítulo IV: Resultados y Discusión

Se obtienen respuestas de 6 empresas consultoras (MV4, Geolnova, GeoEstima, EMI-SA, TetraTech, EMSA), un consultor particular (Marco Alfaro), la Gerencia de Recursos mineros de CODELCO, 6 empresas mineras con 12 yacimientos de tipo pórfido (CODELCO: Andina, Chuquicamata, Radomiro Tomic, Teniente, Ministro Hales y Gabriela Mistral; AngloAmerican: Los Bronces; Antofagasta Minerals: Zaldivar y un enfoque global más centrado en Pelambres; Teck: Carmen de Andacollo y Quebrada Blanca, BHP Billiton: Spence, y Collahuasi: Rosario y Ujina).

Las Tablas 1 y 2 presentan los tipos y particularidades de los yacimientos analizados, sus métodos de explotación, la etapa del proyecto en la que se encuentran y sus productos comerciales. De aquí se puede desprender que los yacimientos analizados van desde pórfidos típicos hasta pórfidos con fuerte componente estructural. Todos los yacimientos analizados se encuentran con minas operativas que producen cátodos o concentrados de cobre, molibdeno y oro.

Tabla 1. Características de yacimientos analizados.

ID	Empresa	Nombre	Tipo	Peculiaridades
1	CODELCO	Radomiro Tomic	Pórfido Cu-Mo	Pórfido con componente estructural y grava exótica.
2	CODELCO	Andina	Pórfido Cu-Mo	Pórfido con derivas.
3	CODELCO	Chuquicamata	Pórfido Cu-Mo	Existencia falla oeste.
4	CODELCO	Ministro Hales	Pórfido Cu-Mo	Brechas de alta ley.
5	CODELCO	Gabriela Mistral	Pórfido Cu-Mo	Óxidos con control estructural.
6	CODELCO	El Teniente	Pórfido Cu-Mo	Brechas con ley que cortan mineralización estéril.
7	AMSA	AMSA (Pelambres)	Pórfido Cu-Mo	Pórfido típico con control estructural.
8	AngloAmerican	Los Bronces	Pórfido Cu-Mo	Brechas de alta ley.
9	Teck	Carmen de Andacollo	Pórfido Cu-Au	Baja concentración de oro y presencia de mercurio.
10	Collahuasi	Rosario y Ujina	Pórfido Cu-Mo	Mezcla de pórfido con epitermal de alta sulfuración.
11	Teck	Quebrada blanca	Pórfido Cu-Mo	Brecha difícil de mapear.
12	BHP	Spence	Pórfido Cu-Mo	Yacimiento superficial con enriquecimiento secundario.
13	AMSA	Zaldivar	Pórfido Cu-Mo	Intrusiones dacíticas.

Tabla 2. Características mineras básicas de los yacimientos.

ID	Explotación	Etapa	Producto Comercial
1	Open Pit	Operación	Cátodos y Concentrado de Cu y Mo
2	Rajo	Operación	Concentrado de Cu y Mo
3	Open Pit - BC	Operación	Cátodos
4	Open Pit	Operación	Cátodos y Concentrado
5	Open Pit	Operación	Cátodos
6	Block Caving	Operación	RAF y Cátodos
7	Open Pit	Operación	Concentrado de Cu, Au, Mo
8	Open Pit	Operación	Cátodos y Concertados
9	Open Pit	Operación	Cátodos y Concentrados
10	Open Pit	Operación	Cátodos y Concentrados
11	Open Pit	Operación-Proyecto	Concentrado
12	Open Pit	Operación	Cátodos
13	Open Pit	Operación	Cátodos (Lixiviación)

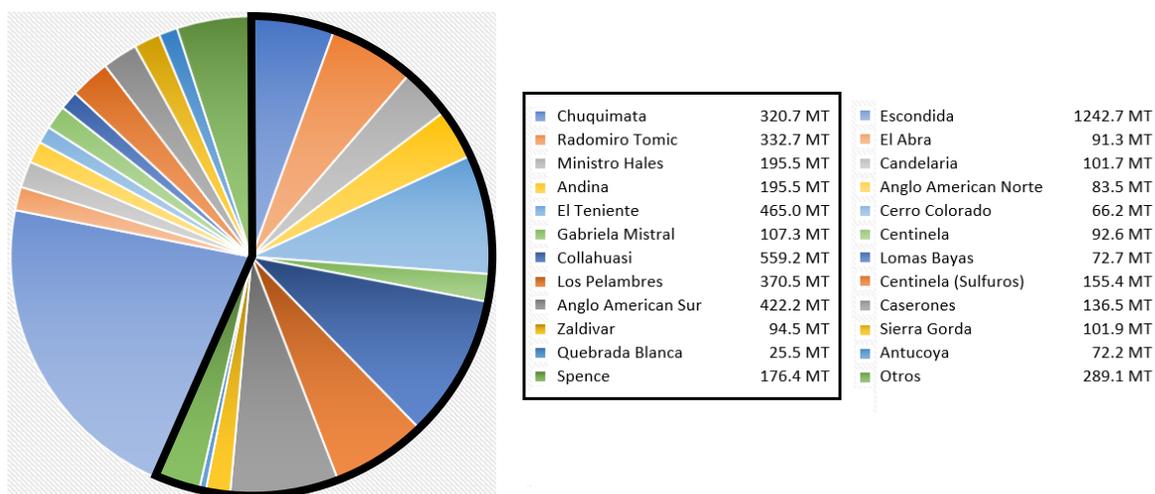


Gráfico 1. Toneladas de cobre fino producidas por yacimiento en el año 2018.

En el Gráfico 1 se muestran encerrados en negro los yacimientos analizados en el presente estudio. Estos corresponden a un 56% de la producción de cobre fino en Chile para el año 2018.

En las siguientes secciones se muestran los resultados obtenidos para cada etapa de estimación de recursos, mostrándose por separado la visión que se tiene desde las compañías mineras y consultoras, realizando un análisis crítico de cada una de ellas.

4.1 Adquisición y Gestión de Información

4.1.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria

Los resultados de las Tablas 3, 4 y 5 representan las principales falencias y enfoques que deberían considerarse al momento de realizar la adquisición y gestión de información para cualquier yacimiento según las personas entrevistadas. Se presentan como un porcentaje de los expertos que consideraron importante el aspecto señalado y se agrupan en tres conjuntos, uno donde todos los expertos están de acuerdo, otro donde hay más de un 50% de aceptación y el último donde existe menos de un 50% de acuerdo.

Tabla 3. Resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos.

Aspecto	Descripción	Aceptación
Datos Históricos	Deben existir protocolos de incorporación de información histórica con un nivel de calidad distinto al actual	100.0%
Oficialización de datos	Tienen que existir protocolos para oficializar los datos que serán utilizados en las etapas posteriores	100.0%
Documentación	Todos los criterios de mapeo y codificación, certificados e informes deben estar debidamente respaldados	100.0%
Calidad, Competencia, Trazabilidad y Materialidad	Se deben llevar a cabo los protocolos y actividades de la adquisición de información de forma que se cumplan estos cuatro aspectos	100.0%
Geólogo Encargado	Debe haber al menos un Geólogo Senior encargado de la información en general para todo el yacimiento	100.0%
Validación de Informes	Todos los informes, certificados, carpetas, etc. deben estar revisados y validados	100.0%
Hipótesis Geológica	La definición de protocolos, del muestreo en terreno y del diseño de la base de datos, debe basarse en una hipótesis geológica	100.0%
Laboratorios Certificados	Este tipo de laboratorios tiene que ser utilizado para llevar a cabo los ensayos analíticos	100.0%

Según la Tabla 3, dentro de los principales aspectos considerados por los expertos de la industria, se encuentran al igual que en los códigos internacionales los temas de trazabilidad, materialidad, competencia y calidad tanto de la información como de los diferentes procesos que se llevan a cabo durante su adquisición y gestión. Esto se refleja en la recomendación del uso de laboratorios certificados que aseguren la calidad de los resultados analíticos realizados a las muestras, en la de realizar validaciones de los informes, carpetas o cualquier documento asociado a los datos, en la de tener protocolos bien definidos en función de hipótesis geológicas, con objetivos claros y con sus respectivos sistemas de control, y en la de tener personas con experiencia encargadas de la gestión y adquisición de la información del yacimiento. Además, se considera importante tener protocolos de oficialización de información para que no haya problemas de inconsistencia entre los datos utilizados para las etapas posteriores en un mismo hito de entrega.

Respecto a los problemas que enfrenta la industria, se destaca la dificultad de utilizar información histórica debido a las diferencias de calidad respecto a los datos actuales, ya que, debido a la carencia de protocolos para incorporar este tipo información, gran parte de ésta no puede utilizarse en etapas posteriores. Es por esto, que se recomienda analizar el impacto que tiene para el negocio el realizar acciones como una campaña de reanálisis con el fin de incorporar dicha información. Existen ocasiones en las que ésta solo influye para zonas del yacimiento que ya fueron explotadas, por lo que no es necesaria su estandarización.

Tabla 4. Continuación de resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos.

Aspecto	Descripción	Aceptación
QA/QC	Debe ser más proactivo que reactivo	100.0%
Protocolos	Definidos en función de métodos científicos y orientados a cumplir objetivos específicos	100.0%
Mejoramiento de Protocolos	Los encargados deben tener conocimiento de la forma en que se diseñaron los protocolos y tratar de mejorarlos en caso de que se identifiquen fallas en estos	100.0%
QA/QC en todas las etapas	No se debe centrar solamente en un QA/QC de los resultados analíticos	100.0%
Protocolos de otros yacimientos	Cuidado con traer protocolos de otros yacimientos pese a que sean muy parecidos,	100.0%
Base de datos de calidad	Deben revisarse aspectos como seguridad, coherencia e integridad	100.0%
Remapeo y Reanálisis	Realizarlos cuando exista una duda fundada sobre los resultados de determinadas muestras	100.0%
Tamaño de Soporte	Acorde a la operación y al nivel de detalle necesario	100.0%
Unificación de Criterios	Los criterios de codificación y de mapeo deben estar unificados para evitar inconsistencias geológicas	100.0%
Cartillas y Bases de Datos Robusta	Relacionadas entre ellas y considerar variables que sirvan para la estimación actual y futura del proyecto	100.0%
Desviación de sondajes y topografía	Importante la ubicación de los sondajes y otros tipos de muestras en terreno, así como su desviación respecto a su diseño original	100.0%

Respecto a la Tabla 4, otro tema de interés es que actualmente las empresas solo relacionan el QA/QC con los ensayos analíticos y con la preparación de muestras, olvidando que este también debe ser considerado para la base de datos, y en las etapas de modelamiento y estimación. Además, se expone que su uso está más relacionado con un control reactivo, y no como actividades que eviten la ocurrencia de problemas en la adquisición de información. Es por esto, que se aconseja a las empresas mantener una supervisión que permita evitar o corregir los errores (de muestreo, mapeo, ensayos, rotulación, codificación y traslado), antes de que estos avancen en la cadena de valor y afecten al negocio. También se considera importante tener criterios de mapeo e interpretación unificados en el yacimiento, con el fin de evitar inconsistencias entre los encargados de estas actividades.

Otro aspecto a discutir es la resistencia por parte de las empresas a cambiar parte de los protocolos existentes cuando se encuentran fallas en su definición. Una mejora consiste en incorporar un proceso y cultura de mejoramiento continuo, fomentando así la toma acciones al identificar dichos errores. Igualmente existe una problemática referente a implementar protocolos de otros yacimientos de características similares o de otras zonas del yacimiento. Si bien estos pueden tomarse como base para el desarrollo de los actuales, siempre tiene que haber un estudio detrás y no llevarse a cabo solo por experiencia previa.

También se muestra la relevancia de una base de datos consolidada que considere aspectos como la seguridad (perfiles y protocolos de acceso y modificación del a información), coherencia (por ejemplo, que los resultados analíticos tengan sentido con las interpretaciones geológicas) e integridad (que los datos cumplan con sus restricciones lógicas y que no existan diferencias en el tipo de dato de una determinada columna), que tenga completa relación con las cartillas de mapeo. Ambas tienen que robustas, es decir, deben contener toda la información necesaria actualmente y la que podría necesitarse en el futuro. Las dos deben basarse en las hipótesis geológicas planteadas del yacimiento y en la posible explotación de éste. Se tiene que dar énfasis en el registro de información topográfica y de desviaciones de ubicación de las muestras en terreno, ya que no tener claro la ubicación real de la muestra puede provocar errores en la interpretación.

Tabla 5. Resultados con más de 50% de aceptación por parte de los expertos.

Aspecto	Descripción	Aceptación
Medición de Densidad de Roca	Falta de protocolos bien establecidos respecto a cada cuanto se toma una muestra	90.0%
Problemas de inventarios	Poco presupuesto, poca mantención y malos sistemas de inventario	90.0%
Entendimiento de la importancia de la información (terreno)	El personal debe tener conocimiento de la importancia de sus productos	80.0%
Elementos sin Protocolo propio	Tener mayor cuidado con los análisis de los elementos para los que los protocolos no fueron diseñados	80.0%
Almacenamiento de toda la información (buena y mala calidad)	Evitar eliminar información de mala calidad, ya que posteriormente se pueden definir medidas para mejorarla	80.0%
Entendimiento por parte de encargados de presupuesto	Falta de entendimiento por parte de encargados de presupuesto del impacto de eliminar revisiones técnicas	80.0%
Protocolos diferentes según zonas mineralizadas	Debe haber diferencias de protocolos y malla de muestreo para diferentes zonas mineralizadas o con atributos diferentes que lo justifiquen	70.0%
Densidad de muestras geo metalúrgicas	Debe estar estandarizada y ser representativa de la zona	60.0%

En la Tabla 5, se muestran otros aspectos relevantes que no tuvieron un 100% de aceptación, pero que fueron considerados por la mayoría de los expertos. Aquí se aprecia una tendencia a reconocer la importancia de definir protocolos de toma de muestras para medición de densidad de roca debido a que se consideran que hoy en día no se realiza de manera estandarizada no habiendo un estudio de trasfondo que sustente la representatividad de dichas muestras.

Las problemáticas relacionadas con el recurso humano también son de especial atención. Los trabajadores de muestreo tienen tareas muy monótonas y mal remuneradas, esto en conjunto con ignorar que los resultados de su trabajo sustentan el negocio minero, provoca que no tomen la suficiente atención o interés de llevar a cabo un trabajo de calidad, lo que puede generar problemas en la adquisición de información. Asimismo, los encargados de presupuesto pueden pasar por alto o subestimar la importancia de llevar a cabo ciertas actividades, principalmente por su intención de disminuir los costos, lo que puede causar problemas de calidad en los datos. Estas situaciones deben evitarse promoviendo una cultura de entendimiento y demostrando del impacto que puede causar una disminución en la calidad de la información en el negocio minero.

Los inventarios físicos y el almacenamiento de información digital también presentan problemas. En el caso de los primeros existe un déficit de presupuesto para su construcción y mantenimiento, esto produce que las muestras se encuentren propensas al deterioro. Además, no existen sistemas de inventariado, sino que los encargados de las muestreras o lugares de almacenamiento de documentos saben dónde se encuentran. Esto causa problemas de trazabilidad y materialidad debido a que aumenta la posibilidad de pérdida de muestras o documentos. Para el caso del almacenamiento de información digital, los principales problemas surgen cuando existe información de mala calidad que se omite de la base de datos, lo que provoca que no haya posibilidad de mejora ni un contraste con nuevos resultados. También se describe como un problema el no incluir en el registro la inexistencia de ciertos elementos (por ejemplo, que no exista cobre soluble en la muestra), esta situación puede generar un sesgo en la estimación al no considerar estas leyes como 0 (sobreestimación).

En cuanto a los protocolos para la preparación y análisis de las muestras, existen deficiencias respecto a tres puntos principales. El primero, es que no es una práctica común tener diferentes protocolos para las diferentes zonas del yacimiento cuando los atributos geológicos lo sustentan (por ejemplo, tener diferencias entre zonas mineralizadas por la diferencia de abundancia o distribución relativa de las especies a analizar). El segundo, se relaciona con el uso de resultados analíticos de variables sobre las que no fueron realizados ni los protocolos de preparación ni los de análisis, lo que puede generar errores en los resultados. El tercer, corresponde a que actualmente la toma de muestras geo metalúrgicas se define por aspectos económicos y no así de representatividad como parámetros decisivos. Estos problemas deben analizarse y determinar si generan un impacto real en el negocio, en caso de ser así, deben definirse los protocolos correspondientes que aseguren la representatividad para cada elemento relevante del proyecto.

Tabla 6. Resultados con menos de 50% de aceptación por parte de los expertos.

Aspecto	Descripción	Aceptación
Recodificación (exploración a proyecto)	Los códigos de exploración deben ser los mismos que posteriormente se utilizarán en el proyecto para evitar inconsistencias	40.0%
Muestreo y mapeo interior mina subterránea	El uso de shotcrete que recubre las paredes de las labores impide el muestreo y mapeo directo	30.0%
Encargados de base de datos	El encargado debe ser interno a la compañía para que sus decisiones tengan un lineamiento corporativo. Hay que evitar periodos de tiempo sin encargado de base de datos	30.0%
Uso de muestras con alta recuperación	Evitar el uso de muestras en terreno con baja recuperación	30.0%
Humedad	La humedad debe estar caracterizada ya que es importante en las operaciones mineras (por ejemplo, aumenta el peso a transportar)	20.0%
Cambio base de datos	Al migrar de una base de datos a otra hay que tener especial cuidado en cuanto a las codificaciones, los tipos de datos y sus valores	10.0%
Ente corporativo de QA/QC	Debe existir una entidad encargada de asegurar y controlar la calidad de todos los procesos de estimación	10.0%
Relleno de datos con regresiones, simulaciones, etc.	Rellenar datos puede ser perjudicial porque luego se estima en función de estos (estimación sobre estimación)	10.0%

En la Tabla 6 se pueden apreciar los aspectos que fueron abordados con menor frecuencia. Esta baja aceptación se debe a que los expertos consideran que no impactan de gran manera a la estimación o a que las empresas mineras tienen un control adecuado sobre éstas. Sin embargo, todos estos puntos son relevantes a la hora de las buenas prácticas de recolección de información.

La recodificación de exploración a proyecto influye principalmente en el gasto de recursos y horas de trabajo necesarios para poder unificar la información en el caso de que estas no concuerden. Por lo tanto, un alineamiento correcto de la base de datos respecto a la utilizada por el dueño del proyecto es importante para no incurrir en gastos futuros.

La dificultad de muestrear y mapear al interior de minas subterráneas se produce debido al recubrimiento de los túneles por temas de seguridad. Actualmente con el uso métodos de fotogrametría y con la calidad de las fotografías que se le pueden tomar al techo, paredes, piso y frente de los desarrollos, se ha podido subsanar un poco esta dificultad, sin embargo, no se logra obtener información de la misma calidad que en minería superficial, ya que muchas características se pierden al no poder observarse de manera directa.

Los encargados de base de datos y de mapeo deben ser personas con una amplia experiencia en el yacimiento, debido a que son los líderes que toman las decisiones respecto a la información necesaria, a la codificación y conceptualización. Deben tener personal encargado de la operativización de la base de datos y de tomar la información en terreno, por lo que debe ser capaz de liderar personal. Cuando estas labores se externalizan, o cuando no se prepara a alguien para asumir este cargo, comienzan a surgir problemas de lineamiento con respecto a los objetivos de la empresa, y también con la calidad de la información de la base de datos. Por lo tanto, la industria debe tener un entendimiento de la importancia de tener una persona interna que cumpla con este rol.

En general se recomienda el uso de muestras de terreno con alta recuperación, lo que no pareciera un problema desde el punto de vista de los expertos, sin embargo, también es cierto que de todas formas se utiliza información proveniente de testigos con baja recuperación. El problema de esta práctica es que parte de los atributos del testigo se pierden al disminuir la recuperación, lo que impacta fuertemente en la calidad de los datos. Para este tipo de situaciones se deberían definir protocolos adicionales con el fin de no perder esta información.

Tener una buena caracterización de la humedad es necesario como apoyo para poder identificar la posición de los niveles freáticos y definir los pisos y techos de sulfuros. También sirve como información relevante a operaciones, por ejemplo, a partir de la humedad pueden determinar el posible aumento al costo de transporte.

El tema de cambio de base de datos es más bien particular, en teoría si se mantiene una base de datos robusta, integral y coherente, cambiar de un software de gestión a otro no debería tener mayores dificultades, por lo tanto, este aspecto más bien corresponde a una extensión de las características que tiene que tener la base de datos en su diseño.

La existencia de un ente corporativo de QA/QC promueve mejores prácticas en toda la cadena de valor minera. La falta de esta entidad puede generar una despreocupación de la calidad por parte de los encargados de las diferentes etapas, por lo que se aconseja su formación.

El relleno de la base de datos se expone como una mala práctica debido a que esto se realiza mediante regresiones lineales, simulaciones o correlaciones con otras variables. Esto significa que al momento de realizar la estimación de recursos se va a estar trabajando sobre información que ya fue estimada, por lo tanto, puede existir un arrastre de error generándose un sesgo en los resultados.

4.1.2 Resultados de Mineras

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por parte de las empresas mineras para la etapa de adquisición y gestión de información. Estos se muestran como tablas de frecuencias que representan las preguntas realizadas más relevantes. En la sección de Anexos III se pueden encontrar las tablas de respuestas individuales que están representadas con códigos cuyo significado se encuentra en la misma sección.

4.1.2.1 Muestreo, Mapeo, QA/QC y Análisis Químico

En la Tabla 7 se observa que las variables de mapeo y análisis químico son similares entre los yacimientos. Se ve como las empresas realizan menos pruebas de densidad y metalúrgicas en comparación con las otras. Esto se debe principalmente a la falta de protocolos para el muestreo de densidad de roca y a la poca importancia que se le da a esta en los yacimientos de tipo pórfido al no tener tanta variabilidad como otras variables. En el caso de las pruebas metalúrgicas su análisis es menor debido a temas económicos, ya que su costo es por mucho mayor a la de un ensayo de leyes. También se puede apreciar que existen yacimientos donde no registran contaminantes ni subproductos. Al revisar las Tablas 65 y 66 se observa que estos corresponden a los yacimientos 5 y 13. Esto se debe principalmente a que estos elementos no se encuentran en una abundancia suficiente en ellos para que signifiquen un impacto en el negocio.

Tabla 7. Frecuencia de variables mapeadas y analizadas en los yacimientos.

Mapeo y Análisis					
Variable	Siempre	Casi Siempre	A veces	Casi Nunca	Nunca
Alteración	13	0	0	0	0
Mineralización	13	0	0	0	0
Litología	13	0	0	0	0
Estructuras	12	1	0	0	0
Vetillas	11	1	1	0	0
Contaminantes	11	1	0	0	1
Productos principales	13	0	0	0	0
Subproductos o Coproductos	11	0	1	0	1
Densidad de Roca	4	8	1	0	0
Metalúrgicas	0	3	9	1	0
Geotécnicas	11	2	0	0	0

En la Tabla 8 se muestra que en general se siguen utilizando tanto sondajes de aire reverso como de diamantina a excepción del yacimiento 5 (ver las Tablas 65 y 66), que solo utiliza sondajes de diamantina debido a que entrega muestras de mejor calidad. Respecto a los otros tipos de muestreos en terreno, solo se observa su dependencia obvia al tipo de método de explotación.

Tabla 8. Frecuencia de tipos de muestreo utilizados en terreno.

Muestreo en Terreno	
Tipo	Frecuencia
Sondaje AR	12
Sondaje DDH	13
Pozos de Tronadura	11
Labores Subterráneas	2
Caras de banco	11

De la Tabla 9 se desprende que el tipo de información utilizada es relativamente el mismo en los yacimientos excepto para tres variables: el registro de niveles freáticos (utilizada en los yacimientos 2, 4, 5, 11, 12 y 13), el uso de material quebrado (yacimientos 6 y 13) y las perforaciones perpendiculares a las estructuras (yacimientos 10, 12 y 13). En el primer caso, al analizar las particularidades de los yacimientos que registran los niveles freáticos, encontramos que estos son los que contienen brechas o se encuentran en zonas superficiales con explotación de óxidos. En cuanto al uso de material quebrado, hace sentido que una mina de block caving utilice este tipo de información para su estimación, sin embargo, el yacimiento 13 que es explotado por open pit también muestra el uso de material quebrado, lo que señala un posible error en esta respuesta. Respecto al último caso los encargados de los yacimientos 10, 12 y 13 respondieron que la mayoría de sus sondajes estaban orientados perpendicular a las estructuras principales y a los contactos, mientras que en los otros yacimientos se explicó que esto era una práctica muy difícil debido a las restricciones geométricas y operacionales, pero que se realizaba cuando era posible.

Tabla 9. Frecuencia de tipo de información geológica utilizada en el yacimiento.

Información utilizada	
Tipo de información	Frecuencia
Uso de fuentes de información regional	13
Utilización de mapas geológicos de superficie	12
Utilización de técnicas geofísicas	11
Comparación con objetivos cercanos	12
Uso de fotografía aérea	12
Registro de collares, topografía y orientaciones	13
Registro de niveles freáticos	6
Uso de datos de material quebrado	2
Perforaciones perpendiculares a estructuras*	3
Registro de desviaciones	13
Unificación de criterios geológicos	13
Registro de recuperación de testigos	12

Según la Tabla 10 los tamaños de soporte no son muy variables, van de 1.5m a 3m, sin embargo, un yacimiento en particular tiene soportes de hasta 10m. Este soporte tan grande en comparación con el resto se debe a que estas muestras corresponden a información histórica donde no se aplicaba la teoría de muestreo para asegurar la representatividad de las muestras. Los menores soportes (1.5m y 2m) corresponden a los yacimientos 2, 4, 5, 8, 10, 11 y 12 (ver las Tablas 65 y 66), que tienen derivas de ley, controles estructurales o presencia de brechas.

Tabla 10. Tamaños del soporte de muestreo y base de datos en los distintos yacimientos

Soporte de muestras	
ID	Tamaño de Soporte[m]
1	3.0
2	2.0 y 10.0
3	3.0
4	1.5
5	1.5
6	3.0
7	3.0
8	2.0
9	2.5
10	2.0
11	2.0
12	2.0
13	2.5

De acuerdo con la Tabla 11 los elementos de control de calidad utilizados son similares excepto por tres. Éstos corresponden al uso de estándares adquiridos, el uso de duplicados externos y la definición de los tamaños de muestra a partir de la prueba de Ingamells. En general los estándares adquiridos son poco utilizados debido a que no provienen del mismo yacimiento, lo que podría causar diferencias que provoquen errores en la interpretación de los resultados de las pruebas analíticas. Los duplicados externos tienden a utilizarse en etapas tempranas para analizar la calidad de los laboratorios, sin embargo, en cuando la mina ya está en operación (como es el caso de los yacimientos analizados), se disminuye su uso al ya tener laboratorios establecidos y solo se realizan cuando se presenta algún problema. La prueba de Ingamells por su parte no tiende a ser muy usada ni conocida fuera de CODELCO (solo tres yacimientos lo usaron en el pasado), en el resto de los yacimientos se expone que hay cantidades de masa definidas para los distintos tipos de análisis.

Tabla 11. Frecuencia de elementos utilizados para el QA/QC de preparación y ensayos analíticos

Elementos utilizados para QA/QC de preparación y ensayos	
Elementos de QA/QC	Frecuencia
Estándares Propios	13
Estándares Adquiridos	3
Blancos Gruesos	13
Blancos Finos	13
Duplicados de Testigos	13
Duplicados Gruesos	13
Duplicados Finos	13
Duplicados Externos (Enviados a diferentes laboratorios)	10
Sondajes Gemelos	12
Test de Heterogeneidad	13
Test de Ingamells	9
Estándares con amplio rango de ley	13
Estándares para otros elementos	13

En las Tablas 12 y 13 se observa que se utilizan todas las herramientas típicas para el control de calidad de pruebas analíticas. En cuanto a los procedimientos de QA/QC, se aprecia que se llevan a cabo todas las acciones correspondientes, pero que en solo 6 de los yacimientos se cuenta con protocolos especiales (o revisiones adicionales), para muestras que se encuentran cercanas a las leyes de corte del yacimiento. Estas son de suma relevancia debido a que una subestimación o sobrestimación del espacio a su alrededor puede generar errores de definición entre zonas de lastre y mineral.

Tabla 12. Frecuencia de uso de herramientas para el control de calidad

Herramientas para el control de calidad	
Herramienta	Frecuencia
Estadísticas Básicas	13
Error Relativo	13
Coefficiente de Variación	13
Diagramas de Dispersión	13
Diagramas QQ	13

Tabla 13. Frecuencia de acciones tomadas respecto a los elementos y resultados del QA/QC de preparación y ensayos químicos.

Acciones tomadas respecto al QA/QC	
Acciones	Frecuencia
Corrección o prevención de situaciones a partir de los resultados de los informes de QA/QC	13
Registro de elementos de control	13
Envío ciego de elementos de control	13
Definición de tolerancia de error para cada protocolo	13
Protocolos para leyes críticas	6
Control de rotulación y traslado de batch	13
Retroalimentación a laboratorios	13
Supervisión de actividades	13
Reanálisis de muestras con resultados sospechosos	13

De las Tablas 14 y 15 se desprende que las zonas con mayor cantidad de sondajes tienden a ser aquellas que requieren una mejor categorización porque su explotación esta cercana en el tiempo. En segundo lugar se encuentran las zonas con alta variabilidad, y en tercer lugar las zonas de alta ley. Estas últimas deben estar acompañadas con estrategias de desagrupamiento que eviten la subestimación del yacimiento por tener más muestras de mayor ley. Las zonas con menor cantidad de sondajes tienden a ser las zonas periféricas al yacimiento y las que serán explotadas en el largo plazo.

Tabla 14. Frecuencia de razones de zonas con mayor cantidad de sondajes

Zonas con mayor cantidad de sondajes	
Razón	Frecuencia
Por ley	3
Por zonas próximas a explotar	12
Por variabilidad	7

Tabla 15. Frecuencia de razones de zonas con menor cantidad de sondajes.

Zonas con menor cantidad de sondajes	
Razón	Frecuencia
Por ley	6
Por ser zonas periféricas	12
Porque su explotación es a largo plazo	6

La información actual no puede ser utilizada sin un QA/QC adecuado o sin sus revisiones respectivas. Esto debido a que las mineras se rigen por los estándares de los códigos internacionales y el chileno, y entienden el impacto que puede causar en el negocio el trabajar con datos sesgados. Sin embargo, parte de la información que presentan no se adquirió ni registró bajo los estándares actuales. Según la Tabla 16 está información histórica tiende a ser la única que no cuenta con los niveles de calidad necesarios para el modelamiento y la estimación. Su uso quedará definido por su relevancia en los modelos actuales y su tratamiento será determinado por los encargados de estimación en función de los protocolos vigentes de la compañía.

Tabla 16. Frecuencia de tipo de información sin QA/QC o con bajos estándares de calidad.

Tipo de información sin QA/QC	
Información sin QA/QC	Frecuencia
Información histórica	13
Información actual parcial	0

4.1.2.2 *Base de Datos*

En la Tabla 17 se puede apreciar la frecuencia de los diferentes elementos básicos que forman parte de las bases de datos de los distintos yacimientos. Es claro que todos los yacimientos tratan de almacenar de manera digital todos los tipos de datos que capturaron durante las etapas de muestreo, mapeo y ensayos analíticos y metalúrgicos.

Tabla 17. Frecuencia de elementos de la base de datos.

Elementos de la base de datos			
Variables o tablas	Frecuencia	Variables o tablas	Frecuencia
Campaña	13	Fotografías	13
Año	13	Certificados	13
ID de información	13	Leyes productos	13
Geólogo o Registrador de información	13	Densidad de roca	13
Tipo de información	13	Alteración	13
Dimensiones de datos	13	Litología	13
Intervalos de muestra	13	Mineralización	13
Posición de collares	13	Estructuras	13
Trayectorias y orientaciones	13	Contaminantes	12
Desviaciones	13	Ensayos metalúrgicos	13
Recuperaciones	12	Leyes subproductos y coproductos	12
Ensayos	13		

Los aspectos esenciales de una buena base de datos corresponden a que ésta esté bien estructurada, que sea robusta en cuanto a la información que se puede almacenar, que los datos tengan integridad y coherencia (que no haya distintos tipos de datos para una misma columna), y que tengan un sentido lógico respecto a la variable que están representando. También es imprescindible que existan protocolos para la modificación tanto de los datos como de su diseño mismo, junto con perfiles que sirvan para entregar distintos permisos a diferentes usuarios. Las empresas mineras contestan que respetan cada uno de estos aspectos, y que entienden que una base de datos de calidad es fundamental para sustentar el negocio.

Tabla 18. Frecuencia de aspectos considerados en el diseño de la base de datos.

Aspectos de base de datos	
Aspecto	Frecuencia
Estructura	13
Robustez	13
Integridad	13
Coherencia	13
Seguridad	13
Protocolos	13

La base de datos debe pasar por un conjunto de chequeos comparando los resultados obtenidos por los ensayos, la forma en la que se desarrollaron los mismos, una revisión de las entradas, de los valores anómalos y/o faltantes, y de la consistencia con las hipótesis geológicas, entre otros. De acuerdo con lo presentado en la Tabla 19, las empresas mineras consideran estos chequeos exceptuando la protección inmediata de entradas ilógicas a la base de datos.

Los yacimientos 1, 6, 7, 10, 11 y 12 (ver Tablas 77 y 78), tienen un control en línea de los datos, que detecta los errores de ingreso, el programa de gestión de base de datos arroja una alerta que es revisada, investigada y corregida por el equipo encargado. En los yacimientos 5 y 8 no se realizan chequeos de consistencia entre los collares de los sondajes y la topografía, el argumento entregado fue que se realiza de manera automatizada por lo que no debería haber errores, sin embargo, de igual forma se debería realizar al menos una revisión al momento de cargar los sondajes en los softwares de modelamiento para ver su consistencia con la topografía.

Tabla 19. Frecuencia de elementos de validación de la base de datos.

Validación de base de datos	
Precauciones y Chequeos	Frecuencia
Chequeo de entradas	13
Protección de entradas ilógicas (Ej. Que automáticamente no se permita ingresar una ley negativa)	6
Consistencia de Leyes	13
Consistencia de Collares con Topografía	12
Chequeo de valores faltantes	13
Chequeo de Outliers	13
Chequeo de resultados de ensayos con hojas de laboratorio	13
Identificación de las muestras	13
Respaldo físico de la información	13
Respaldo digital	13

Como se puede apreciar en la Tabla 20, el software que predomina en la gestión de la base de datos para los yacimientos analizados corresponde a acQuire, el que se utiliza tanto para la captura de los datos como para seguir su proceso hasta su almacenamiento en la base oficial. Los yacimientos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (CODELCO), utilizan el software Xilab para la captura de información, el que está enlazado con acQuire donde finalmente se almacena oficialmente. El yacimiento 8 utiliza Shape Metrics para almacenar información en tres dimensiones de los bancos. El yacimiento 10 utiliza MineCube para almacenar datos provenientes de los pozos de tronadura.

Tabla 20. Frecuencia de uso de software de gestión de información

Softwares Utilizados	
Software	Frecuencia
acQuire	13
Xilab	6
Minecube	1
Shape Metrics	1

Respecto a la Tabla 21 se puede apreciar que en general los encargados de la base de datos son internos. De acuerdo con la Tabla 79 los equipos están conformados por geólogos o ingenieros internos, junto a expertos en base de datos de carácter interno o externo. Los yacimientos 1 y 10 son casos especiales donde el primero no tiene un encargado exclusivo de la base de datos y el segundo tiene un especialista externo a la compañía. Estos casos son los menos favorables, ya que en el primero se pueden provocar problemas en el uso, edición, o una lenta reacción en el caso de algún problema, mientras que para el segundo se pueden tomar decisiones no alineadas con los requerimientos corporativos.

Tabla 21. Frecuencia de externalización de encargado de base de datos.

Encargado de base de datos	
Encargado	Frecuencia
Interno	11
Externo	1
No hay	1

Los datos deben ser oficializados y determinados para su uso en etapas posteriores. De la Tabla 22 se desprende que todos los yacimientos tienen protocolos para la oficialización de los datos. En efecto, para traspasar la información a etapas posteriores, los datos deben “congelados”, es decir, se toman todos los existentes hasta ese momento en específico y solo esos pueden utilizarse en el siguiente hito de entrega. Estos datos deben ser chequeados y validados antes de su utilización, el porcentaje de revisión para los distintos yacimientos puede observarse en la Tabla 23 mostrando la similitud entre los yacimientos, a excepción del yacimiento 13 que tiene un mayor porcentaje de revisión que los demás.

Tabla 22. Frecuencia de oficialización de datos a utilizar en etapas posteriores.

Oficialización de datos	
Existencia de protocolo	Frecuencia
Sí existe	13
No existe	0

Tabla 23. Porcentaje de revisión de las bases de datos históricas y actuales.

Revisión de base de datos	
ID	Porcentaje de revisión de base de datos
1	10% histórica; 100% Actual
2	10% histórica; 100% Actual
3	10% histórica; 100% Actual
4	10% histórica; 100% Actual
5	10% histórica; 100% Actual
6	10% histórica; 100% Actual
7	10% histórica; 100% Actual
8	10% histórica; 100% Actual
9	10% histórica; 100% Actual
10	10% histórica; 100% Actual
11	10% histórica; 100% Actual
12	10% histórica; 100% Actual
13	15 a 20% histórica; 100% Actual

4.1.3 Síntesis y conclusiones

De acuerdo con los resultados de la presente sección, los puntos más relevantes en cuanto a la adquisición y gestión de información corresponden de manera general al QA/QC, las variables analizadas, el diseño y uso de la base de datos, la cultura organizacional que deben promover los encargados de las diferentes actividades, los criterios utilizados para el mapeo y codificación de las muestras, y la documentación.

Los resultados asociados al QA/QC muestran que en general la industria ha evolucionado respecto a la importancia que les entregan a estos procesos. En efecto, hoy no se permite (idealmente), el uso de información que no haya sido sometido a los procesos de estandarización de calidad definidos por las distintas empresas en función de las bases de los códigos de reportabilidad y de las características del yacimiento en cuestión. Aun así, existen problemas en el proceso de muestreo debido a los errores producidos por no llevar adecuadamente los protocolos o al poco cuidado al realizar las actividades. De los Gráficos 2, 3 y 4, se ve cómo la mayoría de las revisiones y herramientas de control de calidad y de la base de datos son utilizadas, sin embargo, debido al aumento de la calidad de los laboratorios de análisis, se ha perdido la práctica continua de enviar duplicados externos. También se destaca que actualmente existe una diferencia de opinión entre lo que exponen los consultores con lo que dicen las mineras en cuanto a la oficialización de información, donde los primeros exponen que hay problemas para identificar los datos oficiales mientras que los segundos afirman la existencia de protocolos bien definidos para establecerlos. Esto podría deberse a instancias de mala comunicación o errores en el envío de información entre las consultoras y las compañías mineras. Finalmente se debe promover el uso de QA/QC de manera proactiva en todas las actividades llevadas a cabo durante el proceso de estimación, y no solo dentro de la adquisición de información, considerando un mejoramiento continuo de los protocolos.

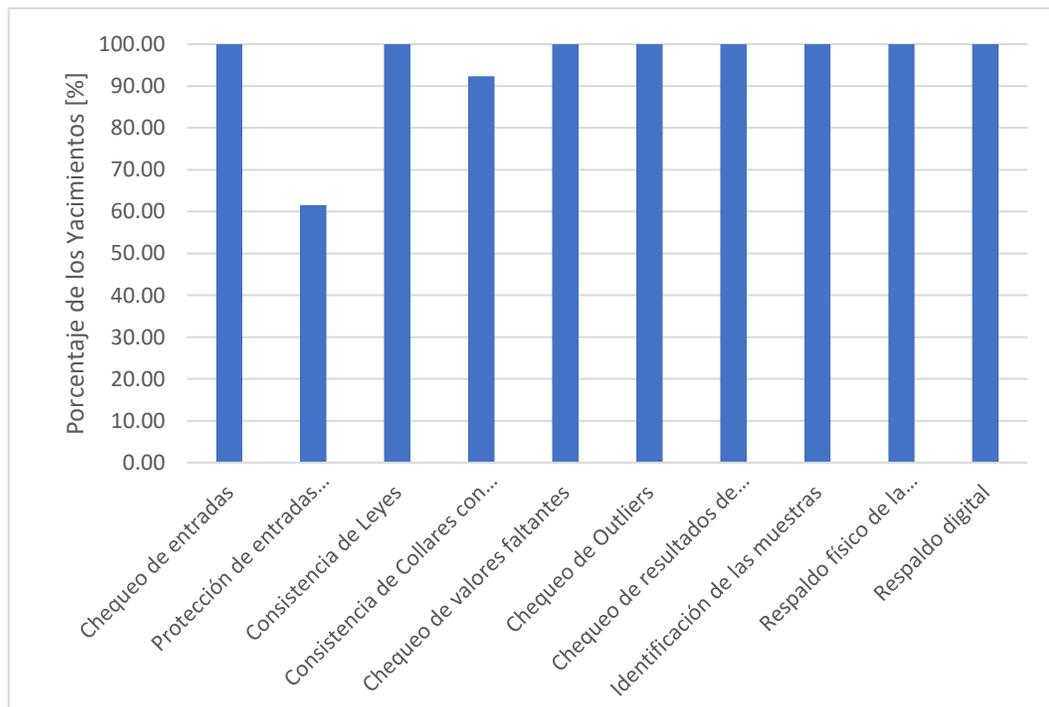


Gráfico 2. Precauciones y chequeos de la base de datos en los yacimientos.

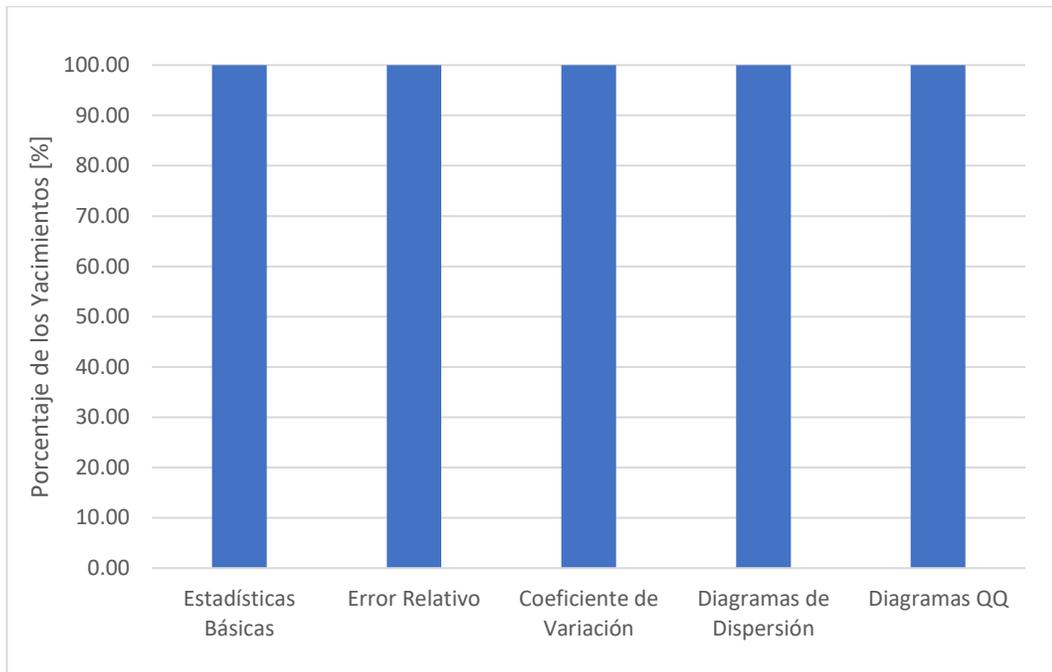


Gráfico 3. Uso de herramientas para evaluar la calidad de las muestras en los yacimientos.

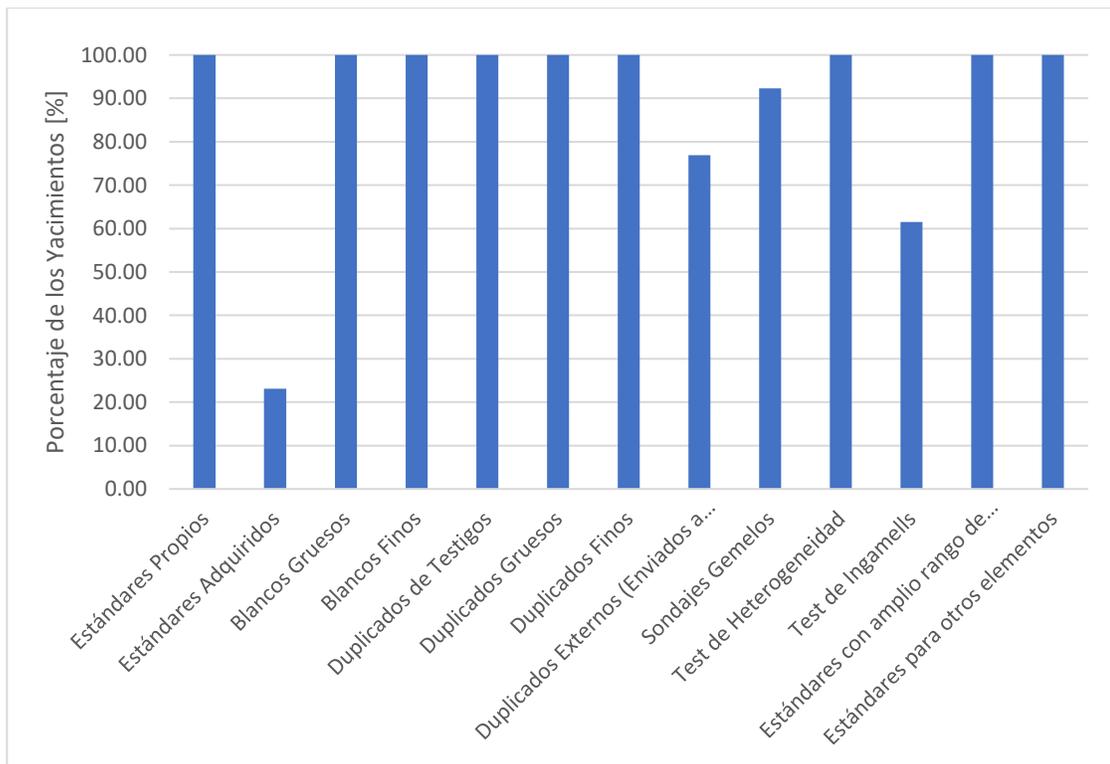


Gráfico 4. Frecuencia de uso de elementos de QA/QC en los yacimientos.

Las mineras tienen falencias respecto a la protocolización de la selección de muestras metalúrgicas y de densidad, lo que se aprecia en el Gráfico 5. De las entrevistas a las mineras se comprende como a la variable de densidad de roca no se le da la suficiente importancia en comparación con las leyes del yacimiento. En efecto, algunos entrevistados aseguraban que no existían protocolos para la medición de densidad, o de existir, estos no eran aplicados y mayoritariamente la densidad se media al momento de haber un cambio notorio en la litología de los testigos. Esto corresponde a una mala práctica debido a que en los códigos de reportabilidad de recursos y reservas se establece la necesidad de tener un nivel de certeza acerca de la cantidad de metal contenido, lo que se calcula a partir tanto de la ley como de la densidad. En el caso de las variables metalúrgicas existe una dificultad para determinar la representatividad de las muestras debido a que dependen del proceso al que son sometidos y actualmente su elección está más relacionada con un tema económico por el alto costo de los ensayos.

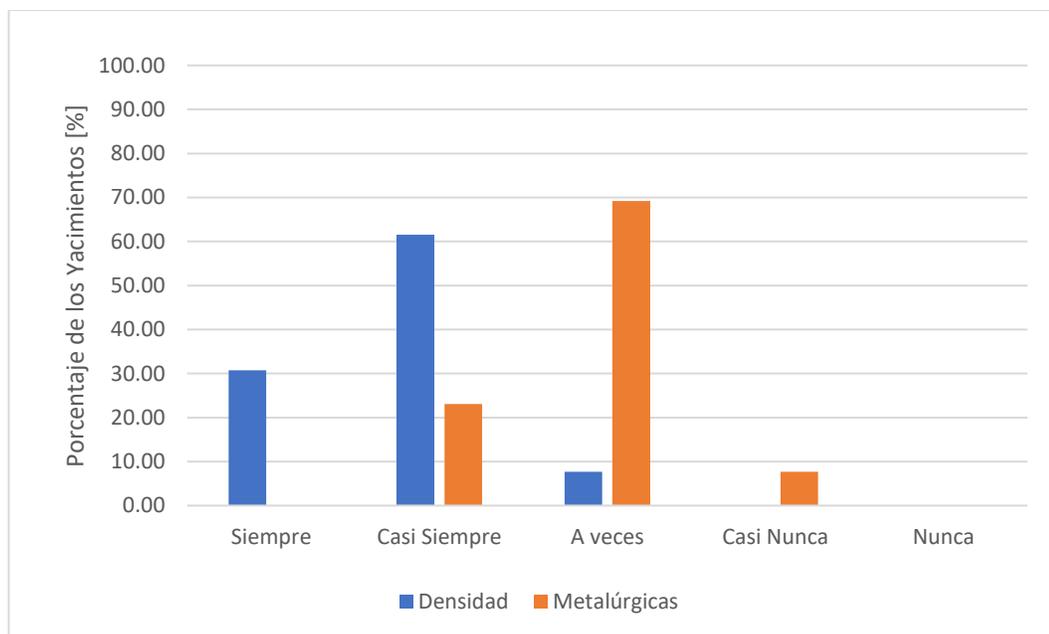


Gráfico 5. Frecuencia de medición de densidad de roca y variables geometalúrgicas en los yacimientos.

Las bases de datos de las grandes empresas mineras se conforman a partir de diferentes tipos de información y tienden a almacenar todos los datos capturados lo que puede apreciarse en los Gráficos 6 y 7. Su diseño se realiza en función de las hipótesis geológicas y en general están sujetas a mejoramiento para adecuarse a la información requerida. Se ve cómo los softwares de gestión de base de datos se adecuan a las necesidades de la industria minera, hoy cuentan con sistemas de control de calidad en línea que permite su revisión y también saber en qué etapa del proceso se encuentra. Los softwares más utilizados dentro del universo analizado se pueden ver en el Gráfico 8.

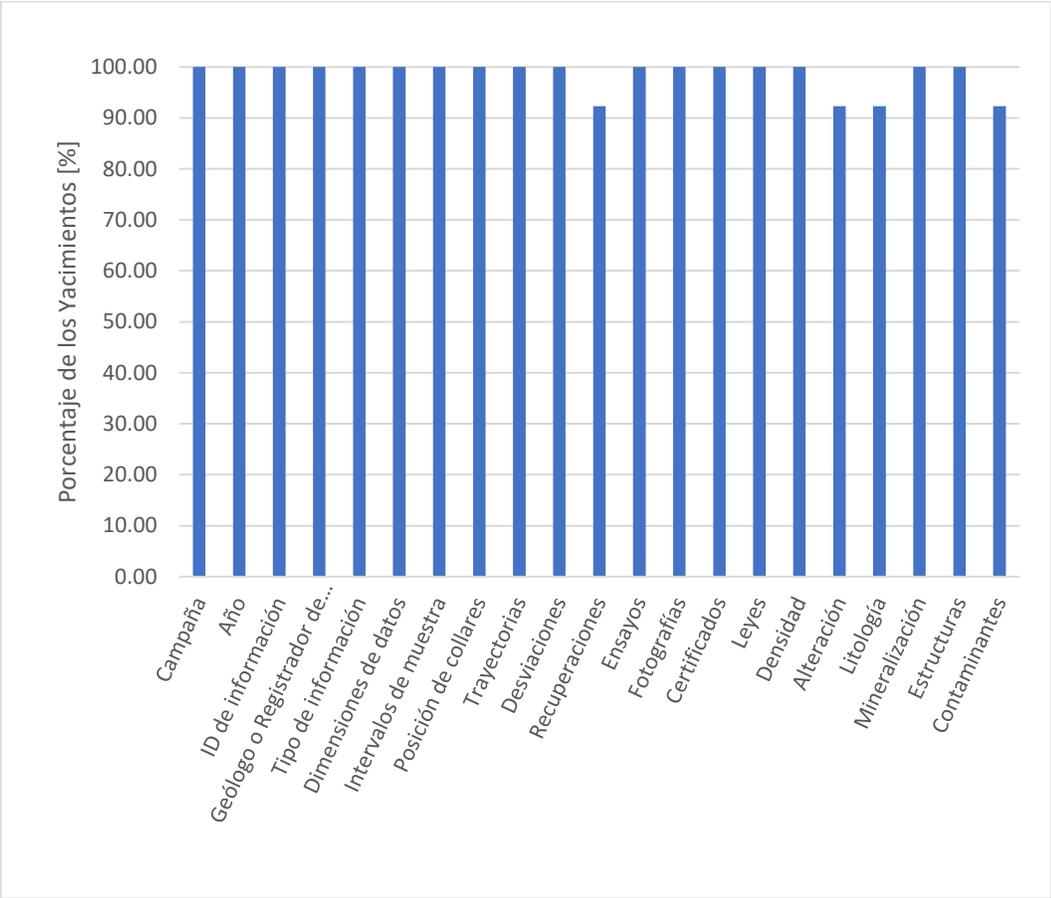


Gráfico 6. Variables presentes en la base de datos de los yacimientos.

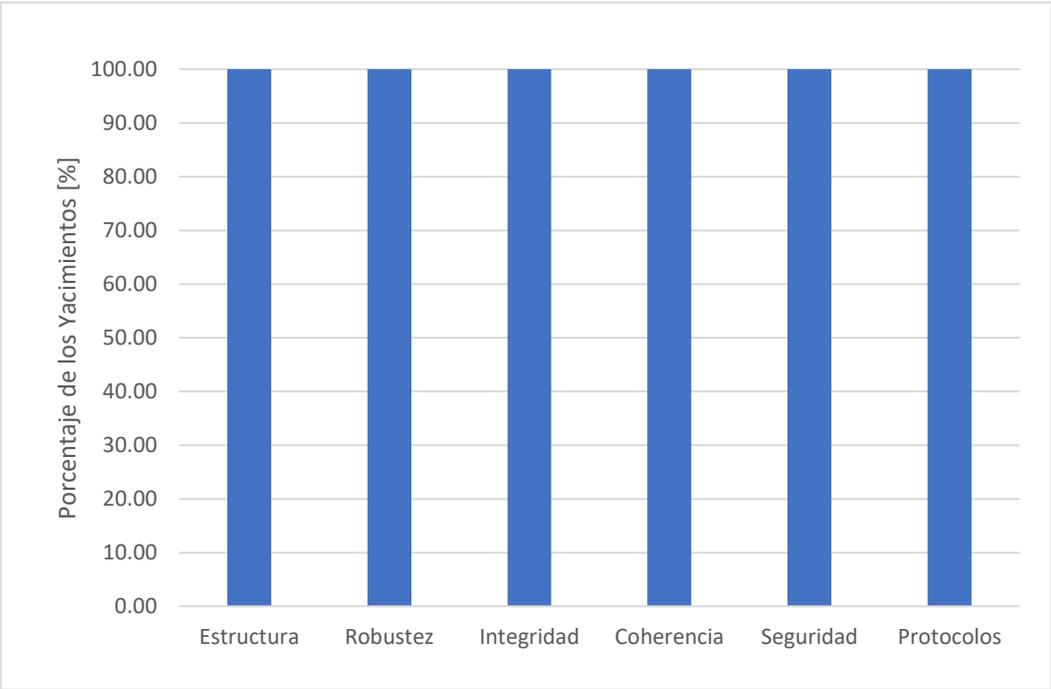


Gráfico 7. Aspectos importantes de la base de datos tomados en cuenta en los yacimientos.

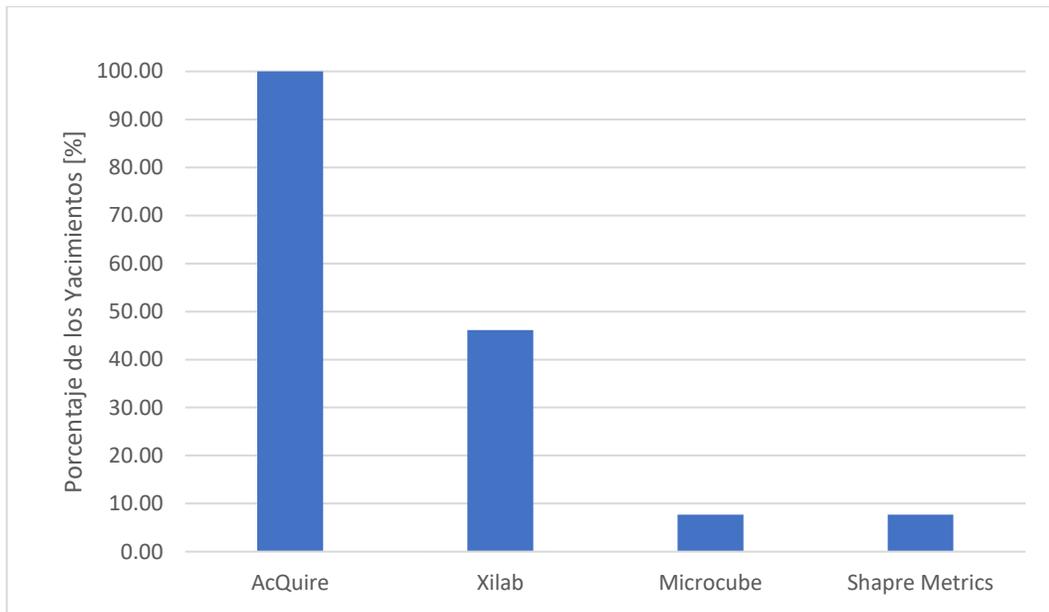


Gráfico 8. Softwares de gestión de base de datos utilizados en los yacimientos.

Parte de los problemas se deben a los datos históricos, los que no cuentan con los mismos parámetros de calidad ni tampoco con toda la información que se recopila en la actualidad. Sin embargo, existen protocolos que sirven para poder adecuarlos a las prácticas actuales. Otras falencias corresponden a los problemas de inventario y de interacción con otras bases de datos (por ejemplo, la interacción con la base de datos de geotecnia), en general, estos son problemas organizacionales de las empresas. El primero en cuanto a la asignación de presupuesto para el mantenimiento de los almacenadores de la información física y el segundo en cuanto a la comunicación y traspaso de información entre las distintas áreas del negocio minero.

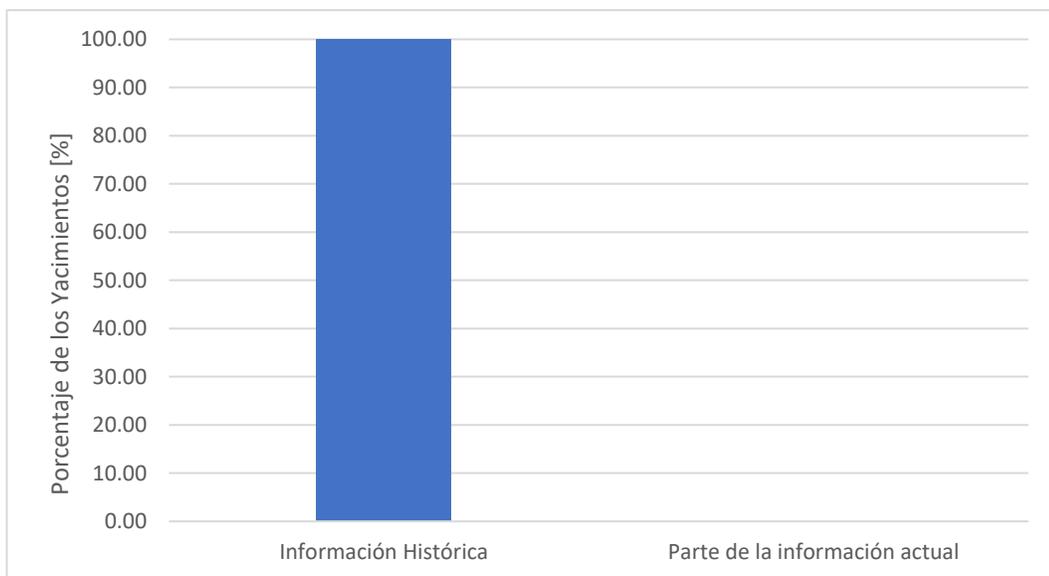


Gráfico 9. Tipo de información de mala calidad presente en los yacimientos.

Los encargados de las distintas actividades a realizar tienen la responsabilidad de promover una cultura enfocada en la importancia de la calidad y trazabilidad de la información, y en la comunicación entre las distintas áreas. Ésta debe expandirse vertical y horizontalmente, por lo que desde la gerencia hasta los operadores en terreno deben estar informados y entender el impacto de esta etapa en el negocio minero, y cómo la falta de una comunicación efectiva produce deficiencias en la estimación y la imposibilidad de realizar mejoras a partir de información interdisciplinaria. Una buena práctica es que los encargados sean líderes internos y con experiencia en el yacimiento, esto ayuda a que las decisiones que tomen se encuentren alineadas con los objetivos corporativos, y a que los criterios de diseño de la base de datos y codificación geológica se adecuen a las necesidades de la estimación de recursos. Esto último se cumple en la mayoría de la industria (visible en el Gráfico 10), y solo se encontró un caso donde no existía encargado de la base de datos, ya que una vez que este salió del cargo no hubo un reemplazo hasta el día de hoy.

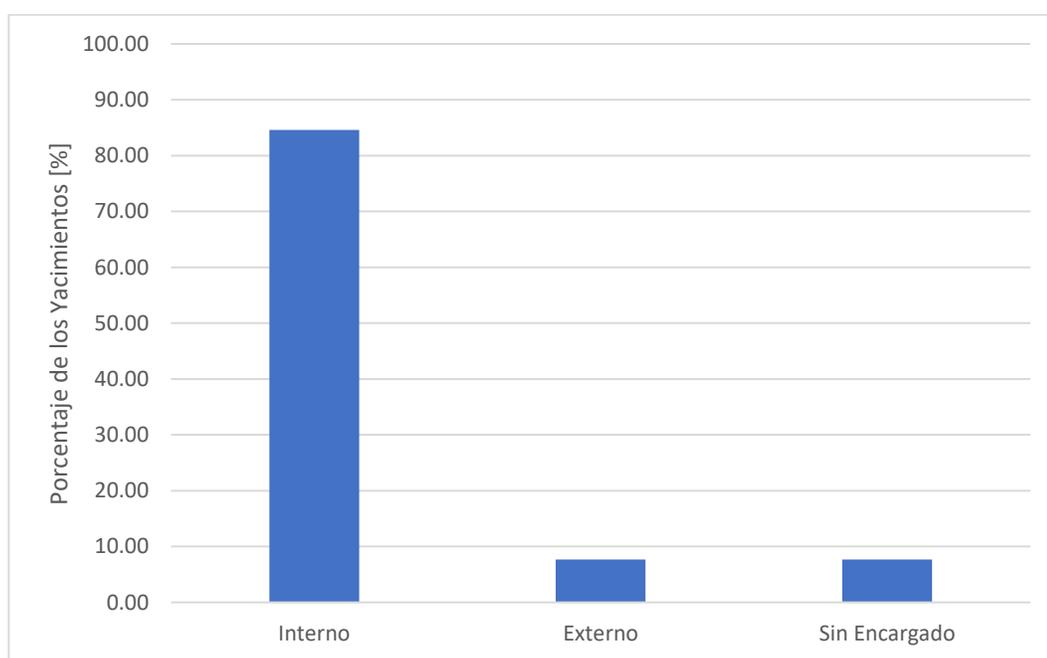


Gráfico 10. Encargado de base de datos presente en los yacimientos.

Los criterios para el diseño de la base de datos, para el mapeo y la codificación de unidades geológicas deben ser definidos por un equipo de trabajo que discuta los principales aspectos relevantes del commodity analizado y del tipo de yacimiento, tomando en consideración las hipótesis geológicas generadas en el estudio inicial de la zona estudiada. Estos criterios deben ser unificados en protocolos y guías, y entendidos por todo el equipo de geología con el fin de evitar inconsistencias geológicas en la información. En este punto cabe destacar la importancia de la documentación tanto física como digital de los criterios geológicos utilizados en el mapeo, de los certificados de cualquier tipo asociados a la captura de información (trayectorias, leyes, etc.), de las carpetas de sondajes o de cualquier tipo de información en terreno, y de cualquier otro tipo de documento con sus validaciones correspondientes.

Conclusiones de la sección

Existen mejoras respecto a la forma en la que se llevaba a cabo la adquisición y gestión de información antes del cambio cultural producido por la incorporación de la visión de los estándares internacionales al proceso de estimación y al uso de la teoría del muestreo.

El QA/QC ha mejorado, sin embargo, todavía existe la importancia de llevarlo a cabo de manera proactiva fuera de los análisis químicos y siempre considerando un mejoramiento continuo de los protocolos de todas las actividades del proceso de adquisición de información. También existen problemas en el muestreo y actividades de captura en general, debido al poco control y cumplimiento de los protocolos en terreno.

Existen falencias que deben ser mejoradas respecto a toma de muestras de ciertas variables. Los principales problemas tienen relación con la densidad de roca y con las muestras geometalúrgicas, debido a que no en todos los yacimientos existen protocolos estandarizados que se basen en la teoría del muestreo para poder seleccionar muestras representativas.

Las bases de datos buscan ser robustas, coherentes, integrales, seguras y estructuradas, lo que tiende a cumplirse. Su diseño tiene que adecuarse a las hipótesis geológicas y necesidades del negocio. Su calidad ha mejorado gracias a la existencia de controles en línea. Los mayores problemas se relacionan con los datos históricos, problemas de inventarios y conectividad con otras bases de datos. Los primeros deben solucionarse a partir del tratamiento de las muestras históricas tratando de llevarlas a los estándares actuales, y los últimos a partir de cambios organizacionales y de traspaso de información.

Los encargados deben responsabilizarse de la cultura organizacional relacionada con temas de calidad y comunicación entre áreas. Se recomienda que sean internos a la compañía y con una amplia experiencia en el yacimiento, ya que de esta forma estarán más compenetrados con las necesidades específicas sobre la adquisición y gestión de información para el yacimiento en particular.

Los criterios de interpretación y mapeo deben estar unificados en el yacimiento, y su concepción junto con el diseño de la base de datos, debe realizarse a partir de una discusión del equipo de trabajo con el geólogo líder. Toda información capturada debe ser documentada de manera física y digital por temas de trazabilidad.

La información básica utilizada en la estimación de recursos es la base de todo el negocio minero, por lo que no se pueden desestimar los temas de calidad de la información.

4.2 Modelamiento Geológico

4.2.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria

Los resultados de las Tablas 24 y 25 representan las principales falencias y enfoques que deberían considerarse al momento de realizar el modelamiento geológico para cualquier yacimiento según las personas entrevistadas. Se presentan como un porcentaje de los expertos que consideraron importante el aspecto señalado.

Tabla 24. Resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos para modelamiento geológico.

Aspecto	Descripción	Aceptación
Conceptualización	Desarrollar el modelo en función de conocimiento geológico de los modeladores. Este proceso es el más relevante a la hora de modelar	100.0%
Documentación de criterios	Todo criterio geológico utilizado debe ser documentado junto con la descripción de cada unidad geológica	100.0%
Conciliación Geológica	En la industria no se realiza regularmente ni de manera estandarizada una conciliación de los atributos geológicos	100.0%
Ajuste de modelos a partir de conciliación	Falta realizar ajustes de los modelos o de los criterios geológicos a partir de los resultados de conciliación geológica	100.0%
Mejoramiento continuo	El modelo geológico debe irse mejorando constantemente a partir de la nueva información. Los modeladores no deben ser adversos a los cambios	100.0%
Trabajo en equipo	Se espera que no haya solo un conceptualizador, sino todo un equipo de geología que considere a la gente en terreno y a los estimadores	100.0%
Estudios de incertidumbre de límites	Se debe analizar la variabilidad de los límites geológicos	100.0%
Revisiones y Validaciones	Todos los resultados y criterios deben ser revisados y validados, ojalá también por una persona externa a la construcción del modelo	100.0%
No abusar de software (controlarlo)	Siempre hay que mantener un control de los softwares de modelamiento que se utilizan, sobre todo hoy que se ha implementado en gran medida técnicas de modelamiento con enfoques matemáticos	100.0%
Sustentado con información	Evitar modelar con criterios no fundamentados en información del yacimiento	100.0%

En la Tabla 24 se aprecia que dentro de los aspectos más importantes se encuentran la conceptualización geológica y el trabajo en equipo. La conceptualización es la definición de las hipótesis geológicas utilizadas para explicar los procesos que gobiernan el yacimiento. Ésta debe basarse en la información que se tiene del yacimiento, y ser generada como un trabajo en conjunto entre los geólogos de terreno (que son los que conocen el yacimiento de manera práctica), los modeladores y estimadores, con el fin de poder generar una discusión constructiva que ayude a entender de mejor forma los atributos o características más relevantes para el modelamiento.

Actualmente muchos de los proyectos ya se encuentran en operación, y la gran mayoría desde hace muchos años, lo que significa que la conceptualización e hipótesis geológicas ya se encuentran estudiadas, validadas y arraigadas en las minas. Esto conduce a que exista una aversión al cambio de criterios, incluso cuando la nueva información muestra la posibilidad de que concepto anterior estuviera en parte errado. Se debe recordar que el modelamiento geológico genera un modelo, el que solo es una representación de la realidad y no la realidad misma, por lo tanto, este debe estar sujeto a mejoramiento continuo para que constantemente se obtengan mejores resultados. Para lograr esto, es importante el proceso de conciliación geológica, en el que se compara para un cierto volumen, la diferencia entre los modelos actuales con la información nueva obtenida ya sea de la operación o de nuevas campañas de sondajes, con el fin de ajustar los modelos. Otro estudio que permite analizar la credibilidad de los modelos corresponde al análisis de variabilidad de los contactos, viendo de forma cuantitativa cuanto cambian los contactos geológicos a partir de la incorporación de nueva información o con técnicas estocásticas de simulaciones geoestadísticas. Lo anterior es posible de realizar sin problemas debido a la tecnología que se tiene en la actualidad.

Si bien gracias a los avances tecnológicos los softwares entregan una serie de herramientas que facilitan la construcción del modelo, los expertos recomiendan no olvidar que lo más importante son los criterios geológicos utilizados para construirlo. No se debe abusar de la facilidad que entrega el software, sino que hay que dominarlo y utilizarlo para ayudar a representar la concepción del yacimiento que tiene el modelador. Todos los resultados obtenidos deben ser revisados y validados preferentemente por un tercero para evitar conflictos de interés, y para evitar pasar por alto errores de conceptualización que podrían no ser identificados por la misma persona que los planteo al construir el modelo. También hay que fijarse en que los cuerpos estén sustentados por información obtenida en las etapas anteriores, de lo contrario los resultados serán muy dependientes de la interpretación que les da el geólogo a las zonas con pocas o sin muestras.

Otro punto relevante es la documentación de los criterios geológicos y de la codificación de la información. Todas las decisiones tomadas deben estar sustentadas con criterios geológicos consistentes con los datos y descritas en los informes de modelamiento, por ejemplo, las unidades mínimas de modelamiento deben estar definidas, junto con las continuidades de los cuerpos, con sus orientaciones, con sus geometrías y relaciones de contacto.

Tabla 25. Resultados con menos de 100% de aceptación por parte de los expertos para el modelamiento geológico.

Aspecto	Descripción	Aceptación
Modelo como base para geometalurgia, geotecnia, densidad, hidrogeología y estimación	El modelo geológico debe sustentar la conceptualización de los otros modelos (siempre que se aprecie un control geológico de sus variables)	88.9%
Importancia de los datos sobre el modelo	Si los datos no son confiables entonces el modelo tampoco lo será y probablemente se generen resultados errados	88.9%
Horizonte temporal del modelo es relevante	El modelo será diferente dependiendo de sus objetivos y horizonte de análisis, necesitando diferentes resoluciones y tipo de información	88.9%
Características operacionales	Dependiendo de las operaciones se requerirán diferentes niveles de detalle sobre los cuales debe estar alineada la resolución del modelo	88.9%
No usar criterios de otros yacimientos	Evitar utilizar criterios geológicos provenientes de otros yacimientos parecidos, ya que pequeños detalles pueden generar cambios relevantes en la conceptualización	55.6%
Barrera cultural Tecnológica	Las personas tienden a evitar utilizar nuevas herramientas, se quedan con las más comunes	55.6%
Evaluación de decisiones	En general si hay tiempo se deberían analizar el impacto en los recursos de todas las decisiones tomadas en el proceso de modelamiento	55.6%
Validación de la construcción del modelo	Actualmente las validaciones están muy centradas en la construcción del modelo y no tanto así en los criterios geológicos	55.6%
Backflag no es una herramienta definitoria	Es el paradigma actual de validación del modelo, pero valida más la herramienta de construcción que los criterios geológicos en sí	44.4%
Entender commodity, fenómeno y yacimiento	Es relevante a la hora de tomar decisiones en el modelamiento	44.4%
Falta mod. Geo metalúrgico	No se realiza en todas partes y es relevante para el negocio	33.3%
Nivel Freático	Se utiliza poco esta información para ayudar a modelar los pisos y techos de sulfuros y óxidos	22.2%
Análisis de proporciones	Incorporar esta validación que es poco utilizada en la industria	11.1%

En la Tabla 25 se pueden ver aspectos tanto con alta como baja aceptación por parte de los expertos. La importancia de los datos por sobre el modelo es una perspectiva más que aceptada, esto debido a que los datos son la base del modelamiento y futura estimación de recursos. Si estos tienen mala calidad o simplemente son incorrectos en cualquier aspecto (ya sea en el mapeo, la codificación, ubicación en el espacio, etc.), entonces el modelamiento tendrá un sesgo producido por utilizar esta información, lo que puede provocar errores en la definición de los volúmenes de las unidades geológicas como en la conceptualización del yacimiento (en etapas tempranas de proyectos o si gran parte de la información contiene fallas). Es por esto que antes de comenzar con la conceptualización y construcción, debe hacerse una revisión exhaustiva de la base de datos a utilizar.

El horizonte temporal y las características operacionales definirán el nivel de detalle necesario para llevar a cabo el modelo. Un modelo de corto plazo requiere un nivel de detalle mayor que uno de largo plazo y un yacimiento con equipos de producción muy grandes no requiere tanto detalle debido a que la geología y las leyes probablemente se diluirán (lo que ocurre comúnmente en operaciones relacionadas a grandes yacimientos porfídicos). La información que utilizan ambos modelos también es distinta, el de corto plazo se sustenta en pozos de tronadura, puntos de extracción, labores subterráneas, mapeos de banco, etc. mientras que el de largo plazo se basa en los sondeos realizados durante el proyecto. Así también los objetivos de ambos modelos son diferentes. El de largo plazo explica la génesis y es la base de la actualización de los inventarios de recursos, mientras que el de corto busca dar continuidad a la operación sirviéndole como base a la planificación diaria y semanal, e incluyendo el modelo de control de leyes que sirve para la selección de estéril y mineral. Estas diferencias entre los modelos hacen relevante alinear los criterios de construcción con sus objetivos.

Algo que evitar es el uso de criterios de otros yacimientos por similitudes con el actual. Se comprende que la experiencia en yacimientos del mismo tipo ayuda a comprender mejor la posible distribución de los minerales y de ciertos fenómenos que puedan ocurrir, sin embargo, es necesario siempre fundamentar las decisiones con la información y estudios del yacimiento analizado y no dejarse llevar solo por la experiencia previa ya que podría generarse una conceptualización equivocada del yacimiento.

También hay que generar un quiebre de la barrera cultural tecnológica. Si bien la herramienta no es lo más relevante en el proceso de modelamiento, si es un elemento que si se sabe utilizar de manera correcta puede ayudar al proceso de construcción y al análisis de los resultados obtenidos. Por lo tanto, aunque no se recomienda el uso de una herramienta en particular, sí se recomienda conocer sus ventajas y limitaciones, y saber utilizarlas cuando sea necesario.

Los modelos y criterios utilizados deben ser validados. Actualmente la validación se centra en la construcción del modelo más que en los criterios en sí mismos. Por ejemplo, hoy en día se utiliza mucho el backflag para validar el modelo. El paradigma actual dice que es la herramienta de validación más fuerte, sin embargo, solo muestra si el modelo tiene sentido con los datos, pero no necesariamente si la conceptualización con la que se generó el modelo es la correcta. No es una herramienta que defina si el modelo es predictivo o no, y tampoco considera evaluaciones de decisiones, por tanto, solo se aborda parte del problema. Uno de los expertos propone el uso de análisis de proporciones para asegurar la consistencia geológica.

4.2.2 Resultados de Mineras

A continuación, se presentan los resultados obtenidos por parte de las empresas mineras para la etapa de Modelamiento geológico. Estos se muestran como tablas de frecuencias que representan cada pregunta realizada. En la sección de Anexos III se pueden encontrar las tablas de respuestas individuales que están representadas con códigos cuyo significado se encuentra en la misma sección.

La Tabla 26 muestra que todos los yacimientos cuentan con unidades geológicas. Nueve de estos utilizan la isoley como una ayuda para modelar y el 4 la usa como unidad principal de modelamiento, pero considerando también unidades de otros atributos geológicos (ver Tabla 84). Respecto a los modelos geotécnicos y geo-metalúrgicos, vale decir que estos son desarrollados por otras áreas, habiendo poco intercambio de información. En general se debería promover que los tres equipos compartieran criterios e información con tal de poder ver las relaciones entre ellos, y que sus respectivos modelos sean más robustos.

Tabla 26. Frecuencia de los modelos utilizados en los yacimientos.

Modelos del Yacimiento	
Enfoque de Modelamiento	Frecuencia
Grade Shell	10
UG	13
UGT	9
UGMT	11

Los atributos modelados presentes en la Tabla 27 son variados entre los yacimientos, esto debido a que los fenómenos que dieron origen a la mineralización (y que por lo tanto la controla), pueden ser completamente diferentes entre unos y otros pese a ser yacimientos del mismo tipo. De todas formas, se puede ver una clara tendencia a modelar los atributos típicos como mineralización, litología, zona mineral y estructuras.

Tabla 27. Frecuencia de atributos geológicos modelados.

Atributos Geológicos	
Atributos	Frecuencia
Litología	13
Mineralización	13
Alteración	10
Estructural	10
Pisos y Techos	6
Vetillas	4
Leyes	10
Recuperación	4

De acuerdo con la Tabla 28, la principal herramienta utilizada para la construcción del modelo es el modelamiento implícito. Solo el yacimiento 13 construye su modelo a base de Kriging de indicadores (ver Tabla 84). Otros tres yacimientos también utilizan esta técnica, pero con otros objetivos. El yacimiento 4 lo utiliza para generar su modelo de isopley y los otros dos para ayudar el modelamiento de las unidades geológicas o para definir unidades de elementos que son más difícil de modelar como el arsénico. La interpretación en plantas y secciones tiende a utilizarse como ayuda al modelamiento de las unidades geológicas, sirven para guiar el modelamiento implícito o para generar restricciones sobre él. En la misma Tabla 28 se puede apreciar que en ningún yacimiento se utilizan técnicas estocásticas para modelar, sosteniendo la idea de la resistencia al uso de nuevas herramientas o la poca capacitación existente para estas.

Tabla 28. Frecuencia de uso de herramientas de construcción.

Herramientas de Construcción	
Delimitación de unidades	Frecuencia
Interpretación en Plantas y Secciones	6
Extrusión de Polígonos	0
Triangulaciones	0
Modelamiento Implícito	12
Kriging Indicadores	4
Simulación geoestadística	0

Las validaciones y chequeos realizadas por las mineras son similares, las diferencias principales según la Tabla 29 son la realización de reinterpretación con menos datos y de análisis de proporciones. Estas técnicas sirven para la determinación de zonas con mayor potencial de variabilidad y para asegurar la consistencia geológica, sin embargo, son escasamente utilizadas. También se puede ver que no en todos los yacimientos se realiza conciliación de la información geológica, no hacerlo de manera estandarizada es una mala práctica debido a que no hay un análisis de la predictibilidad del modelo geológico. Dentro de las respuestas había quienes indicaban que solo se realizaba conciliación geológica si existían problemas en el negocio, pero este enfoque es muy reactivo y no toma el problema de manera proactiva con el fin de evitar la ocurrencia de errores. El uso de secciones de control ayuda a disminuir la incertidumbre de los contactos geológicos, sin embargo, con la llegada del modelamiento implícito su utilización ha disminuido debido a la posibilidad de generar un modelo en tres dimensiones cuyos parámetros pueden modificarse para que no haya problemas en los contactos. Una vez más queda claro que no hay énfasis en el uso de técnicas más sofisticadas al observar que en ningún yacimiento se utilizan técnicas de simulación geoestadística para identificar la variabilidad de los contactos geológicos. Todo esto indica que existen pocas empresas que consideran la incertidumbre de los límites de las unidades.

Tabla 29. Frecuencia de herramientas de validación del modelo.

Herramientas de Validación	
Validaciones	Frecuencia
Secciones de Control	7
Backflag	12
Análisis de Proporciones	4
Reinterpretación con menos datos	2
Revisión de consistencia entre datos y modelo	13
Evaluación de predicción con nueva información (conciliación)	8
Simulaciones	0

De acuerdo con la Tabla 30 la mayoría de las revisiones son llevadas a cabo en todos los yacimientos. Un resultado que destacar corresponde al hecho de que en el yacimiento 5 no se hace revisión de unidades no modelables. Esta revisión es muy común e intuitiva, por lo que este resultado se asocia a un error al responder la encuesta. Otro resultado que podría llamar la atención es que en la mayoría de los yacimientos se pinten los datos. Los encargados explican que solo se realiza para asegurar la consistencia geológica en la estimación y que se genera un nuevo atributo en la base de datos, no eliminándose el dato original.

Tabla 30. Frecuencia de revisiones y chequeos.

Revisiones y Chequeos	
Revisiones	Frecuencia
Revisión zonas aisladas o geometrías extrañas	13
Aseguramiento de la integridad de los datos antes de comenzar con el modelo geológico	13
Revisión de relaciones entre la litología, mineralización, estructuras, etc.	13
Revisión de las prácticas del modelamiento y criterios de interpretación	13
Revisión del mapeo para los contactos de las unidades	13
Corrección de los contactos cuando se encuentran corridos respecto a los datos	13
Revisión de unidades no modelables	12
Análisis de la cronología de los eventos	13
Guía de interpretación	12
Determinación de zonas con mayor potencial de variabilidad	9
Pintado de datos	12
Comparación con modelos anteriores	13

El software más utilizado para construir el modelo es LeapfrogGeo, principalmente porque es el software que lleva más tiempo en el mercado con un módulo de modelamiento implícito, sin embargo, existen minas que utilizan otros softwares como Vulcan, Datamine e ISATIS para modelar (en conjunto con LeapfrogGeo y sobre todo para los modelos de corto plazo).

Tabla 31. Frecuencia de utilización de software de modelamiento.

Softwares de modelamiento	
Software	Frecuencia
Leapfrog Geo	13
Vulcan	4
Minesight	0
Micromine	0
Gems	0
Datamine	1
ISATIS	2

4.2.3 Síntesis y conclusiones

Para el modelamiento geológico se determina que los aspectos más relevantes corresponden a la conceptualización, la construcción del modelo geológico, su validación y finalmente la documentación.

El entendimiento geológico es la base para poder realizar el modelo. Comprender los procesos o eventos formadores y su cronología, junto la interacción entre los diferentes atributos geológicos es imprescindible para determinar los posibles controles de las variables de interés (leyes, geotécnicas y geometalúrgicas). La conceptualización debe realizarse como un trabajo en equipo entre los geólogos de campo, los modeladores y los estimadores, con el fin de generar discusiones constructivas y que todo el equipo comprenda las bases de interpretación e hipótesis de la formación del yacimiento. Estos criterios deben estar sujetos a mejoramiento continuo a partir de la nueva información proveniente de las operaciones y de nuevas campañas de sondajes. Actualmente las empresas tienden a generar modelos geológicos para que sean la base de los modelos geotécnicos, geometalúrgicos y de estimación, en general se evita el uso de isoleyes como base del modelo de estimación y su uso solo se acota a un soporte para entender los atributos que controlan la ley como puede apreciarse en los Gráficos 11 y 12.

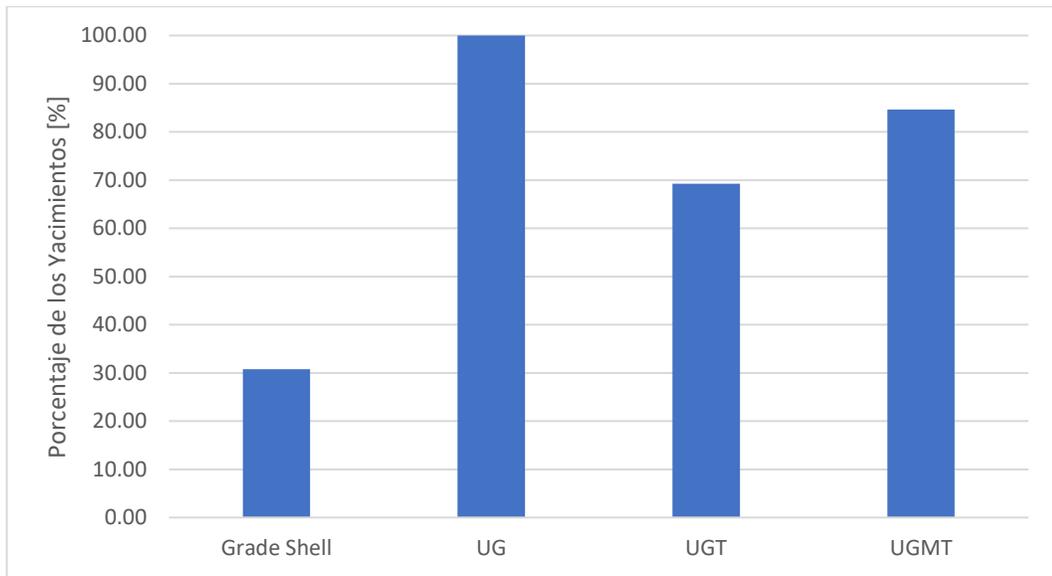


Gráfico 11. Tipos de unidades modeladas en los yacimientos.

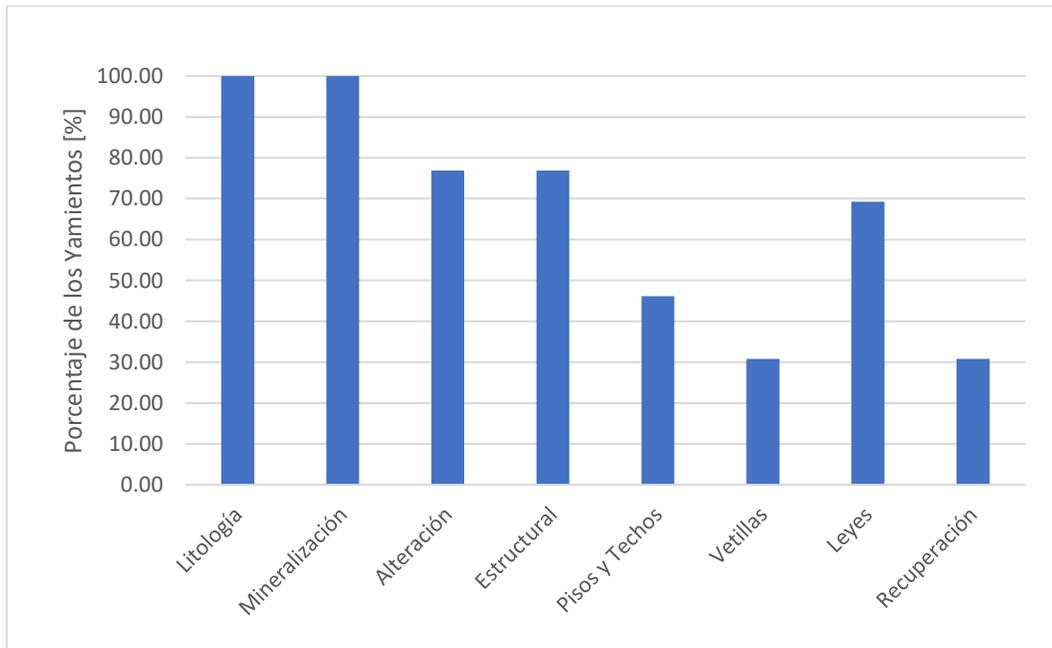


Gráfico 12. Atributos geológicos modelados en los yacimientos.

La construcción del modelo debe adecuarse al nivel de detalle necesario en función de las características del yacimiento, las operaciones mineras realizadas para su explotación y el horizonte temporal respecto al que es construido. El soporte de las muestras en general queda determinado en función de los contactos geológicos y la teoría del muestreo, con un tamaño mucho menor al que se esperaría considerando la dilución (como muestra el Gráfico 13). En yacimientos tipo pórfido sin un gran control estructural no es necesario tanto detalle, por lo que existe más holgura en la definición de los límites de las unidades.

Ha habido un cambio en cuanto al paradigma de construcción, pasando de un modelamiento explícito de secciones y plantas a técnicas geoestadísticas, estocásticas y de computación gráfica. En general hay un mayor uso del modelamiento implícito, principalmente usando el software Leapfrog lo que se puede observar de los Gráficos 14 y 15. A pesar de la facilidad y rapidez que otorgan las nuevas herramientas para la construcción del modelo, hay que tener presente que no se debe abusar de ellas. El modelador debe controlar la herramienta y no dejar que actúe por sí sola, incorporando criterios y decisiones, comparando los resultados obtenidos, asegurándose de que cada unidad se encuentre sustentada con información y ajustando los límites de forma que se relacione con los conceptos geológicos de la formación del yacimiento.

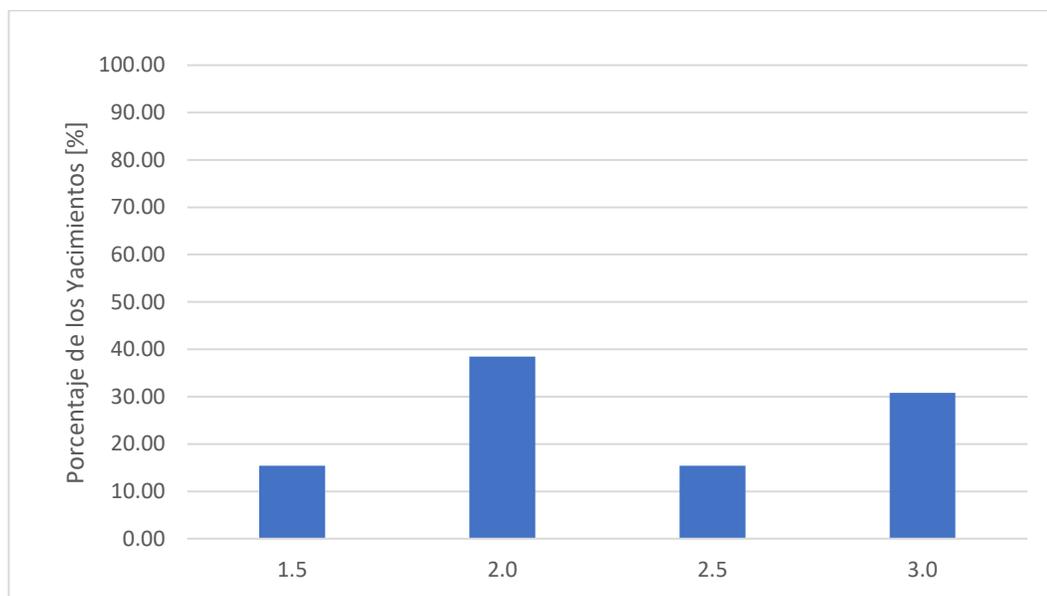


Gráfico 13. Tamaño de soporte de muestras.

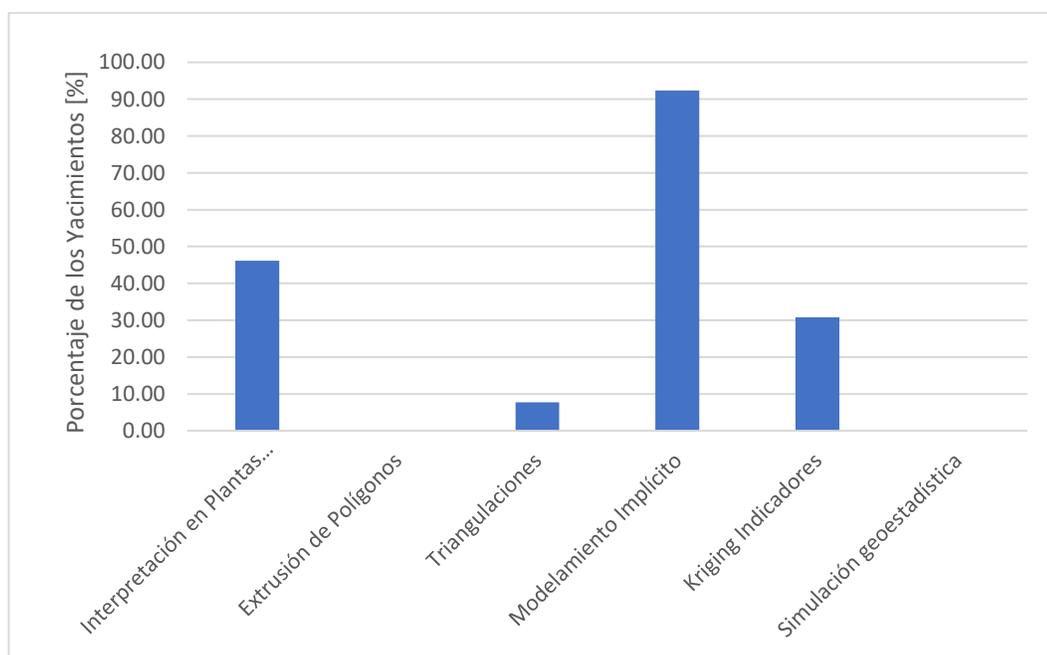


Gráfico 14. Herramientas de Construcción.

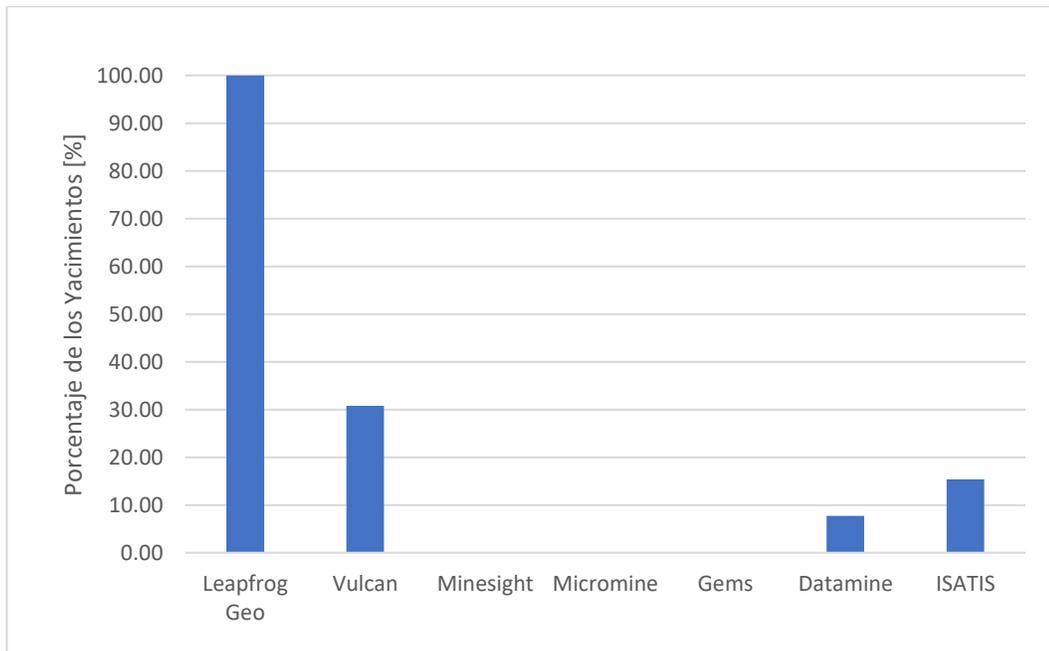


Gráfico 15. Software de Modelamiento.

Las validaciones del modelo geológico tienden a ser variadas, sin embargo, de acuerdo a los Gráficos 16, 17 y 18, no se tienden a utilizar algunas técnicas. La reinterpretación con menos datos, la conciliación geológica y las simulaciones geoestadísticas, que son herramientas importantes al ahora de evaluar la variabilidad de los límites de las unidades geológicas, son claramente menos utilizadas que otras que evalúan la integridad relacional entre los datos y las unidades (como el backflag). El uso de técnicas más sofisticadas de validación se evita por una cultura adversa al cambio y a la poca comprensión de su utilidad. Pero lo más inquietante, es el poco uso de conciliaciones geológicas antes de que existan problemas con los resultados de las leyes, en vez de llevarlo a cabo como una actividad estandarizada, siendo que es la única manera de determinar la predictibilidad del modelo geológico. Debe también destacarse la importancia de estar abierto a la posibilidad de cambios en el modelo, ya que el modelamiento está asociado a un proceso de mejoramiento continuo, y siempre es una buena práctica realizar comparaciones entre las actualizaciones de los modelos.

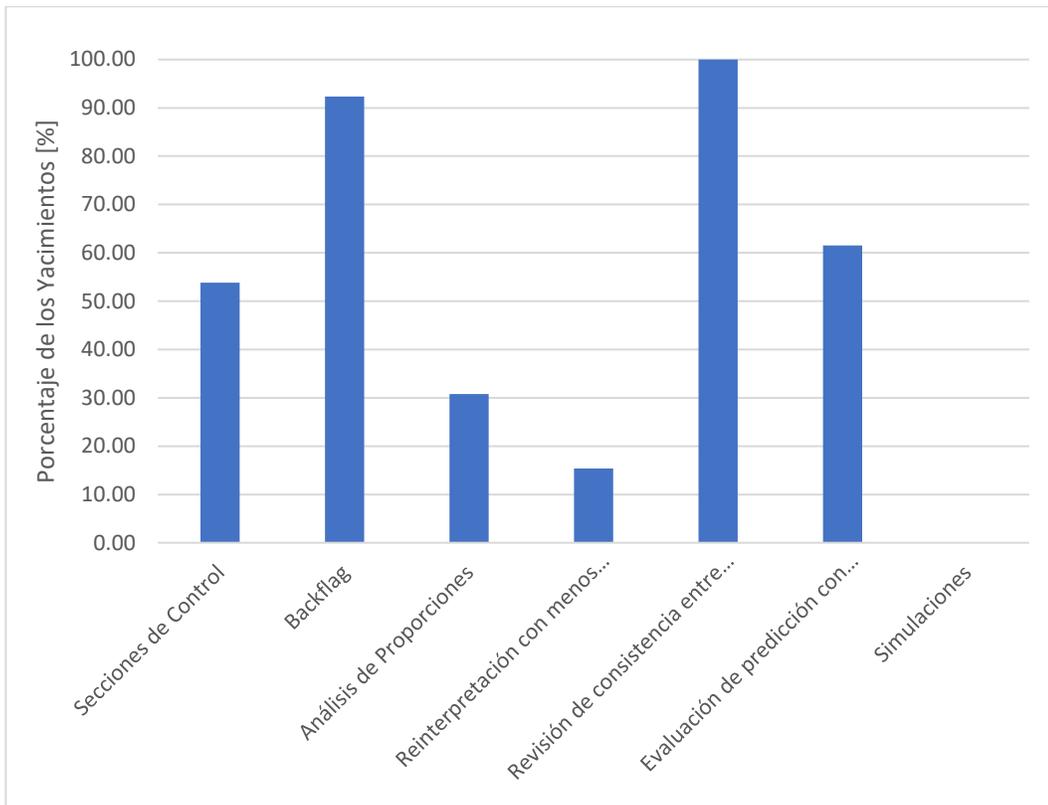


Gráfico 16. Herramientas de Validación.

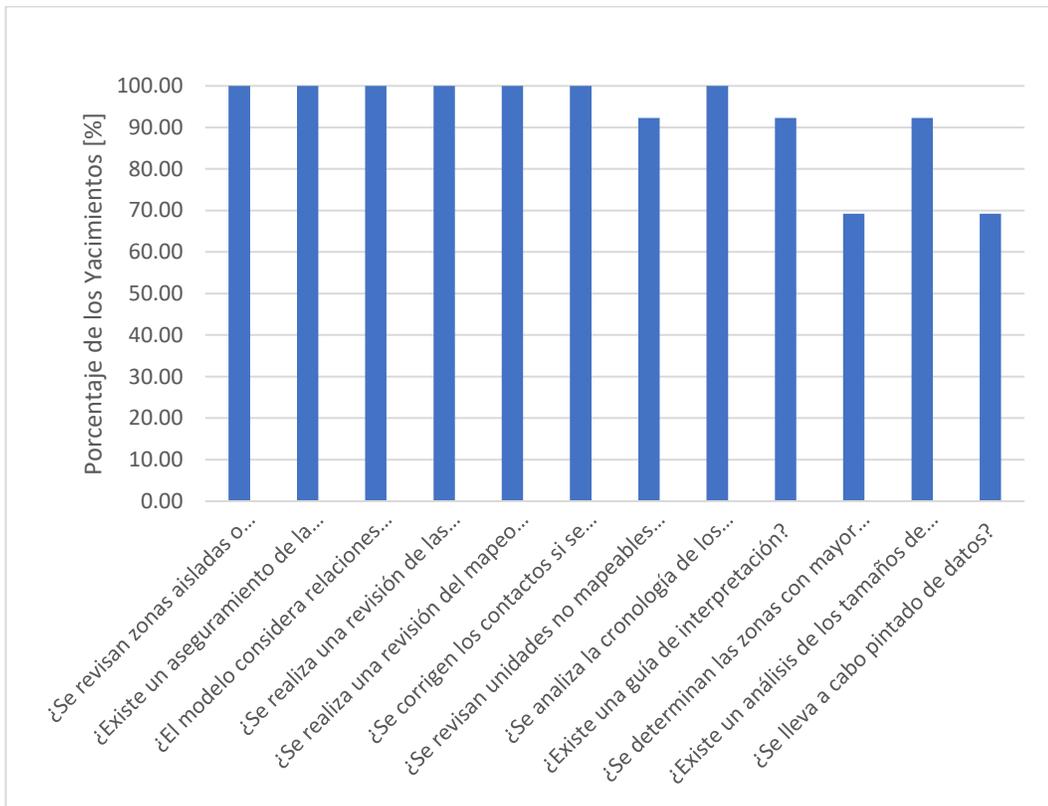


Gráfico 17. Revisiones del Modelo.

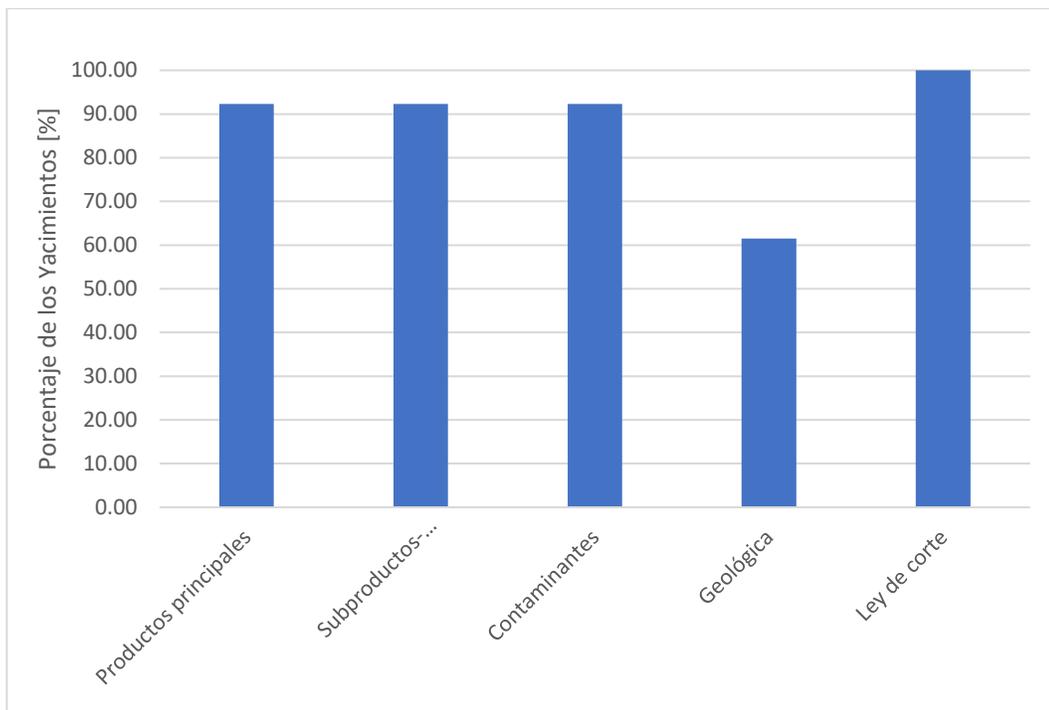


Gráfico 18. Parámetros para conciliar.

Finalmente, al igual que en la sección anterior la documentación es un tema de gran relevancia para el modelamiento. Partiendo de la oficialización de la información utilizada para modelar, los criterios utilizados, las características geológicas y definiciones de las unidades geológicas, hasta el almacenamiento del modelo geológico oficial para un hito de entrega.

Conclusiones de la sección

Los conceptos geológicos son lo más importantes a la hora de crear los modelos. Uno construido solo a partir de técnicas computacionales no tendrá la consistencia que tiene otro que considera los procesos de formación y las hipótesis de distribución de distintos atributos geológicos. Este proceso debe ser llevado por todo el equipo de trabajo para generar una discusión constructiva.

Se debe recordar que los modelos solo son representaciones de la realidad, por lo tanto, un análisis de la variabilidad de los límites de las unidades ayuda a comprender la incertidumbre que se tendrá en los procesos de estimación posteriores. A su vez el modelo requiere ser conciliado en función de la nueva información proveniente de operaciones (modelo de corto plazo), y la proveniente de nuevas campañas de sondajes con el fin de tener una idea de su capacidad predictiva.

El modelo debe ser documentado junto con la información y criterios utilizados para su construcción por temas de trazabilidad, y también para tener un apoyo comparativo al momento de realizar actualizaciones de este.

Finalmente es importante destacar que el modelo geológico es la base de los modelos de estimación, geometalurgia y geotecnia, por lo tanto, su correcta conceptualización y construcción sentará las bases del modelo de negocios.

4.3 Estimación de Variables Cuantitativas

4.3.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria

Los resultados de las Tablas 32 y 33 representan las principales falencias y enfoques que deberían considerarse al momento de realizar la estimación de variables cuantitativas para cualquier yacimiento según las personas entrevistadas. Se presentan como un porcentaje de los expertos que consideraron importante el aspecto señalado.

Tabla 32. Resultados con un 100% de aceptación por parte de los expertos para Estimación de Recursos.

Aspecto	Descripción	Aceptación
Reproducción de Estimación	Los resultados de la estimación de variables cuantitativas deben ser reproducibles por terceros	100.0%
Sesgo Condicional	Deben utilizarse metodologías para cuantificar el sesgo condicional y para corregirlo	100.0%
Validaciones	Los resultados de estimación deben ser validados en función de los criterios y parámetros utilizados	100.0%
Evaluar decisiones de Unidades de Estimación	Analizar qué impacto generan las decisiones de las unidades sobre los recursos del yacimiento	100.0%
Suavizamiento	Se debe analizar el nivel de suavizamiento causado por la herramienta de estimación	100.0%
Trabajo en Equipo	Debe existir un equipo de trabajo en todo el proceso de estimación	100.0%
Documentación de Criterios	Todos los criterios deben estar debidamente documentados y validados	100.0%
Outliers	Se deben reconocer los outliers y analizar el impacto de las decisiones sobre su tratamiento en los recursos del yacimiento	100.0%
Análisis de contacto	Se debe determinar si se definen como duros, blandos, transicionales, etc.	100.0%
Escoger metodología adecuada	La metodología será diferente en función de la etapa del proyecto y del nivel de información en las diferentes zonas	100.0%
Importa el nivel de información	Sirve para definir la metodología, nivel de detalle, suavizamiento y confiabilidad de los resultados	100.0%
Problema de documentación	Actualmente los encargados de estimación no priorizan de manera adecuada el informe de estimación	100.0%
Conciliaciones	Las conciliaciones son relevantes para analizar la predictibilidad del modelo	100.0%
Sentido Geológico	La definición de unidades de estimación y planes de búsqueda deben estar sustentados por un sentido geológico	100.0%

Se destaca de la Tabla 32, la importancia que tiene la reproducción de la estimación por un tercero, centrándose en temas de transparencia y trazabilidad. Para ello es necesario contar de manera documentada con los criterios empleados para su desarrollo, así como también los cambios o correcciones realizados luego de las revisiones y validaciones del modelo. Esto es de utilidad cuando se quiere que otro estimador o equipo revise o valide la estimación de las variables cuantitativas, en búsqueda de errores de criterio o construcción o incluso para identificar un posible fraude. La mayoría de los expertos señalaron que los informes de estimación no contienen la información ni criterios mínimos necesarios, y que por temas de tiempo no se tiende a priorizar su escritura. La precariedad de este documento puede invalidar la estimación ya que habría poco sustento para sus resultados. Es recomendable su construcción ya que también es un apoyo para el estimador al momento de realizar actualizaciones del modelo, permitiéndole hacer comparaciones de los parámetros y criterios aplicados.

En cuanto a la construcción del modelo de recursos, se enfatiza la necesidad de aplicar criterios geológicos tanto en la formación de las unidades de estimación como en las estrategias de búsqueda de los datos usados en cada una. Esto responde a que la distribución de las variables cuantitativas relevantes dentro del yacimiento está controlada por sus procesos o fenómenos geológicos de formación (sean o no conocidos), y por lo tanto, cualquier estimación que no considere la geología, presentaría deficiencias y falta de sustento. Lo anterior tiene que estar relacionado con análisis estadísticos que ayuden a determinar las relaciones espaciales de las variables y su vinculación con diferentes atributos geológicos. Por lo tanto, queda claro que se requiere una comunicación fluida entre el personal en terreno, los geólogos de modelamiento y estimación, es decir, un buen trabajo en equipo interdisciplinario.

Otros puntos relevantes que considerar son la cantidad de información y la elección de la herramienta utilizada para estimar. El realizar estimaciones con poca información podría generar sesgos condicionales, una sobre extrapolación, un aumento del suavizamiento de las variables (una apreciación más continua del yacimiento que no representan correctamente la variabilidad), provocando que haya una mayor probabilidad de errores al escoger el destino de los bloques explotados. Respecto a la herramienta de estimación, es necesario que los estimadores comprendan cuáles son las principales ventajas y limitaciones que posee cada una de ellas al momento de escogerlas. Así podrán alinearlas con las diferentes configuraciones de los yacimientos, distintas zonas dentro de los mismos y al nivel de información que se tenga de ellos. Es decir, la elección de la herramienta debe estar fundamentada y al mismo tiempo tiene que existir un dominio de ésta, ya que no importa cuán sofisticada sea, el no saber usarla solo podría generar malos resultados.

También se considera importante la identificación y tratamiento de los datos outliers. Estos pueden generar efectos desproporcionados en los resultados de estimación, provocando subestimaciones o sobrestimaciones dependiendo de sus valores, es por esto por lo que deben realizarse análisis para identificar su presencia en las diferentes poblaciones de datos y para saber cuál es su naturaleza (se asocian a un sondaje particular, a una zona específica, pertenecen a otra unidad cercana, corresponden a errores de los ensayos analíticos o de la base de datos). El tratamiento de los outliers debe depender de este análisis y tanto sus resultados como las decisiones tomadas respecto a ellos tienen que ser documentados.

De acuerdo con las respuestas, los análisis de contactos son considerados como puntos relevantes para la estimación. Estos ayudan a determinar la posibilidad de utilizar datos de unidades colindantes. El realizar las estimaciones con contactos duros o blandos podría generar diferencias significativas en los recursos del yacimiento, sobre todo si existen unidades de alta ley cercanas a otras de baja.

Otros aspectos unánimes corresponden a las validaciones de los datos, y de los parámetros y criterios utilizados para realizar la estimación. Para esto se realiza una serie de chequeos, como, por ejemplo, que no haya diferencias significativas entre los promedios de los datos y de los bloques tanto de manera global como de manera local, que los valores estimados sean parecidos a los datos en sus cercanías, que el nivel suavizamiento no sea excesivo, y que se detecten discontinuidades o artefactos de manera visual. De estos aspectos es importante destacar el nivel de suavizamiento, ya que disminuirlo genera un aumento del sesgo condicional y es un dilema en la aplicación de técnicas de estimación. Evitar el suavizamiento a partir de pasadas o con vecindades de kriging pequeñas son malas prácticas ya que provocan discontinuidades artificiales en los resultados de la estimación.

Los expertos recomiendan utilizar técnicas como el vecino más cercano para contrastar los resultados, y también hacer gráficos de derivas entre los datos y los bloques para ver si siguen las mismas tendencias. Todos los resultados deberían ser analizados (su impacto en el inventario de recursos), al igual que las decisiones más relevantes efectuadas, como, por ejemplo, las que tengan relación con la delimitación de las unidades de estimación.

Tabla 33. Resultados con menos de un 100% de aceptación por parte de los expertos para Estimación de Recursos

Aspecto	Descripción	Aceptación
Asignación de densidad de roca	Debe compararse la asignación de densidad con resultados de una estimación de densidad	88.9%
Tamaño de Compósito	Deben realizarse estudios de variabilidad y de características operacionales para sustentar la elección de sus tamaños	88.9%
Falta de análisis de incertidumbre	Falta análisis de incertidumbre de los resultados de estimación y también análisis de escenarios	88.9%
Unidades de Estimación	La definición de los límites y tipos de contactos entre las unidades es la actividad más importante en la estimación de recursos	66.7%
Derivas	Los análisis de derivas son imprescindibles para realizar correctamente la estimación	66.7%
Horizonte temporal	El modelo será diferente dependiendo de sus objetivos y horizonte de análisis, necesitando diferentes resoluciones y tipo de información	66.7%
Calibrar plan de estimación	Con conciliación y con validación cruzada, se pueden calibrar los planes de estimación para mejorar la predictibilidad del modelo	66.7%
Validaciones Cruzadas	Necesarias para validar el desempeño de la estimación	55.6%
Análisis estadístico de datos	Relevante para realizar la separación de unidades y analizar los resultados de la estimación	55.6%
Tener enfoque en otras variables que no sean cobre	Las variables deben estimarse en función de sus propias unidades a menos que haya una correlación suficiente con la variable principal	44.4%
Estimar Densidad de Roca	No debe asignarse la densidad si no que debe estimarse	33.3%
Kriging debería ser global	Para estimar no deberían utilizarse vecindades de búsqueda de datos, sino que debería realizarse a partir de toda la información disponible	22.2%
Octantes	Evitar su utilización ya que pueden generar artefactos en los resultados de estimación	11.1%
Unidades de Estimación no tienen sentido	No permiten una visión global de la interacción de los atributos	11.1%
Cuidado con el uso de software diferentes	Diferencias de resultados entre softwares debido a los métodos de aproximación de datos y marcado de bloques	11.1%

En la Tabla 33 se ven los enfoques que no tuvieron un 100% de aprobación, Dentro de los más importantes se encontraría la asignación de densidad por atributo geológico o unidad de estimación. Claramente una asignación directa presentará un mayor sesgo y una menor variabilidad de la densidad en las diferentes zonas del yacimiento. Esta práctica actual no se alinea con los códigos internacionales donde se expone que los recursos deben ser reportados con ciertos grados de confiabilidad tanto en su ley como en su tonelaje. El tonelaje de finos del yacimiento depende tanto de la ley, como del volumen y de la densidad de roca, por lo tanto, se entiende que esta última requiere mayor relevancia que la que se le otorga actualmente. Un 88,9 % de los expertos exponen la necesidad de al menos realizar una comparación y estudiar el impacto sobre los recursos que tiene realizar una estimación de la densidad en comparación con la asignación directa. Un 33.3% asegura que la mejor opción siempre será estimar la densidad.

El tamaño de compósito también se ha considerado por los expertos como un punto importante que estudiar. Esto debido a que el efecto soporte afecta directamente el análisis exploratorio de datos, la variografía y los resultados de la estimación de recursos (los compósitos no son del mismo tamaño que los bloques por lo que al estimar, la diferencia de tamaños y cantidad de muestras compositadas dentro de los bloques provocaran diferencias en los resultados), por lo que la decisión de sus tamaños debe considerar tanto enfoques estadísticos como operacionales. También cabe destacar que no es recomendable realizar compósitos más pequeños que el soporte de los datos originales, esto debido a que se genera una falsa sensación de continuidad en el yacimiento.

Otro aspecto que considerar corresponde a la falta de análisis de incertidumbre o de escenarios de los resultados de la estimación de recursos. En general, hoy no se utilizan métodos de simulación geoestadística ni estudios de casos optimistas o pesimistas. Esto produce que los modelos de estimación sean vistos como una verdad absoluta y que no se considere la variabilidad misma de los resultados más allá que con un análisis cualitativo en la categorización de estos, no traspasándose esta incertidumbre a eslabones posteriores en la cadena de valor como la planificación o el diseño.

También pueden apreciar criterios con menor apoyo. Se muestra que un 66.7% de los entrevistados considera que la definición de unidades de estimación es la actividad más importante en el proceso de estimación, sin embargo, un 11.1% (una sola persona) considera que en realidad definir unidades de estimación es solo un paradigma actual, que impide la apreciación global y completa de la interacción de todos los atributos geológicos y su relación con la distribución de las leyes del yacimiento. Su apreciación se basa en el potencial desarrollo tecnológico de las herramientas de estimación, que podrían entregar la posibilidad de hacer análisis multivariados que consideren todas las características geológicas observables del yacimiento pudiendo permitir mejores percepciones de los controles de mineralización.

Los análisis de derivas tanto en el proceso de definición de unidades como en la validación del desempeño interno de la estimación se consideran estudios importantes. En el primer caso tiene una relación directa con el uso del Kriging como estimador de las variables cuantitativas del yacimiento, esto ya que dentro de sus restricciones está encontrarse en un dominio estacionario o al menos localmente estacionario (a menos que se utilice un tipo de Kriging llamado Kriging con derivas). Para las validaciones principalmente se estudian las derivas o promedios de leyes por ubicación entre las muestras y los valores estimados.

También hay una aprobación significativa respecto a que una buena estimación se basa en tener un buen plan de Kriging, el que puede estar adecuado a características geométricas, geológicas y estadísticas (variografía) de las unidades a estimar. En general, se basa en definir vecindades de estimación, restricciones del número de muestras, en imponer que las muestras provengan de más de un sondaje y también en restringir el radio de influencia de los outliers. El plan debe ser mejorado mediante la comparación de los resultados de la estimación con las muestras, con los datos de operación, o a partir de técnicas de validación cruzada, K-fold u otros similares. También existen herramientas como el KNA que trata de optimizar los parámetros de los planes de estimación a partir de la eficiencia del Kriging y de las pendientes de regresión entre valores reales y estimados. Por otro lado, un 22.2% de los expertos indica que no deberían utilizarse vecindades de búsqueda ni planes de estimación, si no que ésta debería ser de carácter global, evitando las “pasadas” y metodologías similares, ya que éstas generan discontinuidades artificiales en el modelo de bloques. Otra punto respecto a la vecindad de los planes de estimación, es que existe una malinterpretación por parte de algunos estimadores quienes creen que al reducir los radios de búsqueda mejoran los resultados al disminuir el suavizamiento, sin embargo, esto solo es en parte verdad, ya que utilizar vecindades pequeñas o pasadas puede disminuir el suavizamiento, pero aumentar el sesgo condicional, disminuyendo la precisión.

Resulta interesante observar que solo un 55.6% de los entrevistados consideraran que el análisis estadístico de los datos es una de las actividades más relevantes de la estimación de recursos. Más que estar en contra, el aspecto no fue introducido por ninguno de ellos, por lo que existe la posibilidad es que sientan que es obvio que el análisis estadístico de los datos deba ser realizado de manera correcta y exhaustiva. Esto último tiene más sentido que pensar que expertos de la industria no consideren estas herramientas como relevantes para el proceso de estimación.

Algunos expertos hicieron notar la necesidad de que la industria evite realizar las estimaciones de ciertas variables en función de las unidades de estimación definidas para la variable principal (que para los pórfidos tiende a ser la ley de cobre), sino que se creen unidades de estimación para cada variable a estimar a menos que su relación con ésta haya sido estudiada y sea lo suficiente para estimarse dentro de la unidad de la variable principal.

Finalmente, solo una persona habla de un tema que tiene bastante sentido a la hora de realizar validaciones de modelos. Al validar o tratar de reproducir una estimación, la mejor forma es hacerlo a partir del uso del mismo software, ya que el tratamiento de datos, decimales, y la forma de designar los bloques, pueden generar diferencias en los resultados de estimación, que podrían confundirse con errores de criterios, o inconsistencias entre lo obtenido y lo reportado en los informes.

4.3.2 Resultados de Mineras

De la Tabla 34 se aprecia que todas las mineras estiman la ley de la variable principal, lo que es lógico debido a que es el elemento fundamental para la evaluación del valor del yacimiento. A su vez, en la mayoría de los yacimientos estima al menos un subproducto y un contaminante (generalmente el arsénico, aunque también existen algunos que estiman el mercurio, plomo u otros). Respecto a las variables metalúrgicas y a la densidad de roca, pese a que sí se realizan ensayos para determinar los valores de ciertas variables metalúrgicas, y a que también se efectúan mediciones de densidad, no en todos los yacimientos se desarrollan estimaciones de estas variables.

Tabla 34. Frecuencia de variables estimadas.

Variables estimadas	
Variable	Frecuencia
Leyes Principales	13
Subproductos	12
Contaminantes	12
Metalúrgicas	6
Densidad	7

De acuerdo con la Tabla 35, las técnicas estadísticas para separar unidades de estimación son básicamente las mismas en todos los yacimientos. Se usan herramientas típicas no habiendo mayores discrepancias, excepto por el software utilizado (Isatis, Vulcan, Supervisor, Statistica, etc.).

Tabla 35. Frecuencia de herramientas para análisis estadístico y separación de unidades.

Herramientas para análisis estadístico y separación de unidades	
Herramientas	Frecuencia
Desagrupamiento	13
Diagramas QQ	13
Leyes Medias	13
Gráfico de Derivas	13
Gráfico de Cajas	12
Gráficos de Distribución de Probabilidad	12
Gráficos de Contactos	13
Variografía	13

La combinación de atributos geológicos que controlan la mineralización es diferente para todos los yacimientos. En los pórfidos analizados pareciera que existe un mayor control por parte de la mineralización, litología y alteración, mientras que características más estructurales solo son relevantes en algunos yacimientos.

Tabla 36. Frecuencia de atributos que controlan las leyes del yacimiento.

Atributos que controlan la ley	
Atributo	Frecuencia
Litología	9
Mineralización	11
Alteración	8
Estructural	5
Pisos y Techos	3
Vetillas	1
Zona Mineral	4

En la mayoría de los yacimientos, se identifican los valores anómalos mediante el análisis de gráficos de probabilidad de las muestras dentro de los dominios de estimación. Pocos utilizan otro tipo de técnicas y se destaca el bajo uso de análisis de outliers locales. Estos últimos sirven para poder determinar si una muestra realmente es un valor escapado o si se encuentra en un entorno o zona de leyes similares que son parte de las más bajas o las más altas de la distribución. Realizar un análisis local podría ayudar a tomar una mejor decisión sobre valores potencialmente anómalos.

Tabla 37. Frecuencia de herramientas para identificación de datos outliers.

Identificación de Outliers	
Herramientas	Frecuencia
Análisis de gráficos de probabilidad	13
Análisis de histogramas	4
Test de Grubs	1
Test de Rosner	1
Test de Skewnest	1
Análisis Locales	3

En el tratamiento de outliers hay un mayor uso de técnicas de acotación de leyes y de restricción de radios de influencia de las muestras al momento de estimar (también conocidos como capping y high yield respectivamente). Estas técnicas ayudan a evitar el “chorreo” de altas leyes que causan sobrestimación e igualmente consideran las leyes bajas que podrían generar subestimación. Se puede apreciar que en el yacimiento 7 elimina los datos que se consideran aberrantes (ver Tabla 93). Esto último es considerado una mala práctica debido a que se pierde información del yacimiento que es revisada y que no necesariamente presenta errores. Cabe destacar que tanto el capping como el high yield tienen la característica de permitir al estimador cierto grado de subjetividad, ya que este debe escoger los umbrales a los que se llevará a cabo la acotación, ya sea de leyes o de radio de influencia, decisiones que podrían afectar los resultados de la estimación. Teniendo esto en consideración, una buena práctica es realizar un análisis del impacto sobre los recursos del yacimiento que tiene el uso de una u otra técnica.

Tabla 38. Frecuencia de técnicas de tratamiento de datos outliers.

Tratamiento de Outliers	
Técnica	Frecuencia
Eliminarlos (omitirlos)	1
Capping/Acotación	11
Mean Substitution	1
Regresión	0
Restricción en el radio de búsqueda para datos outliers (high yield)	12

Respecto a la Tabla 39 solo uno de los yacimientos indica que no se realizaron análisis del tamaño de compósito para definir el soporte utilizado en la estimación. Esto corresponde a una mala práctica debido a que con estos análisis se puede determinar la cantidad de información perdida, el cambio en la variabilidad de las muestras luego de la compositación y su impacto sobre los recursos del yacimiento. A su vez se puede ver en la Tabla 40 que la mayoría de los yacimientos determinó escoger el tamaño de compósito por características operacionales, definiendo como tamaño 1 o 2 compósitos por banco en el caso de las minas a rajo abierto. En 3 casos se escogió por la resolución necesaria según las características del yacimiento, en 2 se consideró el mismo soporte de las muestras y solo en 2 se guiaron por los resultados del análisis de tamaño.

Tabla 39. Frecuencia de realización de análisis de tamaños de compósito.

Análisis de tamaño de compósitos	
Realizado	Frecuencia
Sí	12
No	1

Tabla 40. Frecuencia de criterios utilizados para la compositación.

Criterios de compositación	
Criterio	Frecuencia
Operacional	8
Resolución	3
Soporte	2
Análisis de tamaño	2

Se puede apreciar de la Tabla 41 que en los yacimientos analizados solo se utilizan 3 tipos de variografía: el pairwise, la variografía con deriva y la variografía tradicional. La diferencia en sus usos radica en el tipo de yacimiento, por ejemplo, el yacimiento 2 presenta derivas espaciales en sus unidades de estimación, prefiriéndose la variografía con deriva. En el caso del pairwise, este sirve para análisis estructurales y sobre variables distribuidas asimétricamente como es el caso del yacimiento que lo utiliza. La variografía relativa o con deriva no es igual a la tradicional, y dejar de lado la última genera el riesgo de perder calidad en la estimación por kriging. Una buena práctica es utilizar variografía tradicional como principal, y otras de manera complementaria para analizar mejor la variabilidad espacial de la variable a estimar.

Tabla 41. Frecuencia de técnicas variográficas.

Variografía	
Herramienta	Frecuencia
PairWise	4
Tradicional	13
Deriva	1
Otra	0

En cuanto a las herramientas de estimación, se puede ver en la Tabla 42 que se utilizan mayoritariamente técnicas geoestadísticas. Los estimadores espaciales al igual que las técnicas de simulación, se usan principalmente para validar o comparar los resultados de las estimaciones geoestadísticas. También se diferencia su uso dependiendo de la cantidad de información que se encuentre en la zona que se va a estimar. Por ejemplo, cuando hay poca información disponible se puede utilizar inverso de la distancia o Kriging simple, y a medida que ésta aumenta, se pueden utilizar técnicas como Kriging ordinario, simulaciones condicionales, métodos de cambio de soporte u otros. En general las técnicas de Co-Kriging no se utilizan a menos que exista una correlación importante entre variables de interés, habiendo una con menos información, como, por ejemplo, cuando se estiman variables metalúrgicas. El método de Kriging de indicador se usa más en yacimientos con componentes estructurales, derivas o presencia de brechas como en los yacimientos 2, 4, 10, 11, 12 y 13. El condicionamiento uniforme y las simulaciones son escasamente utilizadas y no es posible ver alguna relación entre los yacimientos en los que se utiliza.

Tabla 42. Frecuencia de herramientas de estimación.

Herramientas de Estimación	
Herramienta	Frecuencia
Polígonos o Poliedros de Influencia	0
Inverso de la Distancia	4
Kriging Simple	5
Kriging Ordinario	12
Co-Kriging	6
Kriging Indicadores	3
Vecino más Cercano	1
Simulación Geoestadística	1
Condicionamiento Uniforme	2

Los planes de estimación siempre serán diferentes entre yacimientos, e incluso pueden serlo para diferentes zonas dentro de uno. En la Tabla 43, se puede ver que existe una amplia aceptación por utilizar “pasadas” para estimar, al igual que definir un número mínimo de muestras en total y un máximo de muestras por sondaje. Pocos aseguran utilizar octantes argumentando que estos pueden generar ciertos artefactos en la estimación. Existen discrepancias respecto a escoger un radio de búsqueda, algunos lo escogen en función del variograma debido a que buscan que los datos utilizados para la estimación de un bloque tengan relación entre sí; otros lo hacen en función de la malla de sondajes ya que exponen que la búsqueda tiene que relacionarse con la ubicación de las muestras, y el último grupo asegura la necesidad de seguir la forma de las geometrías de las unidades. Para yacimientos estructurales o con deriva se tiende a utilizar orientaciones relacionadas con la dirección de las derivas y estructuras haciendo uso de radios pequeños. Finalmente existe el uso de una herramienta llamada KNA (Kriging neighbourhood analysis) que modifica los parámetros del plan de para optimizar el valor de la pendiente de regresión entre valores reales y estimados, y la eficiencia de la estimación en base a ejercicios de validación cruzada.

Tabla 43. Frecuencia de estrategia de estimación.

Plan de estimación	
Estrategia	Frecuencia
Vecindad Única	1
Vecindad Móvil	3
Vecindad Móvil Incremental (pasadas)	11
Número mínimo de muestras en total	10
Número máximo de muestras por sondaje	10
Búsqueda por sectores angulares (octantes)	3
Selección de Radio según Variograma de Leyes	4
Selección de Radio según Malla de muestreo	2
Selección de Radio por Geometría/Geología	4
Dirección de deriva y radios pequeños	4
KNA	4

En muchos yacimientos se utilizan subbloques para conservar las relaciones de contactos de las unidades, y posterior a la estimación preliminar rebloquear los resultados. De acuerdo con la Tabla 44, el tamaño final de los bloques es escogido en relación al diseño y método de explotación. Es interesante como pocos yacimientos consideran la dilución minera en la elección del tamaño final de bloques, siendo que por mucho detalle que se entregue a planificación en los modelos, este se terminará por diluir al momento de la operación (sobre todo en yacimientos más estructurales).

Tabla 44. Frecuencia de criterios para la elección del tamaño de bloques.

Tamaño de Bloque	
Criterio	Frecuencia
Según geometría de mineralización	1
Complejidad en los contactos	3
Según diseño y método de explotación	12
Según distancia de datos	2
Según dilución	1

La validación del modelo tiende a ser un proceso exhaustivo. Al analizar la Tabla 45 se nota que en general la mayoría de las técnicas y chequeos son utilizados en todos los yacimientos. Las menos utilizadas corresponden a la validación cruzada y el Jack-knife, que sirven para evaluar el desempeño de la estimación, al uso de vecinos más cercanos que se usan para analizar el nivel de suavizamiento, a los análisis con menos sondajes que analizan la variabilidad de la estimación, y finalmente al Bootstrap y a las Correcciones de Hermite (HERCO), que ayudan a realizar un estudio del sesgo a diferentes leyes de corte.

Tabla 45. Frecuencia de uso de técnicas de validación.

Validación del modelo	
Técnicas de Validación	Frecuencia
Estadísticas de Estimaciones vs Muestras	12
Swath Plots	12
Análisis de Contacto del Modelo de Bloques	11
Suavizamiento no Excesivo	12
Inspección Visual de Leyes de Bloques vs Muestras	13
Comparación con Modelos Previos	13
Validación Cruzada	3
Jack-Knife	4
Evaluación de Predictibilidad y Conciliación con datos de producción	13
Revisión de Errores en el Tiempo	3
Revisión de compatibilidad de modelos litológicos, de alteración, de mineralización y estructura (si es que existen)	11
Vecino más cercano	3
Correcciones de Hermite (HERCO)	1
Análisis con menos sondajes	1
Bootstrap	1

De acuerdo con la Tabla 46 es una práctica habitual registrar los criterios e información utilizada en el proceso de estimación (no se especifica la calidad de los informes, pero si su realización), y realizar las unidades de estimación con un sentido tanto geológico como estadístico (paradigma actual). Pero, por otro lado, no en todos los yacimientos se realiza una evaluación de la incertidumbre del tonelaje y de la ley (sobre todo hay una falencia en el tonelaje o volúmenes de las unidades).

Tabla 46. Frecuencia de revisiones y chequeos.

Revisiones y Chequeos	
Revisiones y Chequeos	Frecuencia
Registro de criterios e información utilizada en el proceso de estimación	13
Sentido geológico en la definición de UE	13
Evaluación de incertidumbre del tonelaje y ley	8

En general el software más utilizado corresponde a Vulcan de Maptek. En segundo lugar se encuentra Isatis, que se emplea principalmente para realizar Co-Kriging o simulaciones. En tercer lugar está Datamine, que genera reportes de la estimación y finalmente Gslib, como código abierto ya que entrega una mayor flexibilidad a la hora de estimar.

Tabla 47. Frecuencia de uso de softwares de estimación.

Softwares de Estimación	
Software	Frecuencia
Gems	0
Vulcan	11
Micromine	0
Leapfrog Edge	0
Isatis	4
Datamine	2
Gslib	1

4.3.3 Síntesis y conclusiones

En la estimación de las variables cuantitativas los principales puntos de atención se encuentran en las variables estimadas, los compósitos y tamaños de bloques, las unidades geológicas, la herramienta y el plan de estimación, las validaciones y la documentación.

Las variables estimadas no corresponden únicamente a las leyes del producto principal, esto debido a que se entiende el impacto de otras sobre los procesos productivos y el valor del negocio. Así, se puede ver en el Gráfico 19 que variables como los subproductos, los contaminantes y las metalúrgicas, son estimadas en varios yacimientos. En general la variables metalúrgicas y de densidad de roca son pocas veces estimadas. Esto es resultado tanto de la escasez de muestras como por la falta de metodologías establecidas en las mineras. Se recomienda estimar estas variables y no solo asignar un valor promedio a una unidad, siendo el objetivo mejorar los resultados, disminuir el error producido y aumentar la confiabilidad. Es de especial importancia el tema de la densidad debido a que, si bien no hay una gran variación dentro de las unidades en los pórfidos cupríferos, los grandes volúmenes de extracción provocan que pequeños cambios en la densidad produzcan cambios importantes en la cantidad de finos.

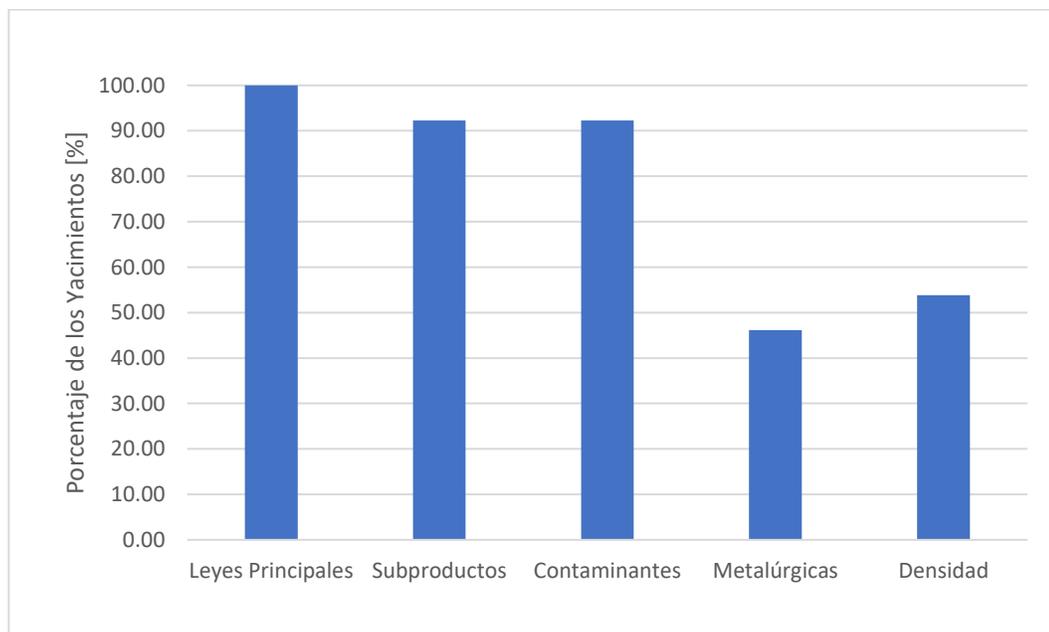


Gráfico 19. Tipos de variables estimadas.

Los tamaños de compósito y el tamaño de los bloques tienden a estar poco relacionados con el nivel de detalle necesario para la estimación, la dilución, la geometría de la mineralización o la complejidad de los contactos. Sus tamaños son mayores o iguales al soporte de muestreo y su elección debería estar fundamentada en estudios de variabilidad, de pérdida de información por colas (en caso de los compósitos) y del impacto sobre los recursos (para ambos). De los Gráficos 20 y 21 se aprecia que finalmente el criterio de composición se basa en factores operacionales. Esto podría considerarse una mala práctica ya que no hay un análisis del impacto de escoger estos tamaños.

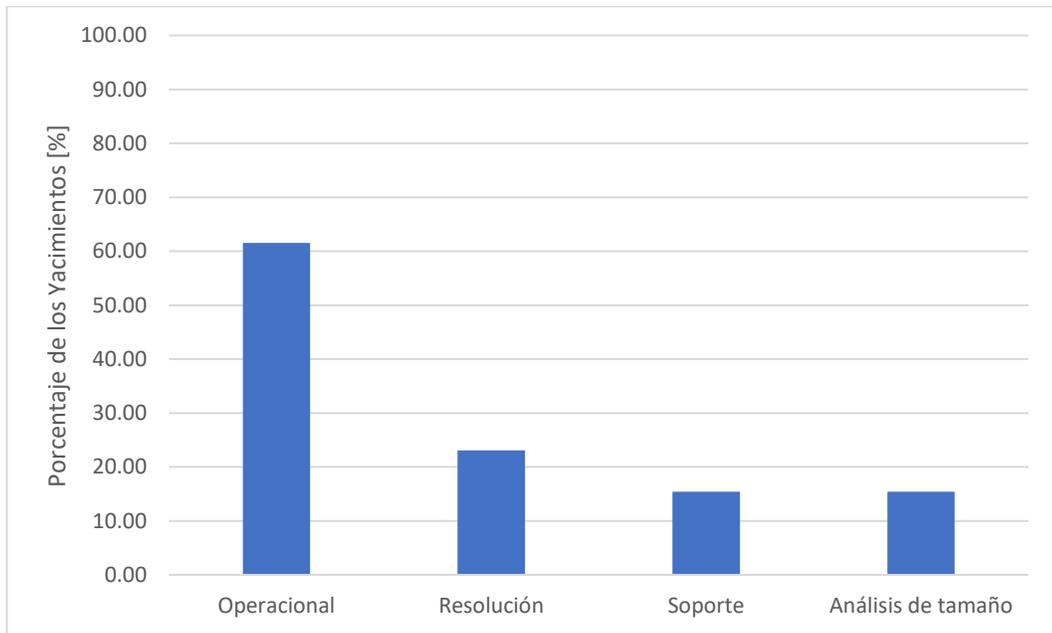


Gráfico 20. Criterio de composición

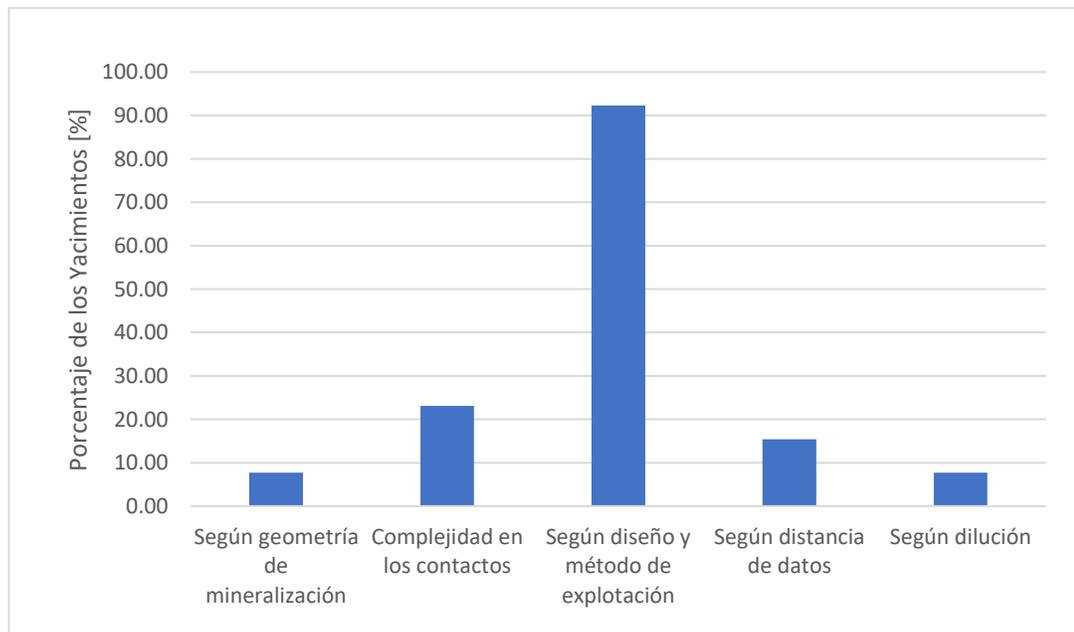


Gráfico 21. Criterio de elección de tamaño de bloque.

Los dominios de estimación deben estar contruidos a partir de criterios que incorporen tanto conceptos geológicos como análisis estadísticos de la variable a estimar. Esta conceptualización de las unidades debe ser realizada por un equipo multidisciplinario, ya que al igual que en el modelamiento geológico, es recomendable tener discusiones críticas para su desarrollo. Su construcción basada solo en poblaciones de ley puede generar estimaciones sesgadas y no es una buena práctica su utilización. En el Gráfico 22 se aprecia que se utilizan atributos geológicos para separar las unidades. La unidad solo debería utilizarse para la variable con que fue construida, sin embargo, pueden estimarse también otras que estén lo suficientemente correlacionadas.

Las herramientas estadísticas utilizadas son estándar y no existen diferencias notorias dentro de los yacimientos analizados como puede observarse en el Gráfico 23. Dentro de estas una de las más relevantes corresponde al análisis de los contactos entre las unidades, los que permiten ver qué tan diferente es una unidad de otra y por lo tanto también a tomar decisiones respecto al uso de muestras inter-unidades. Esto último puede cambiar los resultados de estimación si se consideran límites duros o blandos.

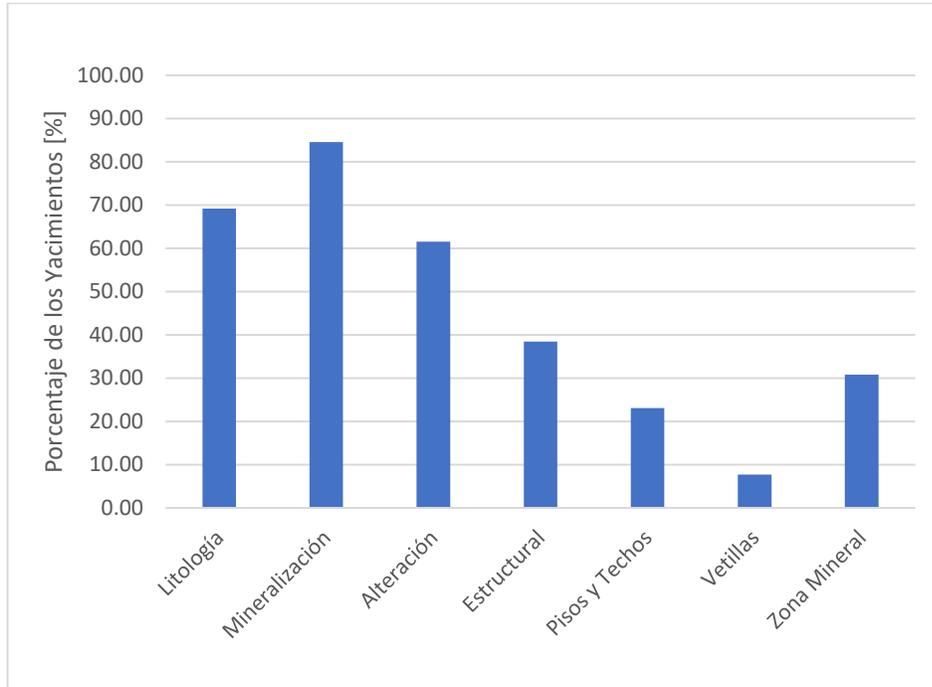


Gráfico 22. Atributos que controlan la ley.

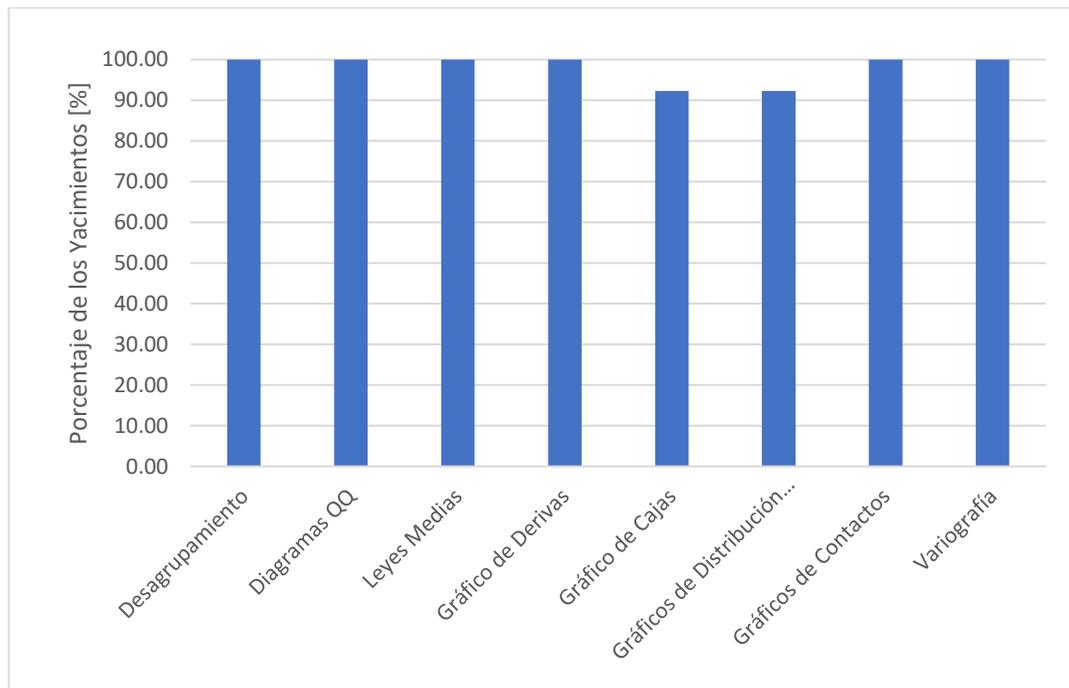


Gráfico 23. Herramientas para análisis estadístico de datos y separación de unidades de estimación.

La herramienta de estimación debe ser escogida en función de la densidad de información, la variabilidad del atributo, el horizonte temporal y el volumen de estimación. De acuerdo con el Gráfico 24, la herramienta más utilizada son variantes del Kriging y en algunos casos técnicas de condicionamiento uniforme y simulaciones geoestadísticas. Más que recomendar alguna herramienta se debe promover el entendimiento de todas ellas junto con sus limitaciones. Según el Gráfico 25, el principal software utilizado es Vulcan, pero para estimaciones por Co-Kriging o simulaciones tienden a utilizarse otros softwares como ISATIS o código abierto con GSLIB, también es utilizado Datamine, pero en menor medida.

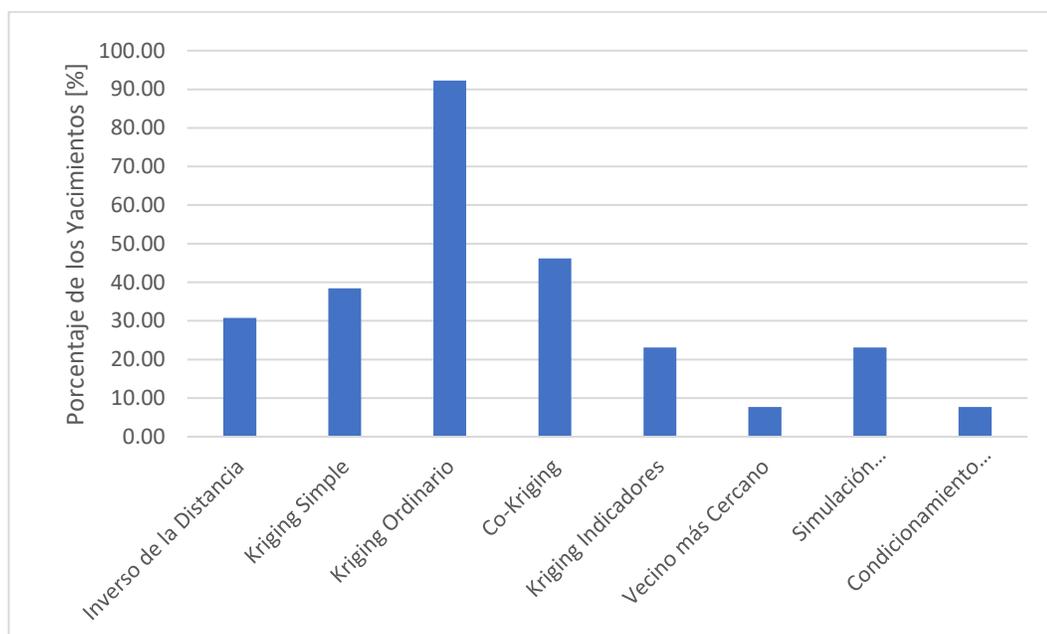


Gráfico 24. Herramientas de estimación.

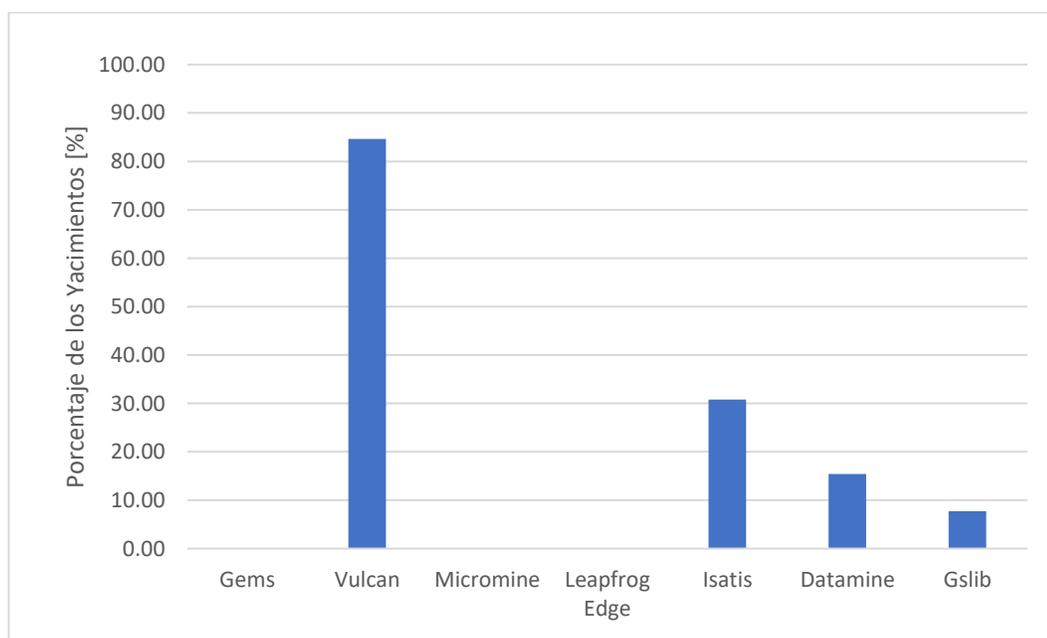


Gráfico 25. Software utilizado para estimar.

El plan de estimación tiene la utilidad de generar estimaciones más rápidas, esto debido a que se disminuyen los tiempos de computo de los softwares al acotar las muestras utilizadas para la estimación de un bloque en función de distancias u otros parámetros. Esta ventaja ha perdido un poco de peso debido al avance computacional que ha logrado sobrellevar los problemas de antaño asociados a largos tiempos de espera. La utilidad de usar planes de estimación y no generar estimaciones globales principalmente se encuentra en la posibilidad de adecuar los parámetros para mejorar la predictibilidad del modelo o disminuir los errores de estimación, esto se puede realizar a partir de información actual mediante técnicas como validación cruzada o a partir de nueva información analizando los cambios que debieron llevarse a cabo para que la estimación obtuviera mejores resultados. Si bien herramientas como el KNA optimizan los parámetros de búsqueda de cierta forma, su uso no tendrá ninguna ventaja a menos que efectivamente aumente la predictibilidad del modelo.

Otro aspecto que mencionar es el uso de vecindades pequeñas o pasadas incrementales para disminuir el suavizamiento en los resultados de la estimación. El principal problema de esta práctica corresponde al aumento del sesgo condicional y a la disminución de la precisión de la estimación. Los estimadores deben tomar la decisión en función de su experiencia y el objetivo del modelo, siendo una alternativa, el uso de simulaciones condicionales o métodos de cambio de soporte. Este dilema corresponde a una brecha importante en la correcta estimación de recursos.

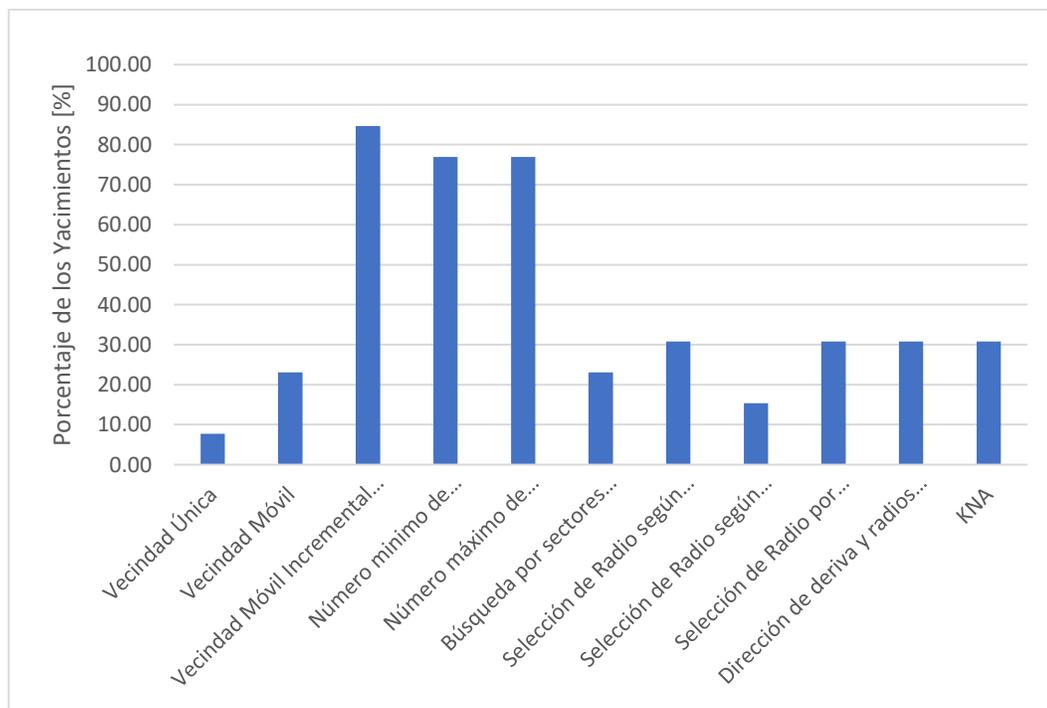


Gráfico 26. Parámetros de plan de estimación.

Las validaciones del modelo se tienen que centrar en la predictibilidad, en su consistencia con la información, desempeño interno, y en la incertidumbre asociada a la estimación. En general durante la construcción del modelo se deben realizar estudios de la variabilidad de los resultados y del impacto de la toma de decisiones sobre el inventario de recursos del yacimiento. Estos resultados (junto con los resultados finales de estimación), y los criterios utilizados, deben ser revisados y validados utilizando una serie de herramientas. En los Gráficos 27 y 28 se puede ver como pocos yacimientos utilizan técnicas de validación cruzada y análisis de incertidumbre de los recursos estimados para mejorar los planes de estimación. Esto es una oportunidad de mejora en la estimación que deben aprovechar las empresas, con la finalidad de tener una mejor medida de la confianza de sus resultados. Por otro lado, otras técnicas de validación son ampliamente utilizadas. Una buena práctica es realizar conciliación de leyes para analizar la predictibilidad y se puede ver que todos los yacimientos la realizan (que es lo más importante de los modelos). También se ve cómo se utilizan técnicas para analizar el suavizamiento, las estadísticas entre las muestras y los resultados de estimación.

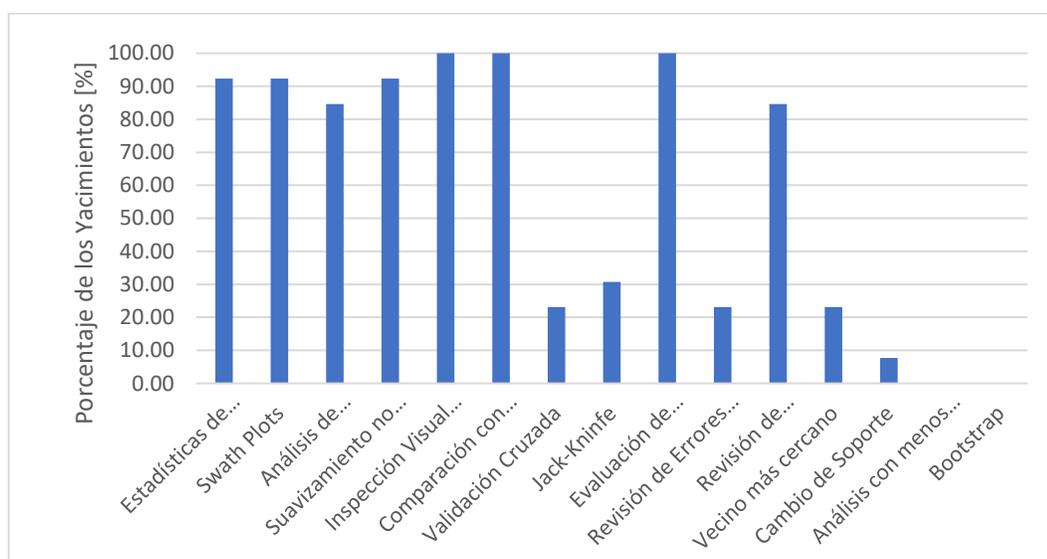


Gráfico 27. Herramientas y técnicas de validación.

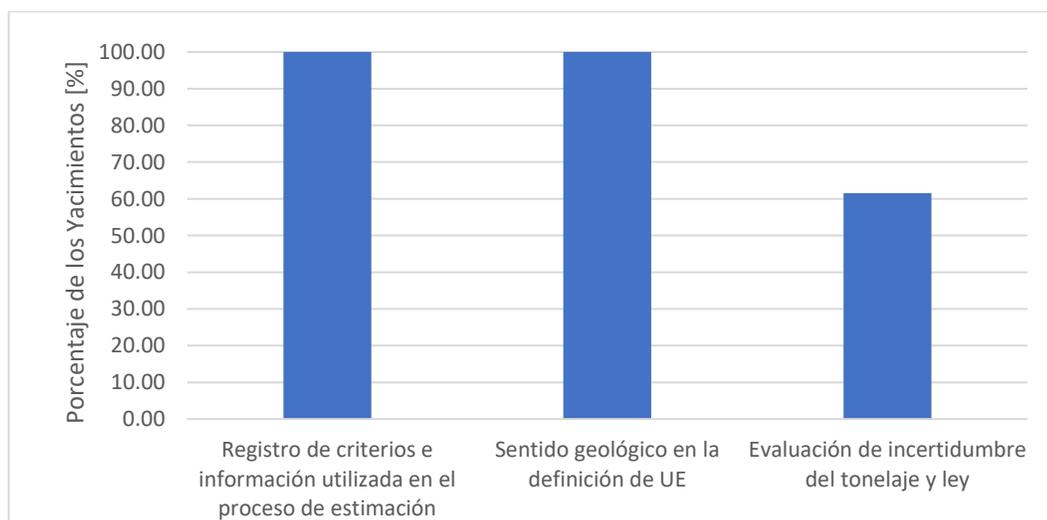


Gráfico 28. Revisiones del modelo de estimación.

La documentación de la definición de unidades de estimación, de los análisis estadísticos correspondientes, de las herramientas escogidas, de los criterios de compositación y tamaños de bloques, de cualquier parámetro que sea parte de la estimación en todas sus unidades, de los resultados y las validaciones junto con las observaciones de los cambios entre el modelo anterior y el actual, junto con todos los criterios utilizados, es de vital importancia para la toma de decisiones y para que la estimación sea un proceso trazable y comparable en el futuro.

Conclusiones de la sección

Si bien la industria ha ampliado el foco de las variables que estiman, aún existe una diferencia sustancial respecto a las variables geometalúrgicas y a la densidad de roca, las que finalmente impactan en la definición de los finos presentes en el yacimiento.

Existe una falencia en cuanto a los análisis de tamaño de compósitos y bloques para la estimación. Estos deberían ser realizados en caso de que no se hayan hecho y determinar cuál es la mejor decisión de tamaño, no solo en función de características operacionales.

Las unidades de estimación deben definirse a partir de criterios geológicos y estadísticos. Deben realizarse análisis de variabilidad de sus límites y también determinarse si corresponden a límites duros o blandos.

Las herramientas de estimación son escogidas en función del nivel de información, el horizonte temporal y la variabilidad de la especie de interés. Es una buena práctica que el encargado de estimación tenga conocimiento de las principales herramientas existentes y cuando conviene utilizarlas.

Los planes de estimación no tienen sentido solo como herramientas para disminuir los tiempos de computo. Hoy su rol (en el caso de realizar estimaciones locales), está más relacionado con poder modificar los parámetros para mejorar la predictibilidad del modelo, es por esto, que deben ser utilizados en conjunto con otros elementos como las validaciones cruzadas o con conciliaciones de ley.

Las validaciones de los modelos de estimación tienen que abarcar todas las aristas, criterios y análisis posibles (incluso las más básicas como inspección visual), con el fin de identificar errores de conceptos o de construcción. Hoy no se realiza mucho análisis de incertidumbre de la ley y el tonelaje y eso debe mejorar.

Se debe evitar quedar con la idea de que las prácticas actuales deben mantenerse solo porque llevan mucho tiempo realizándose de cierta forma, siempre hay que tratar de realizar estudios para ver si existe la posibilidad de mejorarlas, o comprobar que efectivamente son la mejor opción actual. También se debe considerar que las estimaciones solo pueden ser tan buenas como la calidad y cantidad de información que se disponga.

4.4 Categorización de Recursos

4.4.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria

En la Tabla 48 se presentan los resultados de aceptación de criterios y problemas obtenidos por los expertos para la etapa de categorización de recursos ordenada de manera decreciente.

Tabla 48. Resultados de expertos respecto a categorización de recursos.

Aspecto	Descripción	Aceptación
Diferentes objetivos según la etapa del proyecto	En proyectos el enfoque es ver zonas donde se requiera aumentar la información para ir avanzando a las siguientes etapa. En operación tiene relación con secuencias de extracción y promesas productivas	100.0%
Definir zonas a explorar o explotar	Zonas de baja categorización deben ser exploradas si su explotación es cercana en el tiempo	100.0%
Criterios deben documentarse	Se deben documentar todos los criterios y parámetros que se utilizaron para categorizar las distintas zonas del yacimiento	100.0%
Debe incorporarse experiencia	La categorización debe no solo ser cuantitativa, sino que tiene que incorporar la experiencia del categorizador	77.8%
Debe considerar un nivel de producción	Hay una mayor cantidad de yacimientos en los que se categoriza bloque a bloque, que en base a volúmenes de producción	66.7%
Incertidumbre en planes mineros	La incertidumbre debe incorporarse en los planes mineros para evitar promesas productivas incumplidas	55.6%
Simulaciones	Da una idea de la incertidumbre de las zonas del depósito lo que puede generar una categorización más cuantitativa	44.4%
Problemas con los clientes	Existen conflictos de interés con algunos clientes	44.4%
Uso de conciliación	A partir de los resultados de conciliación se pueden redefinir las categorías de algunas zonas del yacimiento	44.4%
Métodos cuantitativos	Representar de manera cuantitativa la incertidumbre en la estimación y categorizar en función de esta	44.4%
Evitar categorizar con pasadas	El uso de pasadas puede mejorar el nivel de categorización de bloques cercanos a las muestras generando artefactos de categorización	33.3%
Subjetividad	Es imposible eliminar la subjetividad del proceso de categorización	22.2%
Umbrales de categorización	Deben estar definidos en función de las necesidades del dueño	22.2%

Al igual que en todas las etapas anteriores, se recomienda documentar la metodología, los criterios y parámetros utilizados para llevar a cabo la categorización de recursos en cada zona del yacimiento. Los criterios y resultados de categorización serán diferentes en cada etapa del proyecto, en un comienzo uno debe categorizar para calificar la confianza de las estimaciones y ver si se puede avanzar a etapas posteriores de exploración o ingeniería con la incertidumbre presente. En general una zona con baja categorización puede mejorarse a partir de campañas posteriores que aumenten el conocimiento del yacimiento. En el caso de operaciones es similar, con la diferencia de que se trata de cumplir con promesas productivas, por lo que el resultado de categorización da una guía para analizar qué zonas del yacimiento deben ser sondeadas para cumplir con la certidumbre necesaria para explotarla de acuerdo a la aversión al riesgo que tenga el dueño del negocio.

La mayoría de los expertos comentan que la categorización debería realizarse en función de un volumen de producción y no así de bloque a bloque, siendo la segunda metodología más común. Esto debido a que no tiene sentido categorizar en función de volúmenes pequeños, porque no son suficientemente relevantes para la toma de decisiones.

La categorización es un proceso que tiene mucha subjetividad y fuertemente dependiente del profesional que la realice. Su estandarización es difícil debido a la gran diferencia que puede haber entre yacimientos, y a la gran cantidad de criterios que pueden utilizarse para definir la confiabilidad de la estimación. El 77.8% de los entrevistados expresan que la categorización debe ser realizada en función de la experiencia del experto a cargo y un 22.2% enfatiza que será imposible eliminar la subjetividad de los estimadores, ya que al menos existiría subjetividad en la definición de los umbrales que separan una categoría de otra. Un 44.4% expone que se requieren de métodos cuantitativos de incertidumbre, que desplacen las prácticas actuales que no generan un análisis de esta. Se considera que una potencial herramienta de categorización es el uso de simulaciones u otras técnicas sofisticadas que pueden entregar una métrica de la incertidumbre, el problema de esto es que no mucha gente domina estas metodologías y que en general requieren mucho más tiempo para analizar sus resultados.

Un 55.6% de los encuestados cree que hace falta traspasar la incertidumbre de la estimación a los planes mineros para que las promesas productivas tengan asociado un nivel de riesgo, y que, de esta forma, se tenga un entendimiento de que existe la posibilidad de que haya desviaciones respecto a la planificación.

Se explica que existen problemas con los clientes de estimación y categorización, debido a que algunos necesitan cierto nivel de recursos medidos o indicados para poder desarrollar los planes, diseños y explotación de ciertas zonas del yacimiento. Esto provoca conflictos de interés que deben ser evitados por parte de los estimadores, no dejándose llevar por la necesidad de aumentar la categorización de los recursos por parte de sus jefes o clientes.

4.4.2 Resultados de Mineras

La Tabla 49 muestra que en la mayoría de los yacimientos se categoriza en función de la densidad de información y en general respecto a la variable principal. Los otros enfoques como análisis de incertidumbre de ley, tonelaje, cantidad de metal y calidad de información no son tan utilizadas (aunque la mayoría expuso que existían métricas de calidad y que si los datos utilizados para la estimación tenían valores muy bajos podían considerarse a lo más como recursos indicados).

Tabla 49. Frecuencia de enfoques de categorización utilizados.

Enfoque de Categorización	
Enfoques	Frecuencia
Calidad de datos (Existencia de Registros, QA/QC, certificados, etc.)	5
Interpretación de UG's y UE's	1
Incertidumbre de leyes	4
Incertidumbre de tonelajes	4
Incertidumbre de cantidad de metal en periodos mensuales y anuales	3
Impacto de Leyes de corte sobre tonelaje y ley	3
Densidad de Información (espaciamiento, densidad o radio de sondajes)	11
En función del producto principal	13

En relación con las herramientas de categorización, se puede apreciar de la Tabla 50 que hay mucha variedad. La más repetida corresponde a utilizar la distancia a los sondajes más cercanos y el número de muestras utilizadas. La varianza de Kriging es poco usada debido a que puede generar cambios en la categorización de ciertos bloques al incorporar nueva información. La categorización por pasadas y técnicas como el sampling density variance también son poco utilizadas, las primeras porque tienden a generar buenas categorizaciones a los bloques cercanos a las muestras y la segunda por ser una técnica poco conocida. Las simulaciones se utilizan en unos cuantos yacimientos y definen mallas de sondajes en función de cierto nivel de error, probabilidad y volumen estimado. Existen casos como en el yacimiento 1 donde el estimador explica que hace años se realizaron ciertos análisis para definir las mallas de sondajes y que éstas se utilizan hasta el día de hoy sin cuestionamiento.

Tabla 50. Frecuencia de herramientas utilizadas para la categorización.

Herramientas de categorización	
Herramientas	Frecuencia
Distancia al sondaje (los sondajes) más Cercano(s)	6
Malla de Sondajes	4
Varianza de Kriging	1
Simulación No – Condicional y Malla de Sondajes	1
Simulación Condicional y Malla de Sondajes	4
Simulación Condicional y Métricas de Incertidumbre en Volúmenes Móviles	1
Varianza de Kriging con Malla de Sondajes	1
Malla Equivalente con Malla de Sondajes	1
Número de muestras	6
EVP	5
Sampling Density Variance	1
Pasadas	1

De acuerdo a las Tablas 51 y 52 solo en 5 yacimientos se utilizan criterios de categorización que consideran EVP (error, volumen, probabilidad) para recursos medidos y de ellos solo 3 lo consideran para recursos indicados. En general los umbrales tienden a ser diferentes y están relacionados con la aversión al riesgo del dueño y a los criterios propios de cada estimador, lo que sí cabe destacar es que en general los niveles de confianza tienden a estar sobre el 90% y los errores en torno al 5% anual y 15% mensual para recursos medidos y 15% anual para indicados.

Tabla 51. Frecuencia de niveles de error para recursos medidos.

Nivel de error, confianza y volumen en recursos medidos	
Nivel de error, confianza y volumen	Frecuencia
+/-5%;90%, Trimestral	1
+/-15%;90%; Mensual	1
+/-5%; Anual (sin confianza)	1
+/-5%; 90%; Anual	1
+/-5%;95%; Anual	1

Tabla 52. Frecuencia de niveles de error para recursos indicados.

Nivel de error, confianza y volumen en recursos indicados	
Nivel de error, confianza y volumen	Frecuencia
+/-5%,70%, trimestral	1
+/-15%;90%; Anual	1
+/-15%;95; Anual	1

Las Tablas 53 y 54 muestran que en general las mallas para recursos medidos tienden a ser menores a 70x70m, pero que son variable dentro del yacimiento. En varios yacimientos no entregaron un tamaño tentativo de malla asegurando que era mucha la variabilidad para poder decirlo. Hay un caso que corresponde a un yacimiento con alto control estructural (yacimiento 10) en el que el tamaño de malla para recursos medidos llega hasta 20x20m en zona de vetas. En el caso de recursos indicados la malla tiende a ser superior a 60x60m, pero nunca mayor a 150x150m.

Tabla 53. Frecuencia de tamaño de malla para recursos medidos.

Tamaño de malla recursos medidos	
Malla [m]	Frecuencia
50x50 a 55x55	1
Variable	5
70x70	2
20x20 a 50x50	1
50x50	1
50x50 a 60x60	1

Tabla 54. Frecuencia de tamaño de malla para recursos indicados.

Tamaño de malla recursos indicados	
Malla [m]	Frecuencia
60x60-90x90	1
Variable	5
150x150	1
100x100	2
50x50-70x70	1
80x80-100x100	1

La corrección del “salt and pepper” (condición en la que bloques con cierta categorización quedan rodeados de bloques con otras, como por ejemplo cuando bloques indicados quedan rodeados de bloques medidos), tiende a realizarse de dos maneras. La primera es modificando el plan de estimación para que se suavicen los bloques y la segunda es a partir del suavizamiento forzado por medio de un script que cambie las categorías automáticamente asignando la más común de los alrededores, siendo esta última la más utilizada.

Tabla 55. Frecuencia de técnica de corrección de Salt and Pepper.

Corrección de Salt and Pepper	
Técnica	Frecuencia
Suavizamiento forzado	9
Modificación de plan de estimación	3

4.4.3 Síntesis y conclusiones

Los aspectos importantes sobre la categorización de recursos corresponden a los enfoques utilizados, las herramientas de categorización, la validación y la documentación necesaria para poder establecer un nivel de riesgo.

Los enfoques de categorización pueden variar en cada yacimiento y consideran aspectos como la calidad y cantidad de información utilizada, la continuidad de la geología y las variables de interés, la incertidumbre geológica y de ley, la existencia de respaldos de información incluyendo modelos, informes, etc., y la confianza en la estimación. De acuerdo con los códigos de reporte de recursos y reservas todos estos aspectos deben tomarse en cuenta para generar una categorización que represente adecuadamente la confiabilidad sobre los recursos estimados.

Del Gráfico 29 se puede ver cómo solo unos pocos yacimientos consideran aspectos diferentes a la densidad de información y los parámetros de estimación para llevar a cabo la categorización de los recursos, existiendo una divergencia respecto a lo expuesto en los códigos de reportabilidad.

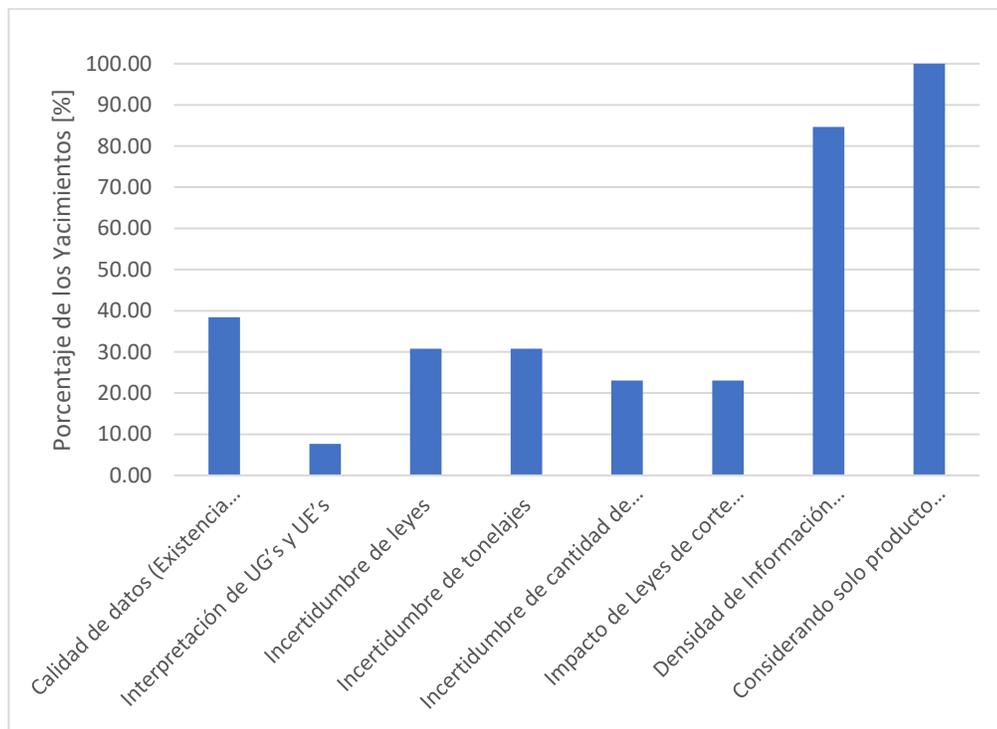


Gráfico 29. Enfoques de Categorización.

Las herramientas de categorización utilizadas son variadas y a veces se utiliza más de una para comparar resultados, en muchos casos, varios parámetros relacionados con los planes de estimación. Pareciera que hay un aumento del uso de técnicas EVP (error, volumen y probabilidad), éstas consideran un enfoque relacionado con la incertidumbre de las leyes y tonelajes (por lo tanto, del metal total contenido), considerando un intervalo de confianza de los resultados sobre un volumen de producción. Para definir estos intervalos se pueden utilizar distintas técnicas como simulaciones o la varianza del error de estimación. Si estas técnicas se mezclan con índices de calidad y respaldo de datos, se puede tener una categorización cuantitativa más alineada con lo que se expone en los códigos de recursos y reservas. Pese a lo anterior aún existe una amplia tendencia al uso de categorizaciones de bloque a bloque asociada a la vecindad de búsqueda y a la densidad de sondajes, estos enfoques al no considerar la variabilidad del metal contenido no están alineados a conceptos de riesgos financieros.

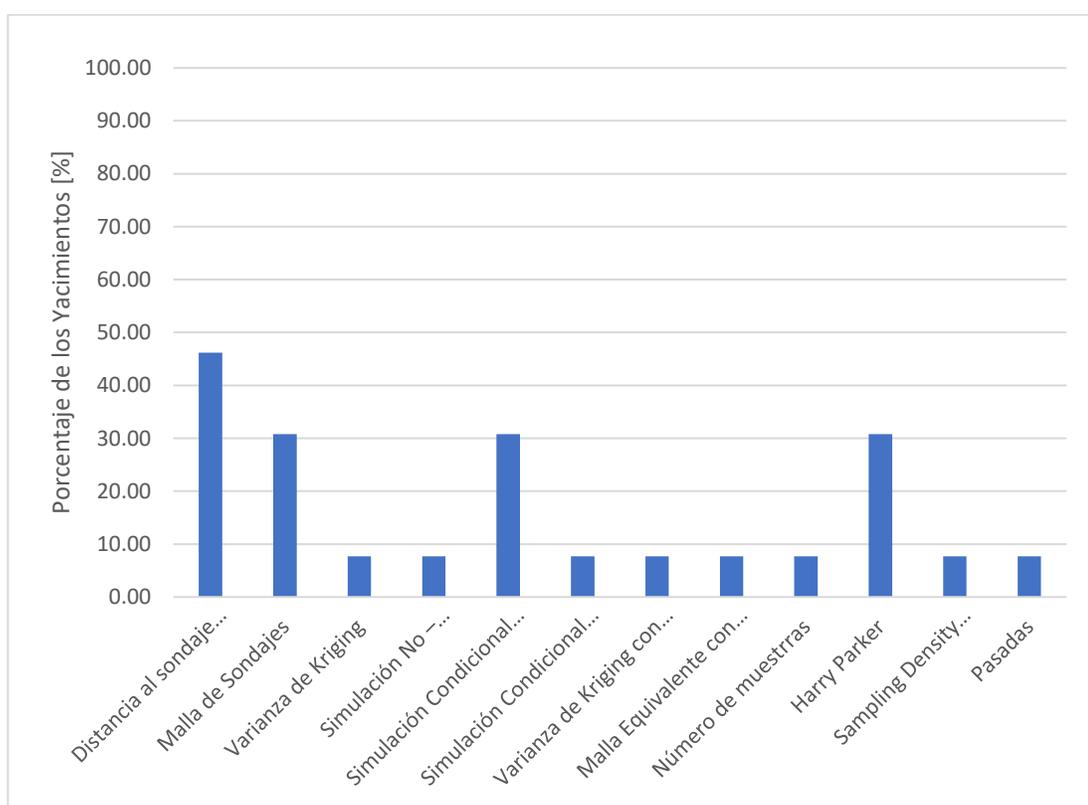


Gráfico 30. Herramientas de Categorización.

Existen ocasiones en que bloques con cierta categoría quedan rodeados de un conjunto de bloques de otra categoría. En este caso nace la duda de si ese bloque en realidad debería cambiar su categoría o no. Dado que un solo bloque no es material suficientemente relevante en la toma de decisiones en general se toma de decisión de diluirlo con la categorización de su entorno. Para realizar esto de acuerdo con el Gráfico 31 se opta por utilizar códigos que suavicen estos bloques o modificar parámetros del plan de estimación para que los bloques queden con la categoría adecuada.

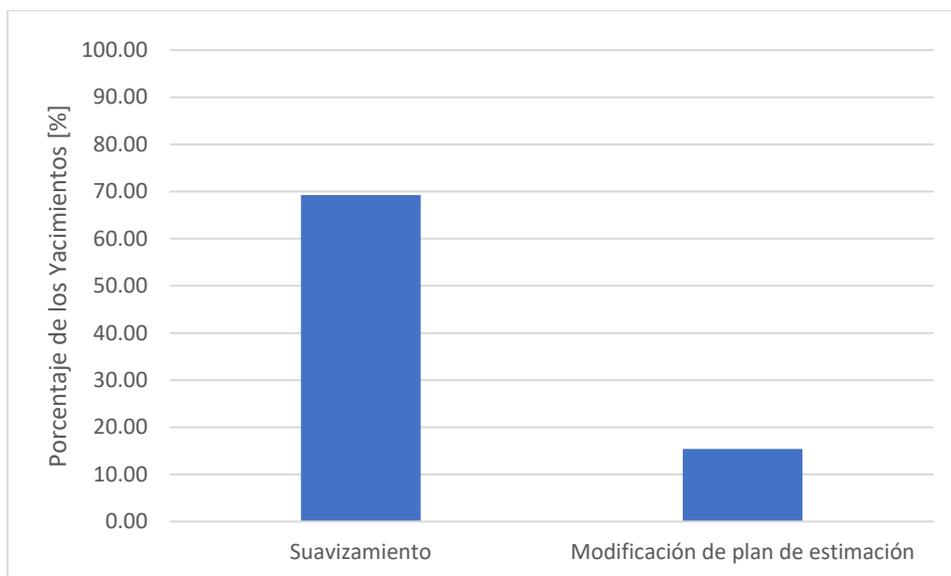


Gráfico 31. Forma de corrección de efecto salt and pepper.

Finalmente se recomienda validar la categorización utilizando información de operaciones o nuevos sondeos cuando corresponda. Sobre todo, es importante documentar los fundamentos y factores relevantes utilizados para el proceso de categorización, las herramientas o códigos utilizados (Scripts), junto con los parámetros, umbrales o mallas definidas para la definición de recursos medidos, indicados o inferidos.

Conclusiones de la sección

En general no se utilizan enfoques relacionados con la calidad de los datos, incertidumbre geológica o incertidumbre de leyes para realizar la categorización, lo que no se alinea con lo expresado en los códigos de reportabilidad de recursos, siendo un foco de mejora.

Se deben preferir herramientas cuantitativas que consideren los riesgos financieros y que por lo tanto se enfoquen en volúmenes significativos de producción en fases no tan tempranas. Sin embargo, el cambio de estrategia de categorización debe ser analizado a partir de su impacto sobre el inventario de recursos antes de ser aplicado.

La categorización de recursos ayuda a comprender la confiabilidad de los resultados de la estimación, por lo que es de vital importancia que ésta la transmita adecuadamente tanto para efectos de evaluación de proyectos como para la planificación y explotación del yacimiento.

4.5 Conciliación

4.5.1 Resultados de Consultoras y Expertos de la Industria

Tabla 56. Resultados de expertos respecto a la conciliación del modelo

Aspecto	Descripción	Aceptación
Conciliación Geológica	Necesaria para poder mejorar la conceptualización del yacimiento y analizar la predictibilidad de la geología, sin embargo, no se realiza tanto en la industria	100%
Conciliación de Ley	Se necesita para ver el nivel de predictibilidad de las estimaciones y para realizar el modelo de corto plazo	100%
Conciliación Metalúrgica	Se requiere para analizar si los protocolos y metodologías de muestreo y estimación de variables geo metalúrgicas son adecuadas	100%
Auditorias	Son importantes, sirven para revisar los resultados obtenidos en las distintas etapas	100%
Unidad de conciliación	Depende de los métodos de explotación y de lo que se quiera analizar	100%

Los expertos están de acuerdo en que son necesarias conciliaciones de todas las leyes de interés (productos, subproductos, contaminantes u otras estratégicas), y también de las variables geológicas y geometalúrgicas. Dado que la génesis del yacimiento es la que determina la forma en que se distribuyen los distintos minerales y rocas, entonces también controla todas las leyes y atributos que afectan la geometalurgia, por tanto, corroborar si las hipótesis y criterios geológicos utilizados en el modelamiento son correctos es de vital importancia para el negocio. Así también es importante conciliar los resultados geometalúrgicos respecto a sus modelos, esto dado que si se están presentando errores de predictibilidad entonces la configuración y los parámetros de los procesos que están utilizando para tratar el mineral no son los óptimos.

Hay que considerar también que la conciliación debe realizarse de manera constante y estandarizada de la misma forma que se concilia la ley. Solo realizar conciliaciones geometalúrgicas y geológicas cuando existen problemas en la ley es una manera muy reactiva de enfrentar el negocio. Los tiempos para reaccionar aumentan con este enfoque y en general los errores se extienden por más tiempo que si existiera una noción del cambio geológico o geometalúrgico del yacimiento antes de que se vean afectadas las leyes.

Para poder realizar la conciliación deben definirse metodologías y unidades de conciliación (una relación entre el volumen de producción y el horizonte temporal en el que se explota). Estas metodologías y unidades cambian completamente los resultados y la percepción del desempeño de la estimación de los recursos, y deben estar completamente relacionadas con la configuración del yacimiento y los métodos de explotación.

Finalmente, uno de los elementos más importantes corresponde a las auditorias. Estas deben ser llevadas a cabo tanto de manera interna como externa y sirven para identificar errores, revisar resultados y ayudan a mejorar continuamente todas las etapas y protocolos relacionados con la estimación de los recursos del yacimiento.

4.5.2 Resultados de Mineras

Las variables que se incorporan en el modelo de bloques tienden a ser las estimaciones o asignaciones realizadas durante el proceso. Éstas serán utilizadas por los planificadores para realizar los planes a largo o corto plazo según corresponda y por las plantas de procesamiento para optimizar los parámetros utilizados para el tratamiento de los minerales.

Tabla 57. Frecuencia de variables presentes en el modelo de bloques.

Variables de modelo de bloques	
Variables MB	Frecuencia
ID	13
Posición	13
UG	13
UE	13
UGT	9
UGMT	11
Resultados Geo metalúrgicos	12
Resultados Pruebas especiales	12
Leyes Productos	13
Leyes Subproductos-Coproductos	12
Leyes Contaminantes	13
Densidad	13

De acuerdo a las Tablas 58, 59 y 60 la mayoría de los yacimientos recurren a utilizar subbloques para no perder la resolución de las unidades de estimación, geometalúrgicas y geotécnicas, y así poder realizar un análisis con sentido geológico luego de la estimación de sus respectivas variables. Posteriormente para la entrega oficial del modelo se procede a rebloquear a bloques de tamaño fijo a partir de técnicas de cambio de soporte, debiéndose analizar el impacto de éste en los recursos del yacimiento.

Tabla 58. Frecuencia de tipo de modelo de estimación.

Modelo de Estimación	
Tipo de Modelo	Frecuencia
Tamaño Fijo	10
Sub-Bloques	11
No Aplica	0

Tabla 59. Frecuencia de tipo de modelo geotécnico.

Modelo Geotécnico	
Tipo de Modelo	Frecuencia
Tamaño Fijo	10
Sub-Bloques	10
No Aplica	0

Tabla 60. Frecuencia de tipo de modelo geo metalúrgico.

Modelo Geo metalúrgico	
Tipo de Modelo	Frecuencia
Tamaño Fijo	10
Sub-Bloques	11
No Aplica	0

La Tabla 61 muestra que los parámetros utilizados para conciliar son principalmente los productos principales, secundarios y los contaminantes, todos revisados en función de ciertas leyes de corte. Por otro lado, la conciliación geológica no se ve tan utilizada como la conciliación de las leyes, lo que se considera una mala práctica debido a que no se está controlando la predictibilidad del modelo geológico, situación que puede impactar sobre el desempeño de la estimación de las variables de interés del yacimiento.

Tabla 61. Frecuencia de parámetros utilizados para conciliar.

Parámetros para conciliar	
Parámetros	Frecuencia
Productos principales	12
Subproductos-Coproductos	12
Contaminantes	12
Geológica	8
Ley de corte	13

La conciliación se realiza al comparar los modelos de largo plazo con la información real obtenida en operaciones o a partir de nuevas campañas de sondajes. Los modelos pueden considerar distintas unidades básicas de conciliación en función del horizonte analizar. En los yacimientos estudiados se realizan conciliaciones a partir de modelos diarios, semanales, mensuales y anuales cada uno con diferente tipo de información y distintos objetivos.

Tabla 62. Frecuencia de unidades básicas de conciliación.

Horizonte de Conciliación	
Horizonte temporal	Frecuencia
Diaria	12
Semanal	12
Mensual	12
Trimestral	2
Anual	13

Los niveles de conciliación anual no tienden a superar el 5% de error anual (respecto al modelo de largo plazo). No existe mucha diferencia entre las empresas exceptuando por el yacimiento 6 y 8 que tienen niveles de error menor al 0.5%. El yacimiento explotado mediante block caving puede tener una mejor conciliación debido al nivel de volumen anual producido, aunque sus metodologías sean más complejas y difíciles de implementar, por otro lado, el yacimiento 8 presenta un control de brechas mineralizadas con alta ley explotada con equipos de gran tamaño, por lo que no se esperaría que fuera uno de los yacimientos con mejor conciliación.

Tabla 63. Frecuencias de nivel de conciliación.

Nivel de conciliación	
Nivel y periodo	Frecuencia
0.2% anual	1
3% anual	3
2% anual	1
5% anual	4
4% anual	1
0.18% anual	1

A diferencia de los modelos de largo plazo en los modelos de corto hay más variedad de software utilizados para el modelamiento geológico (recordar que en largo plazo hay una tendencia al uso del software Leapfrog), en cuanto al software de estimación, al igual que en el largo plazo, Vulcan abarca una mayor cantidad de yacimientos.

Tabla 64. Frecuencia de softwares utilizados para el modelamiento y estimación del corto plazo.

Software utilizado en el Corto Plazo	
Herramienta CP	Frecuencia
Leapfrog (modelo)	5
Vulcan (modelo)	4
Datamine (modelo)	2
Datamine (estimación)	2
Vulcan (estimación)	9
Isatis	1

4.5.3 Síntesis y conclusiones

Se contemplan cuatro aspectos primordiales sobre la conciliación: las variables a conciliar, el horizonte temporal y las unidades, las metodologías, y la proveniencia de la información.

La conciliación es la herramienta de validación por excelencia. Las variables a conciliar no solo deben centrarse al producto principal, esto debido a que otras variables geológicas y geometalúrgicas también influyen en la estrategia de negocios de las empresas mineras. Según el Gráfico 32 en los yacimientos analizados se concilian otras variables como subproductos y contaminantes, y todos consideran las leyes de corte para analizar las predictibilidades de los modelos. Sin embargo, también se puede ver como la conciliación geológica no es una práctica tan habitual como las otras, y se destaca que la mitad de los que respondieron que sí se realizaba también indicaron que se hacía cuando existían problemas con la conciliación de leyes, y no de manera continua. Teniendo en cuenta la necesidad de comprender la incertidumbre de la ley, el tonelaje y la geología (descritos en los códigos) no realizar conciliación geológica corresponde a una mala práctica.

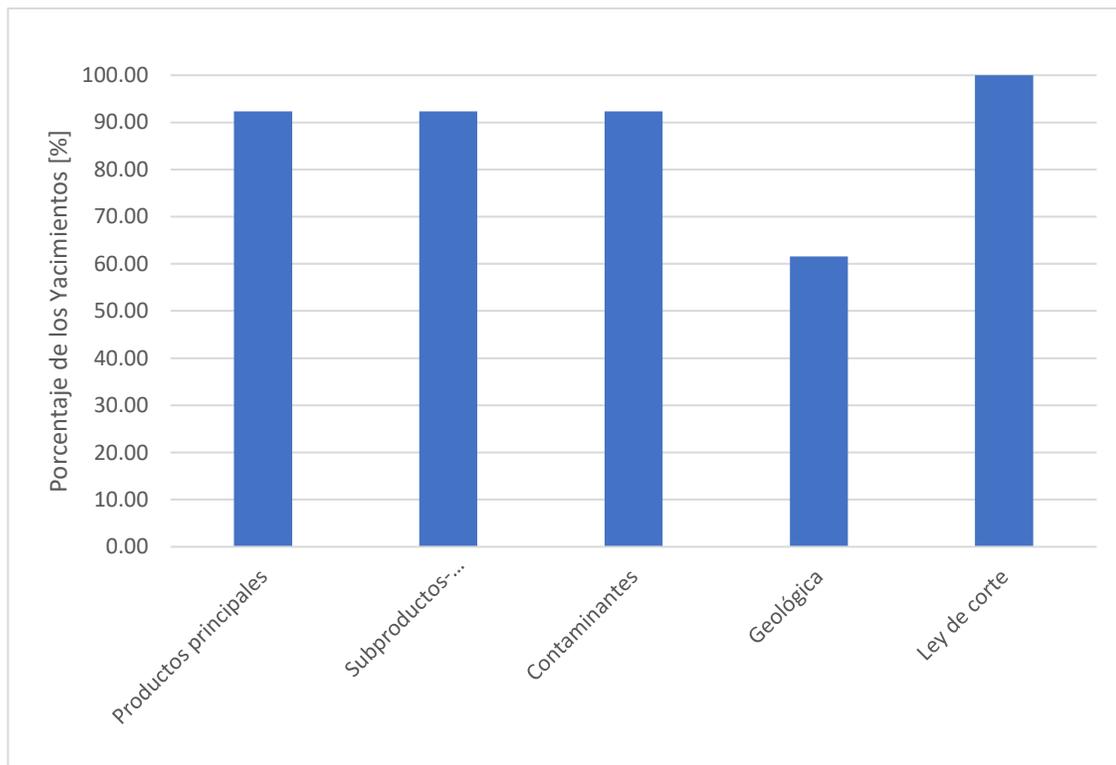


Gráfico 32. Parámetros para conciliar.

El horizonte de conciliación corresponde al volumen de producción sobre el cual se realizará la comparación del modelo a partir de la nueva información. De acuerdo con el Gráfico 33, las empresas concilian en periodos diarios, semanales, mensuales y anuales, y en pocos casos en periodos trimestrales.

Para realizar la conciliación se pueden comparar los resultados de una unidad de conciliación que dependerá del método de explotación (para open pit sería un bloque, mientras que para una mina de block caving sería un punto de extracción hasta el punto de entrada de dilución). Para esto se puede desarrollar un modelo de corto plazo con los datos provenientes de la operación o de nuevas campañas de sondajes, y luego compararlos con el modelo de largo plazo para tomar medidas de corrección en caso de identificar alguna causa proveniente de cualquiera de las etapas de estimación. Esto se realiza a partir de análisis que pueden considerar los niveles de conciliación contrastándolos con la calidad de los datos, el modelamiento geológico, las categorías de los recursos y la curva tonelaje ley, con el fin de mejorar la predictibilidad y el cumplimiento de los planes de producción. Según el Gráfico 34 es mayormente utilizado el software Vulcan para realizar los modelos de corto plazo.

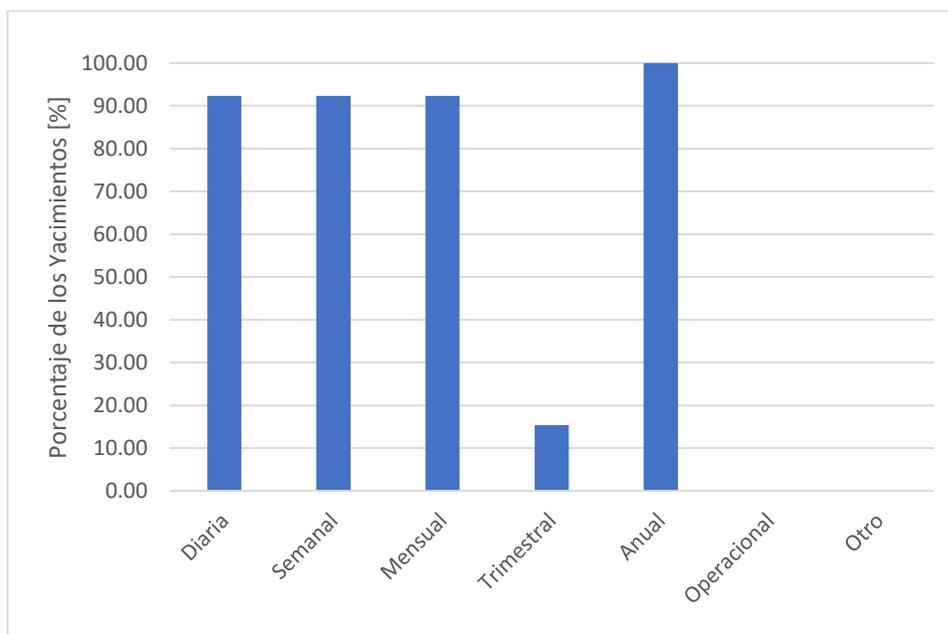


Gráfico 33. Unidad básica de conciliación.

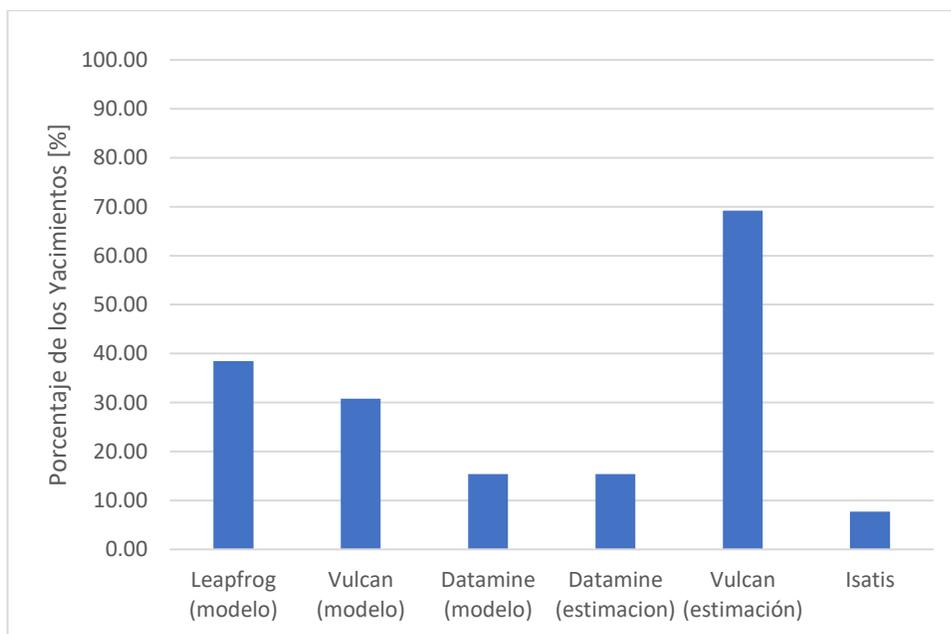


Gráfico 34. Software en corto plazo

Conclusiones de la sección

La conciliación de los resultados es fundamental para el mejoramiento continuo de los modelos geológicos y de estimación y su finalidad es incrementar el conocimiento del comportamiento del yacimiento para disminuir la incerteza y mejorar el cumplimiento de los planes de producción.

Pareciera que no existe una centralización en conciliar solo los productos principales, sin embargo, aún existe una diferencia respecto a la conciliación de los atributos geológicos, lo que corresponde a una oportunidad de mejora.

Se promueve el análisis de varios atributos para identificar de dónde provienen las diferencias entre los valores provenientes de la nueva información y los modelos anteriores, considerándose principalmente aspectos como la geología, categorización y leyes de corte.

Capítulo V: Conclusiones

Se concluye que existen problemas en el muestreo y actividades de captura en general, debido al poco control y cumplimiento de los protocolos en terreno. Se considera imperante llevar a cabo el QA/QC de manera proactiva no solo para los análisis químicos, sino que, para todos los protocolos de todas las actividades del proceso de adquisición de información, considerando además un mejoramiento continuo.

Actualmente no todos los yacimientos recogen adecuadamente (en calidad o cantidad), información de todas las variables propuestas para asegurar la confiabilidad de las leyes, tonelajes y finos determinados en el proceso de estimación. Las principales falencias corresponden a las variables geometalúrgicas y a la densidad de roca. Esto se aprecia en que no todos los yacimientos contaban con protocolos estandarizados que se basen en la teoría del muestreo para poder seleccionar muestras representativas para esas variables.

La información básica utilizada en la estimación de recursos es la base de todo el negocio minero, por lo que no se pueden desestimar los temas de calidad de la información. Los criterios de interpretación y mapeo deben estar unificados en el yacimiento, y su concepción junto con el diseño de la base de datos debe realizarse a partir de una discusión del equipo de trabajo con el geólogo líder. Este diseño tiene que adecuarse a las hipótesis geológicas y necesidades del negocio, evitando copiar la de otro yacimiento por muy similar que sea. Las empresas buscan que las bases de datos sean robustas, coherentes, integrales, seguras y estructuradas, sin embargo, siguen existiendo errores en ellas. Actualmente la calidad de información ha mejorado gracias a la existencia de controles en línea. Los mayores problemas corresponden a los datos históricos, deterioros de inventarios y conectividad con otras bases de datos. Los primeros deben solucionarse a partir del tratamiento de las muestras históricas tratando de llevarlas a los estándares actuales, y los últimos a partir de cambios organizacionales y de traspaso de información.

Es importante destacar que el modelo geológico es la base de los modelos de estimación, geometalurgia y geotecnia, por lo tanto, su correcta conceptualización y construcción sentará las bases del modelo de negocios. Los conceptos geológicos son lo más importantes a la hora de crear los modelos. Construirlos solo guiándose por técnicas computacionales no tendrá la consistencia o el respaldo que otros que sí consideren los procesos de formación y las hipótesis de distribución de distintos atributos geológicos.

En cuanto a la estimación de variables de interés, si bien la industria ha ampliado el foco de las variables que se estiman, aún existe una diferencia sustancial con respecto a la estimación de variables geometalúrgicas y de densidad de roca, pese a que estas impactan en la definición de los finos presentes en el yacimiento. También existe una falencia en cuanto a los análisis de tamaño de compósitos y bloques para la estimación. Estos deben realizarse en caso de que no se hayan hecho, para así determinar la mejor opción de tamaño considerando características adicionales a las operacionales.

Las unidades de estimación deben definirse en función de criterios geológicos y estadísticos. Deben realizarse análisis de variabilidad de sus límites y también determinarse si corresponden a límites duros o blandos. Un punto de especial cuidado corresponde a la relación de fronteras al realizar modelos de isoleyes, donde puede haber un error al tomar la decisión de utilizar límites duros.

Las herramientas de estimación son escogidas en función del nivel de información, el horizonte temporal y la variabilidad de la especie de interés. Es una buena práctica que el encargado de estimación tenga conocimiento de las principales herramientas existentes y cuando conviene utilizarlas.

Los planes de estimación no tienen sentido solo como herramientas para disminuir los tiempos de computo. Hoy su rol (en el caso de realizar estimaciones locales) está más relacionado con poder modificar los parámetros para mejorar la predictibilidad del modelo, es por esto, que deben ser utilizados en conjunto de otros elementos como las validaciones cruzadas o la conciliación.

Se debe recordar que los modelos solo son representaciones de la realidad por lo tanto un análisis de la variabilidad de los límites de las unidades ayuda a comprender la incertidumbre que se tendrá en los procesos de estimación posteriores. A su vez el modelo requiere ser conciliado en función de la información nueva de operación (modelo de corto plazo) y de campañas de sondajes con el fin de tener una idea de su capacidad predictiva y mejorarlo a partir del análisis de las discrepancias encontradas.

Las validaciones de los modelos de estimación tienen que abarcar todas las aristas, criterios y análisis posibles (incluso las más básicas como inspección visual), con el fin de identificar errores de conceptos o de construcción. Hoy no se realiza mucho análisis de incertidumbre de la ley y el tonelaje y eso debe mejorar.

La categorización de recursos ayuda a comprender la confiabilidad de los resultados de la estimación, por lo que es de vital importancia que esta la transmita adecuadamente tanto para efectos de evaluación de proyectos como para la planificación y explotación del yacimiento. La categorización que está llevando a cabo hoy la industria no considera enfoques relacionados con la calidad de los datos o incertidumbre geológica y de leyes. Esto no se alinea con lo expresado en los códigos de reportabilidad de recursos, siendo un foco de mejora. Se deben preferir herramientas cuantitativas que consideren los riesgos financieros, lo que significa que deben enfocarse en volúmenes de producción significativos (aplicable cuando el proyecto no se encuentra en etapas muy tempranas). Sin embargo, el cambio de estrategia de categorización debe ser analizado, viendo su impacto sobre el inventario de recurso.

La conciliación de los resultados es fundamental para el mejoramiento continuo de los modelos geológicos y de estimación y su finalidad es incrementar el conocimiento del comportamiento del yacimiento para disminuir la incerteza y mejorar el cumplimiento de los planes de producción. No existe una tendencia en conciliar solo los productos principales, sin embargo, aún hay una diferencia respecto a la conciliación de los atributos geológicos, lo que corresponde a una oportunidad de mejora.

Se promueve el análisis de varios atributos para identificar de donde provienen las diferencias entre los valores provenientes de la nueva información y los modelos anteriores, considerándose principalmente aspectos como la geología, categorización y leyes de corte.

Toda información capturada, certificado emitido, criterio de mapeo y codificación, reanálisis, actividad y resultado de control de calidad, y en general, cualquier criterio, supuesto, factor, parámetro, herramienta, estudio, análisis, técnica o modelo, junto con todo resultado utilizado y obtenido en cualquiera de las etapas del proceso de estimación de recursos, debe ser revisado, validado y documentado tanto física como digitalmente (según corresponda), para cumplir con los estándares mínimos de transparencia, materialidad y competencia que proponen los códigos de reportabilidad, y también, para poder tener elementos comparativos para el mejoramiento continuo del inventario de recursos y los planes de explotación del yacimiento.

Todos los procesos deben ser llevados por un equipo de trabajo multidisciplinario, con el fin de generar discusiones constructivas que ayuden a tomar las mejores decisiones para generar un modelo de recursos predictivo.

Los encargados deben responsabilizarse de la cultura organizacional, relacionada con temas de calidad y comunicación entre áreas. Se recomienda que sean internos a la compañía y con una amplia experiencia en el depósito, ya que de esta forma estarán más compenetrados con las necesidades específicas de todas las actividades a realizar en la estimación de recursos mineros del yacimiento alineados con los requerimientos corporativos.

Se debe evitar quedar con la idea de que las prácticas actuales deben mantenerse solo porque llevan mucho tiempo realizándose de cierta forma, siempre hay que tratar de realizar estudios para ver si existe la posibilidad de mejorarlas, o comprobar si efectivamente son la mejor opción actual (mejor práctica).

Capítulo VI: Recomendaciones

Para los encargados de las distintas etapas de estimación de recursos mineros en Chile se recomienda:

- Extender el concepto de QA/QC a todas las actividades y procesos de estimación de recursos de manera proactiva.
- Generar protocolos que aseguren la representatividad de muestras de densidad de roca y geometalúrgicas.
- Utilizar criterios geológicos y cronológicos tanto en el modelamiento como en la estimación, evitando el uso solo de enfoques matemáticos.
- Incorporar validaciones enfocadas en los criterios geológicos y la interpretación evitando solo realizarlas sobre la constructibilidad de los modelos.
- Realizar conciliación geológica de manera protocolizada y no solo cuando existan errores.
- Analizar el impacto de generar estimaciones de densidad de roca en lugar de realizar una asignación directa.
- Generar un análisis de contactos y del diseño del plan de estimación.
- Analizar el impacto de la toma de decisiones de estimación sobre el inventario de recursos, un ejemplo es el impacto de la elección de los tamaños de compósitos y de bloques (esto debe hacerse cuando corresponda y cuando el tiempo lo permita).
- Tener conocimiento de las herramientas existentes, de cuando pueden utilizarse y cuáles son sus limitaciones. Siempre estar a la vanguardia y evitar caer en el temor de utilizar técnicas más sofisticadas (cuando se sepan utilizar y siempre que tenga una justificación).
- Realizar análisis de incertidumbre de la geología, del tonelaje y de las leyes del yacimiento.
- Evitar validar información con distintos softwares ya que puede llevar a discrepancias.
- Utilizar un enfoque de categorización que considere la calidad de los datos, la incertidumbre geológica, de tonelaje y ley de manera cuantitativa.
- Promover una cultura de calidad de la información, el trabajo en equipo, la buena comunicación interdisciplinaria y el mejoramiento continuo.
- Capacitar al personal de muestreo, modelamiento geológico y estimación de recursos sobre criterios, herramientas y técnicas existentes.

Capítulo VII: Bibliografía

- [1] Maksaev V., Catedra del curso Introducción a Yacimientos minerales, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Yacimientos de tipo Pórfido Cuprífero, 2016, 127 h.
- [2] Sillitoe R.H., Porphyry Copper Systems, 2010, Economic Geology, v. 105, pp. 3–41
- [3] Maksaev V., Catedra Introducción a Yacimientos, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Procesos Supérgenos, 2016, 82 h.
- [4] Ccama, M., Aplicación del QA/QC en el proceso geológico, para validar la estimación de recursos y reservas, de la unidad operativa Chungar. Tesis (Título Profesional de Ingeniera Geóloga). Arequipa, Perú. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Geología, Geofísica y Minas, 2017. 171 h.
- [5] Gerencia Corporativa de Recursos Mineros (Vicepresidencia de Estrategia y Desarrollo) y Gerencia Técnica (Vicepresidencia de Proyectos), CODELCO, Guía de Mejores Prácticas para el Tratamiento de la Información Geológica, Versión Final, 2007, 70h.
- [6] Bustillo, M., (2017), Curso de Recursos minerales: desde la exploración hasta el estudio del impacto ambiental, <https://ingeoexpert.com/articulo/tipos-muestreo-mineria/?v=5bc574a47246.html>
- [7] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-001 Preparación de Corte Transparente, 2009, 11 h.
- [8] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-002 Preparación de Corte Pulido, 2009, 10 h.
- [9] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-003 Preparación de Corte Transparente Pulido, 2009, 12 h.
- [10] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-005 Preparación Briqueta Pulida, 2009, 9 h.
- [11] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-008 Test de Heterogeneidad para Determinar Constantes de Muestreo y Nomogramas de Preparación de Muestras, 2009, 58 h.
- [12] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-009 Obtención, Preparación y Certificación de Materiales de Referencia para Minerales, 2009, 34 h.
- [13] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-011 Test de Ingamells, 2010, 31 h.

- [14] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-013 Aseguramiento de Calidad en Preparación de Muestras para Análisis Químico, 2009, 30 h.
- [15] Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras, Código para la Certificación de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras, 2015, Santiago, Chile, 63 h.
- [16] Pitard, F. Sampling Theory and Sampling Practice for the Cooper Industry from Rock to Cathodes. Seminario CODELCO. Santiago, Chile, 2007. 470 h.
- [17] Smee and Associates Consulting Ltd, Quality Control in Mineral Exploration, Controlling the Quality of Information from Field to Data Base, [en línea] https://www.appliedgeochemists.org/images/stories/Exploration_07/B_Smee.pdf [consulta: 18 agosto 2018]
- [18] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-010 Verificación de Resultados de Análisis Químico, 2009, 34 h.
- [19] Vicepresidencia Corporativa de Proyectos, CODELCO, SGP-GT-GEO-NOR-017 Aseguramiento de Calidad en el Corte de Testigo de Sondajes de Diamantina, 2009, 24 h.
- [20] Emery X., Diploma de Postítulo en Evaluación Geoestadística de Yacimientos, *Apunte de Geoestadística*, 2008, 144h.
- [21] Müller G., Carrasco P., Sullivan J., Silvia S., Fuenzalida J., *Guía Mejores Prácticas Estimación de Recursos Geológicos*, diciembre 2004, 148 h.
- [22] Gerencia Corporativa de Recursos Mineros, CODELCO, *Prácticas Recomendadas en "Modelamiento Geológico"*, noviembre 2006, 40 h.
- [23] Taller de Modelamiento Geológico, (junio 2015, Santiago, Chile), Geolnova Consultores Ltda., Cáceres A., Modelamiento Geológico, Pasado, Presente y Futuro, 2015, 106 h.
- [24] Frez T., Kriging y Simulación Secuencial de Indicadores con Proporciones Localmente Variables, Memoria para Optar al Título de Ingeniera Civil de Minas, 2014, Santiago, Chile, 85 h.
- [25] Alfaro, M., *Estimación de Recursos Mineros*, recopilación de experiencia educativa de evaluación de recursos mineros, 2007, 125 h.
- [26] Rossi, M., Deutsch, C., Mineral Resource Estimation, Springer, 2014, 337 h.
- [27] Abzalov, M., Applied Mining Geology, Springer, 2016, 443 h.
- [28] Gerencia de Recursos Mineros, CODELCO, Norma Corporativa, NCC N° 31 Categorización de Recursos y Reservas Rev. 5, 2018, 20 h.

[29] Cáceres, A., Catedra Evaluación de Yacimientos, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Principios de Simulación Geoestadística, 2016, 152 h.

[30] Müller, G., Carrasco, P, Gerencia Corporativa de Recursos Mineros y Gerencia Técnica, Guía Mejores Prácticas Conciliación Modelos Geológicos, CODELCO, 2005, 30 h.

Capítulo VIII: Anexos

Anexos I – Información y Protocolos

A continuación, se presentan los principales datos capturados en el muestreo en terreno para los distintos tipos de fuentes de información.

❖ **Sondajes**

- Fecha, proyecto, campaña y encargado.
- Códigos de identificación.
- Tipo de sondaje, método de perforación, diámetros por tramo, largos y objetivos.
- Captura de coordenadas, inclinación y azimut del inicio de la perforación.
- Medición de la trayectoria del sondaje, cuantificación de su desviación y orientación de ser posible.
- Re-perforaciones, repeticiones, alargamiento y recomendaciones.
- Recuperación de testigo como porcentaje.

❖ **Labores subterráneas**

- Fecha, proyecto, campaña y encargado.
- Códigos de identificación (relacionadas con el lugar físico o tipo de labor).
- Captura de coordenadas respecto del punto de inicio de la labor o de una estación topográfica de interior mina.
- Medición de la trayectoria de la labor y sus tramos de medición.

❖ **Pozos de tronadura**

- Fecha, proyecto y encargado.
- Identificación del banco y del frente
- Captura de coordenadas e inclinación del collar.
- Medición de la trayectoria del pozo y su desviación.
- Largo del pozo.

❖ **Puntos de extracción**

- Fecha, proyecto y encargado.
- Identificación del punto de extracción.
- Estado operacional actual y porcentaje de extracción.

❖ **Bancos**

- Fecha, proyecto y encargado
- Identificación del banco, identificación del frente.
- Ubicación de muestras.

❖ **Superficie**

- Fecha, proyecto, campaña y encargado.
- Códigos de identificación.

- Para zanjas, punto de inicio, tramos, coordenada final y rumbo.
- Para afloramientos, coordenadas de contorno, coordenadas de muestra puntual.

A continuación, se muestran algunos de los protocolos asociados a la toma de muestras en terreno, los que deben estar debidamente desarrollados y ser conocidos por los responsables de las diferentes actividades.

- Construcción de plataformas y caminos.
- Construcción de trincheras.
- Toma de coordenadas de superficie y labores subterráneas.
- Muestreo de superficie.
- Muestreo de labores subterráneas.
- Muestreo de puntos de extracción.
- Labores a realizar para campaña de sondajes de aire reverso y diamantina.
- Marcación topográfica y de azimut de plataformas de perforación con GPS.
- Inspección de estaciones de perforación de sondajes.
- Toma de collares y azumit de sondajes (desde superficie o interior mina) y pozos.
- Control de perforación, toma y manipulación de muestras aire reverso.
- Control de perforación, toma y manipulación de muestras de diamantina.
- Control de calidad de muestras de sondaje.
- Toma de trayectorias.
- Toma de fotografías de testigos / muestras / labor / banco.
- Cambios de diámetro, largo sondaje y recuperaciones perforación.
- Tratamiento y validación de muestras (de cada tipo).

Las principales variables de mapeo (tanto geológico como geotécnico son presentadas a continuación.

- ❖ **Mapeo Geológico:** Litología, alteración, mineralización, rasgos estructurales, techos y pisos (óxidos y sulfuros).
- ❖ **Mapeo Geotécnico:** Fracturas (RQD, FF, entre otros), condiciones de fractura, meteorización, etc.

Para asegurar la calidad de los resultados de mapeo, las empresas deben definir y controlar protocolos de obtención de información siendo los principales los que se presentan a continuación.

- Ingreso de información geotécnica y geológica a dispositivos de mapeo.
- Mapeo geológico-geotécnico de Labores.
- Mapeo geológico-geotécnico de Bancos (según condiciones operacionales y de seguridad).
- Mapeo geológico de pozos de tronadura.
- Mapeo geológico-geotécnico de testigos.
- Mapeo geológico-geotécnico en superficie.
- Mapeo geológico de puntos de extracción (según condiciones operacionales y de seguridad).

A continuación, se expone un listado de los procedimientos más relevantes respecto a las actividades que se deben llevar a cabo durante el proceso de preparación.

- Corte longitudinal de muestras
- Corte transversal de muestras
- Muestreo de testigo de material no consolidado (selección)
- Alternancia de mitades o cuartos de muestras (selección)
- Protocolo para muestras petrográficas
- Protocolo de harneo
- Protocolo de chancado
- Homogenización de fracciones
- Reducción de muestras
- Protocolo de secado
- Protocolo de pulido
- Protocolo de pulverizado
- Protocolo de almacenaje
- Protocolo de aseguramiento de calidad (de cada producto)
- Protocolo de seguridad e impacto ambiental (para cada actividad)

Junto con lo anterior también es recomendable tener protocolos de gestión de las muestras, que sirven para generar un orden, tener un respaldo y saber en todo momento en que proceso se encuentra cada material procesado.

- Envío y recepción de muestras para preparación, análisis químicos y estudios especiales
- Recepción de resultados analíticos del laboratorio
- Obtención de datos del mapeo geológico/geotécnico
- Envío y recepción de muestras para estudios especiales, pruebas geometalúrgicas y geotécnicas
- Recepción de resultados de estudios especiales, pruebas geometalúrgicas y geotécnicas
- Protocolos de verificación de preparación de muestras

Por otro lado, los ensayos geotécnicos o pruebas geometalúrgicas son destructivos y algunos muy costosos, por lo que las muestras deben ser escogidas asegurando su representatividad, pero limitadas a restricciones presupuestarias. Se aprecian a continuación, algunas de las posibles pruebas a las que deberían someterse las muestras del yacimiento.

- Ensayo de medición de densidad
- Pruebas de recuperación de procesos por elemento químico
- Pruebas de consumo de ácido
- Ensayos para determinación de Work Index
- Pruebas de flotación

- Pruebas de impacto y abrasión
- Pruebas de dureza
- Pruebas SPI
- Ensayos de resistencia
- Ensayos de permeabilidad
- Ensayos químicos sobre agua
- Ensayos de deformación
- Ensayos de liberación y granulometría

Las bases de datos deben contar con cierta información típica, que se basa en los estándares nacionales e internacionales de reportabilidad de recursos y reservas mineras. A su vez, tiene que considerar también el resguardo documental y el registro de la información que no se pudo obtener o de características que no poseen algunas muestras. A continuación, se puede apreciar un listado básico a considerar.

❖ **Muestras**

- Tipo
- Coordenadas
- Trayectorias
- Desviaciones
- Protocolos
- Certificados
- Informes
- Fotografías
- Diámetro
- Encargados

❖ **Análisis Químico**

- Leyes de muestras
- Metodologías y herramientas de análisis
- Parámetros utilizados
- Control de calidad de resultados
- Protocolos
- Certificados

❖ **Datos Geotécnicos e Hidrológicos**

- Tipos de ensayos
- Tipo y relleno de estructuras
- Parámetros geotécnicos
- Recuperación
- Mapeo geotécnico
- Descripciones

- Protocolos
 - Certificados
 - Datos de estaciones meteorológicas
 - Niveles freáticos
 - Riachuelos o ríos estacionales
 - Terrenos inestables
- ❖ **Mapeos geológicos**
- Tipos litológicos
 - Minerales de alteración
 - Mineralización
 - Estructuras mayores y menores
 - Vetillas
 - Protocolos
- ❖ **Datos geometalúrgicos**
- Muestras y tramos
 - Tipo de prueba y resultados
 - Protocolos
- ❖ **Inventarios**
- Testigos
 - Cuttings
 - Rechazos
 - Sobres
 - Carpetas
- ❖ **Estudios Especiales**
- Microscopia
 - Petrografía
 - Calcografía
 - Rayos X
- ❖ **Modelamiento**
- Modelo geológico
 - Modelo geometalúrgico
 - Modelo geotécnico
 - Modelo hidrogeológico
 - Modelo de bloques
- ❖ **Informes**
- Presentaciones

- Informes de modelamiento
- Informes de estimación
- Informes de conciliación
- Informes de control de calidad
- Auditorias
- Contratos

Al menos se debe realizar un chequeo de todos los puntos que se han abordado en este capítulo, incluyendo una revisión a la base de datos que considerada lo siguiente:

- Existe información de la ubicación del respaldo de la información
- La versión de la base de datos cuenta con identificación y se encuentra validada
- Existen registros de cambios o modificaciones
- Organización lógica de las tablas y contenido de la base de datos
- Esquema similar al de los registros (y que incluya todos los parámetros registrados)
- Existe proceso de chequeo y corrección de los datos ingresados
- Esta establecida una nomenclatura para valores faltante
- Los identificadores de los datos son únicos
- Consistencia en las unidades de los campos
- Códigos de información geológica consistentes con los protocolos de mapeo
- Consistencia entre collares y topografía
- Validación de las mediciones a lo largo del sondaje (u otro tipo de fuente de información)
- Intervalos desde/hacia de datos no se cruzan
- Último dato coincide con largo total de sondaje
- Chequeo y confirmación de intervalos faltantes
- Chequeo de leyes cero o con valores extremos
- Comparación entre informes de ensayos y su valor en las tablas de datos

El modelo geológico debe ser documentado junto a la información y criterios utilizados para su construcción por temas de trazabilidad, y para tener un apoyo comparativo al momento de realizar actualizaciones de este. Se presenta una pequeña lista de revisiones que se deben realizar al momento de oficializar el modelo o generar una auditoria del proceso.

- Revisión de dilución en la codificación de los sondajes
- Características y variables geológicas interpretadas
- Revisión de unidades aisladas o geometrías extrañas
- Relaciones entre los distintos atributos geológicos
- Análisis de cronología de eventos
- Nivel de incertidumbre de las unidades
- Revisar recodificaciones y sus razones

El modelo de estimación al igual que el geológico debe ser revisado y validado y algunas de las revisiones principales corresponden a las siguientes:

- Resultados de análisis estadístico de datos
- Criterios de separación de unidades
- Tamaños de bloques
- Parámetros de planes de estimación y su justificación
- Consistencia con los datos
- Capacidad de predicción
- Nivel de incertidumbre
- Nivel de suavizamiento

Anexos II – Cuestionarios

Cuestionarios para empresas mineras

Información de Encuestado y Yacimiento

1.1 Nombre:

1.2 Correo:

1.3 Número de Contacto:

1.4 Nombre de Compañía Minera:

1.5 Nombre de Faena:

1.6 Tipo de Yacimiento:

Pórfido Cuprífero (Cu-Mo)	<input type="checkbox"/>	Vetiforme (Au-Ag-Cu)	<input type="checkbox"/>
Pórfido Cuprífero (Au-Cu)	<input type="checkbox"/>	Litio	<input type="checkbox"/>
IOCG	<input type="checkbox"/>	No Metálico	<input type="checkbox"/>
IOA	<input type="checkbox"/>	Otro:	<input type="checkbox"/>
Estratoligado/Mantiforme	<input type="checkbox"/>		

1.7 Particularidades del Yacimiento (Geométricas, geológicas, etc)

1.8 Etapa del Proyecto:

Estudio de Perfil	<input type="checkbox"/>
Estudio de Prefactibilidad	<input type="checkbox"/>
Estudio de Factibilidad	<input type="checkbox"/>
Construcción	<input type="checkbox"/>
Operación	<input type="checkbox"/>

1.9 Movimiento mina y Movimiento planta (Indicar si es teórico o real)

1.10 ¿Qué procesos se utilizan? (Concentración, Lixiviación, etc)

1.11 Producto(s) Comercial(es) (Cobre, Hierro, etc)

Mapeo, Muestreo y QA/QC

2.1 ¿Qué variables se mapean o analizan?

Alteración	<input type="checkbox"/>	Vetillas	<input type="checkbox"/>
Mineralización	<input type="checkbox"/>	RQD-FF	<input type="checkbox"/>
Leyes	<input type="checkbox"/>	Ley(es) Producto(s) Principal(es)	<input type="checkbox"/>
Densidades	<input type="checkbox"/>	Ley(es) Subproducto(s)	<input type="checkbox"/>
Contaminantes	<input type="checkbox"/>	Elemento(s) Deletéreo(s)	<input type="checkbox"/>
Litología	<input type="checkbox"/>	Densidad(es)	<input type="checkbox"/>
Estructuras	<input type="checkbox"/>	Otros:	<input type="checkbox"/>

2.2 ¿Qué tipo de muestreo se lleva a cabo en terreno?

Sondajes de Aire Reverso	<input type="checkbox"/>
Sondajes de Diamantina	<input type="checkbox"/>
Pozo de Tronadura	<input type="checkbox"/>
Labores Subterráneas	<input type="checkbox"/>
Otra:	<input type="checkbox"/>

2.3 ¿Con qué frecuencia se analiza en los mapeos las siguientes variables?

	Siempre	Casi Siempre	A veces	Casi Nunca	Nunca
Alteración	<input type="checkbox"/>				
Mineralización	<input type="checkbox"/>				
Leyes	<input type="checkbox"/>				
Densidades	<input type="checkbox"/>				
Contaminantes	<input type="checkbox"/>				
Litología	<input type="checkbox"/>				
Estructuras	<input type="checkbox"/>				
Vetillas	<input type="checkbox"/>				
RQD-FF	<input type="checkbox"/>				
Ley(es) Producto(s) Principal(es)	<input type="checkbox"/>				
Ley(es) Subproducto(s)	<input type="checkbox"/>				
Elemento(s) Deletéreo(s)	<input type="checkbox"/>				
Densidad(es)	<input type="checkbox"/>				
Otros:	<input type="checkbox"/>				

2.4 Respecto a la información geológica y topográfica

	Sí	No	No sé	No Aplica
¿Se utilizan fuentes de información regional?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se utilizan mapas geológicos de superficie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se utilizan técnicas geofísicas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se compara la información con otros objetivos cercanos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se utiliza fotografía aérea?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Existe un registro de la diferencia entre la topografía digital y los collares?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se utilizan datos de niveles freáticos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se utilizan datos de terrenos inestables o de material quebrado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Las perforaciones de sondajes tienden a ser perpendiculares a las estructuras?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Existe un registro de las desviaciones de los sondajes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Existe una unificación de la información geológica para evitar inconsistencias en el mapeo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se registra la recuperación de los testigos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.5 ¿Qué elementos se utilizan como parte del protocolo de muestreo (y que tenga registro) para asegurar la calidad de las muestras?

Estándares Propios	<input type="checkbox"/>
Estándares Adquiridos	<input type="checkbox"/>
Blancos Gruesos	<input type="checkbox"/>
Blancos Finos	<input type="checkbox"/>
Duplicados de Testigos	<input type="checkbox"/>
Duplicados Gruesos	<input type="checkbox"/>
Duplicados Finos	<input type="checkbox"/>
Duplicados Externos (Enviados a diferentes laboratorios)	<input type="checkbox"/>
Sondajes Gemelos	<input type="checkbox"/>
Test de Heterogeneidad	<input type="checkbox"/>
Test de Ingamells	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

2.6 ¿Qué herramientas se utilizan para el control de calidad de los protocolos de muestreo y resultados de análisis químicos?

Estadísticas Básicas	<input type="checkbox"/>
Error Relativo	<input type="checkbox"/>
Coefficiente de Variación	<input type="checkbox"/>
Diagramas de Dispersión	<input type="checkbox"/>
Diagramas QQ	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

2.7 Respecto al QA/QC de muestreo

	Sí	No	No sé	No Aplica
¿Se presentan acciones correctivas o preventivas respecto a los resultados de todos los informes de QA/QC?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se registran los envíos que cuenta con el uso de blancos, estándares, etc.?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se encuentra definida la tolerancia del error para cada protocolo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se define otro protocolo para leyes críticas (muy bajas, altas o cercanas a la ley de corte)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Los estándares abarcan toda la distribución de leyes?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se controla el procedimiento de rotulación y traslado?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Existe retroalimentación a los laboratorios?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2.8 ¿Cómo calificaría el mapeo de la información del yacimiento?

	Muy Malo	Malo	Normal	Bueno	Muy Bueno
Calificación	<input type="checkbox"/>				

2.9 ¿Cómo calificaría los protocolos de muestreo y análisis químicos que se realizan en el yacimiento?

	Muy Malo	Malo	Normal	Bueno	Muy Bueno
Calificación	<input type="checkbox"/>				

2.10 ¿Cómo calificaría el control de calidad de las prácticas de muestreo y análisis químicos?

	Muy Malo	Malo	Normal	Bueno	Muy Bueno
Calificación	<input type="checkbox"/>				

2.11 ¿Cuál es la zona de mayor densidad de sondajes? ¿Cuál es la densidad y el motivo de ésta?

2.12 ¿Cuál es la zona con menor densidad de sondajes ¿Cuál es la densidad y el motivo de ésta?

2.13 ¿Qué porcentaje de los sondajes no cuenta con QA/QC?

2.14 ¿Cuáles son las dificultades principales del proceso de mapeo y muestreo?

Formación de base de datos

3.1 ¿Cuál de las siguientes variables forman parte de la base de datos (de manera general)?

Campaña/año	<input type="checkbox"/>
ID	<input type="checkbox"/>
Geólogo o Registrador	<input type="checkbox"/>
Tipo de Información (Tipo de sondaje u otro)	<input type="checkbox"/>
Largo	<input type="checkbox"/>
Intervalos de muestra	<input type="checkbox"/>
Collares	<input type="checkbox"/>
Trayectoria	<input type="checkbox"/>
Desviación	<input type="checkbox"/>
Recuperación	<input type="checkbox"/>
Ensayos Realizados	<input type="checkbox"/>
Leyes	<input type="checkbox"/>
Densidad	<input type="checkbox"/>
Litología	<input type="checkbox"/>
Alteración	<input type="checkbox"/>
Mineralizaciones	<input type="checkbox"/>
Estructura	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

3.2 ¿Cuál de las siguientes variables forman parte de la base de datos (de manera general)?

Estructura	<input type="checkbox"/>
Integridad	<input type="checkbox"/>
Coherencia	<input type="checkbox"/>
Seguridad	<input type="checkbox"/>
Protocolos	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

3.3 ¿Cuáles de los siguientes chequeos o precauciones se realizan para la base de datos?

Chequeo de entradas	<input type="checkbox"/>
Protección de entradas ilógicas (Ej. Que automáticamente no se permita ingresar una ley negativa)	<input type="checkbox"/>
Consistencia de Leyes	<input type="checkbox"/>
Consistencia de Collares con Topografía	<input type="checkbox"/>
Chequeo de valores faltantes	<input type="checkbox"/>
Chequeo de Outliers	<input type="checkbox"/>
Chequeo de resultados de ensayos con hojas de laboratorio	<input type="checkbox"/>
Identificación de las muestras	<input type="checkbox"/>
Respaldo físico de la información	<input type="checkbox"/>
Respaldo digital	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

3.4 ¿Cómo se identifican y definen los outliers?

Análisis de gráficos de probabilidad	<input type="checkbox"/>
Análisis de histogramas	<input type="checkbox"/>
Test de Grubs	<input type="checkbox"/>
Test de Rosner	<input type="checkbox"/>
Test de Skewnest	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

3.5 ¿Cómo se manejan los outliers?

Eliminarlos	<input type="checkbox"/>
Capping	<input type="checkbox"/>
Mean Substitution	<input type="checkbox"/>
Regresión	<input type="checkbox"/>
Restricción en el radio de búsqueda	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

3.6 ¿Cuáles son los criterios de composición?

3.7 ¿En qué software(s) se genera(n) la(s) base(s) de datos?

acQuire	<input type="checkbox"/>
Xilab	<input type="checkbox"/>
Datamine	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

3.8 ¿Qué porcentaje (aproximado) de la información de la base de datos se verifica?

3.9 ¿Cuáles son las dificultades principales?

3.10 ¿Cómo calificaría la gestión y control de la base de datos?

	Muy Malo	Malo	Normal	Bueno	Muy Bueno
Calificación	<input type="checkbox"/>				

Modelamiento Geológico

4.1 ¿Cuál es el enfoque para realizar el modelamiento?

Grade Shell	<input type="checkbox"/>
Unidades Geológicas	<input type="checkbox"/>
Unidades Geotécnicas	<input type="checkbox"/>
Unidades Geometalúrgicas	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

4.2 ¿Qué atributos se consideran para identificar los controles geológicos?

Litología	<input type="checkbox"/>
Mineralización	<input type="checkbox"/>
Alteración	<input type="checkbox"/>
Estructural	<input type="checkbox"/>
Pisos y Techos	<input type="checkbox"/>
Vetillas	<input type="checkbox"/>
Leyes	<input type="checkbox"/>
Recuperación	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

4.3 ¿Qué control predomina para las leyes?

Litología	<input type="checkbox"/>
Mineralización	<input type="checkbox"/>
Alteración	<input type="checkbox"/>
Estructural	<input type="checkbox"/>
Pisos y Techos	<input type="checkbox"/>
Vetillas	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

4.4 ¿Cómo se delimitan las unidades geológicas?

Interpretación en Plantas y Secciones	<input type="checkbox"/>
Extrusión de Polígonos	<input type="checkbox"/>
Triangulaciones	<input type="checkbox"/>
Modelamiento Implícito	<input type="checkbox"/>
Kriging Indicadores	<input type="checkbox"/>
Simulación geoestadística	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

4.5 ¿Cómo se valida el Modelo Geológico?

Secciones de Control	<input type="checkbox"/>
Backflag	<input type="checkbox"/>
Análisis de Proporciones	<input type="checkbox"/>
Reinterpretación con menos datos	<input type="checkbox"/>
Revisión de consistencia entre datos y modelo	<input type="checkbox"/>
Evaluación de predicción con nueva información (conciliación)	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

4.6 ¿En relación con los controles, revisiones y chequeo?

	Sí	No	No sé	No Aplica
¿Se revisan zonas aisladas o geometrías extrañas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Existe un aseguramiento de la integridad de los datos antes de comenzar con el modelo geológico?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿El modelo considera relaciones entre la litología, mineralización, estructuras, etc.?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se realiza una revisión de las practicas del modelamiento y criterios de interpretación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se realiza una revisión del mapeo para los contactos de las unidades?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se corrigen los contactos si se encuentran corridos respecto a los datos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se revisan unidades no mapeables (ej. Muy pequeñas o segregadas)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se analiza la cronología de los eventos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Existe una guía de interpretación?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se determinan las zonas con mayor potencial de variabilidad?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Existe un análisis de los tamaños de los compósitos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se lleva a cabo pintado de datos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.7 ¿Cómo calificaría el control y validación del modelo geológico considerando también la revisión de la base de datos?

	Muy Malo	Malo	Normal	Bueno	Muy Bueno
Calificación	<input type="checkbox"/>				

4.8 ¿A qué escala o resolución se llevan a cabo los modelos?

4.9 ¿Cuáles son las dificultades principales?

4.10 ¿Existe(n) alguna(s) acción(es) particular(es) que crea que realiza de manera diferente al estándar? Explique.

4.11 ¿Qué software se utilizan para el modelamiento y para el análisis de datos?

Leapfrog Geo	<input type="checkbox"/>
Vulcan	<input type="checkbox"/>
Minesight	<input type="checkbox"/>
Micromine	<input type="checkbox"/>
Gems	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

Estimación de Recursos

5.1 ¿Qué variables se estiman?

5.2 ¿Qué herramienta se utiliza para analizar los datos de leyes y sus relaciones con los controles de mineralización y las UE's?

Desagrupamiento	<input type="checkbox"/>
Diagramas QQ	<input type="checkbox"/>
Leyes Medias	<input type="checkbox"/>
Gráfico de Derivas	<input type="checkbox"/>
Gráfico de Cajas	<input type="checkbox"/>
Gráficos de Distribución de Probabilidad	<input type="checkbox"/>
Gráficos de Contactos	<input type="checkbox"/>
Variografía	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

5.3 ¿Qué herramienta de estimación se utiliza?

Polígonos o Poliedros de Influencia	<input type="checkbox"/>
Inverso de la Distancia	<input type="checkbox"/>
Kriging Simple	<input type="checkbox"/>
Kriging Ordinario	<input type="checkbox"/>
Co-Kriging	<input type="checkbox"/>
Simulación Geoestadística	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

5.4 ¿Qué estrategias de búsqueda se utiliza?

Vecindad Única	<input type="checkbox"/>
Vecindad Móvil	<input type="checkbox"/>
Vecindad Móvil Incremental (pasadas)	<input type="checkbox"/>
Número máximo de muestras en total	<input type="checkbox"/>
Número máximo de muestras por sondaje	<input type="checkbox"/>
Búsqueda por sectores angulares (octantes)	<input type="checkbox"/>
Selección de Radio según Variograma de Leyes	<input type="checkbox"/>
Selección de Radio según Malla de muestreo	<input type="checkbox"/>
Selección de Radio por Geometría/Geología	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

5.5 ¿Qué aspectos de la estimación se revisan?

	Sí	No
¿Existe registro de la información utilizada en el proceso de estimación (trazabilidad)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Las UE's se definen con un sentido geológico?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se manejan los valores anómalos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Se evalúa la incertidumbre de tonelaje y ley?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5.6 ¿Cómo se realiza la validación del modelo?

Estadísticas de Estimaciones vs Muestras	<input type="checkbox"/>
Swath Plots	<input type="checkbox"/>
Análisis de Contacto del Modelo de Bloques	<input type="checkbox"/>
Suavizamiento no Excesivo	<input type="checkbox"/>
Inspección Visual de Leyes de Bloques vs Muestras	<input type="checkbox"/>
Comparación con Modelos Previos	<input type="checkbox"/>
Validación Cruzada	<input type="checkbox"/>
Jack-Knife	<input type="checkbox"/>
Evaluación de Predictibilidad y Conciliación con datos de producción	<input type="checkbox"/>
Revisión de Errores en el Tiempo	<input type="checkbox"/>
Revisión de compatibilidad de modelos litológicos, de alteración, de mineralización y estructura (si es que existen)	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

5.7 ¿Cómo se define el tamaño de bloque del modelo?

Según geometría de mineralización	<input type="checkbox"/>
Complejidad en los contactos	<input type="checkbox"/>
Según diseño y método de explotación	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

5.8 ¿Cómo calificaría el control y validación del modelo geológico considerando también la revisión de la base de datos?

	Muy Malo	Malo	Normal	Bueno	Muy Bueno
Calificación	<input type="checkbox"/>				

5.9 ¿Cuáles son las dificultades principales?

5.10 ¿Existe(n) alguna(s) acción(es) particular(es) que crea que realiza de manera diferente al estándar? Explique.

5.11 ¿Qué software se utilizan para el modelamiento y para el análisis de datos?

Gems	<input type="checkbox"/>
Vulcan	<input type="checkbox"/>
Leapfrog Edge	<input type="checkbox"/>
Micromine	<input type="checkbox"/>
Otro:	<input type="checkbox"/>

Clasificación de Recursos

6.1 ¿Cómo se realiza la validación del modelo?

Calidad de datos (Existencia de Registros, QA/QC, certificados, etc.)	<input type="checkbox"/>
Interpretación de UG's y UE's	<input type="checkbox"/>
Incertidumbre de leyes	<input type="checkbox"/>
Incertidumbre de tonelajes	<input type="checkbox"/>
Incertidumbre de cantidad de metal en periodos mensuales y anuales	<input type="checkbox"/>
Impacto de Leyes de corte sobre tonelaje y ley	<input type="checkbox"/>
Densidad de Información (espaciamiento, densidad o radio de sondajes)	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

6.2 ¿Qué herramientas de clasificación de Recursos se utilizan?

Distancia al sondaje (los sondajes) más Cercano(s)	<input type="checkbox"/>
Malla de Sondajes	<input type="checkbox"/>
Varianza de Kriging	<input type="checkbox"/>
Simulación No – Condicional y Malla de Sondajes	<input type="checkbox"/>
Simulación Condicional y Malla de Sondajes	<input type="checkbox"/>
Simulación Condicional y Métricas de Incertidumbre en Volúmenes Móviles	<input type="checkbox"/>
Varianza de Kriging con Malla de Sondajes	<input type="checkbox"/>
Malla Equivalente con Malla de Sondajes	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

6.3 Respecto a los recursos medidos ¿Qué nivel de error, confianza y volumen (En ese orden Ej. $\pm 15\%$, 90%, trimestral), se consideraron para la definición de la malla?

6.4 Respecto a los recursos indicados ¿Qué nivel de error, confianza y volumen (En ese orden Ej. $\pm 15\%$, 90%, anual) se consideraron para la definición de la malla?

6.5 ¿Qué malla de sondajes se definió para recursos medidos?

6.6 ¿Qué malla de sondajes se definió para recursos indicados?

6.7 ¿Existe(n) alguna(s) acción(es) particular(es) que crea que realiza de manera diferente al estándar? Explique.

Contenido del Modelo de Bloques

7.1 ¿Qué tipo de variables incorporar al modelo?

ID	<input type="checkbox"/>
Centroide (x, y, z)	<input type="checkbox"/>
Mineralización	<input type="checkbox"/>
Litología	<input type="checkbox"/>
Alteración	<input type="checkbox"/>
Geometalúrgicas	<input type="checkbox"/>
Geotécnicas	<input type="checkbox"/>
Leyes Productos	<input type="checkbox"/>
Leyes Coproductos	<input type="checkbox"/>
Leyes Subproductos	<input type="checkbox"/>
Leyes Contaminantes	<input type="checkbox"/>
Densidad	<input type="checkbox"/>
Tonelaje	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

7.2 Para el modelo de estimación ¿Qué tipo de modelo se generó?

Tamaño Fijo	<input type="checkbox"/>
Sub-Bloques	<input type="checkbox"/>
No Aplica	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

7.3 Para el modelo de geotécnico ¿Qué tipo de modelo se generó?

Tamaño Fijo	<input type="checkbox"/>
Sub-Bloques	<input type="checkbox"/>
No Aplica	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

7.4 Para el modelo de geometalúrgico ¿Qué tipo de modelo se generó?

Tamaño Fijo	<input type="checkbox"/>
Sub-Bloques	<input type="checkbox"/>
No Aplica	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

7.5 Explicar el uso que se hace de los modelos de recursos y quién es su “cliente”

Conciliación de Información

8.1 Parámetros Considerados

8.2 Unidad Básica de Conciliación

Temporalidad de Error Local	<input type="checkbox"/>
Temporalidad de Error Global	<input type="checkbox"/>
Error Relativo Mensual	<input type="checkbox"/>
Error Relativo Anual	<input type="checkbox"/>
Otro	<input type="checkbox"/>

8.3 ¿A qué nivel de conciliación (%), se llegó al utilizar estas prácticas de estimación de recursos?

Manual de Estimación

9.1 ¿Qué esperarías o le serviría que tuviera un manual guía de estimación de recursos?

9.2 ¿Cuál(es) es(son) la(s) etapa(s) que presenta(n) mayor(es) problemas?

Obtención de información (Mapeo, Muestreo, Base de datos)	<input type="checkbox"/>
Modelamiento Geológico	<input type="checkbox"/>
Estimación de Recursos	<input type="checkbox"/>
Clasificación de Recursos	<input type="checkbox"/>
Validación y Conciliación	<input type="checkbox"/>

Cuestionarios para consultoras

Adquisición y Gestión de Información

1.1 ¿Cuáles son los problemas más importantes a su juicio que está experimentando la industria minera en cuanto al proceso de adquisición y gestión de la información usada para la estimación de recursos mineros?

Uso de datos históricos	<input type="checkbox"/>
Oficialización de datos	<input type="checkbox"/>
Mantenimiento de inventarios	<input type="checkbox"/>
Poca cultura de importancia de la información	<input type="checkbox"/>
Existencia de elementos sin protocolos para su preparación	<input type="checkbox"/>
Uso de protocolos de otros yacimientos	<input type="checkbox"/>
Poca densidad de muestras geometalúrgicas	<input type="checkbox"/>
Protocolos deficientes en cuanto a la selección de muestras para ensayos de densidad	<input type="checkbox"/>
Errores en codificación al pasar de exploración a proyecto	<input type="checkbox"/>
Muestreos en minería subterránea	<input type="checkbox"/>
Falta de supervisión	<input type="checkbox"/>
Operadores no siguen protocolos	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

1.2 ¿Cuáles son los aspectos más importantes a su juicio en cuanto al proceso de adquisición y gestión de información?

Documentación	<input type="checkbox"/>
Calidad, competencia, trazabilidad y materialidad	<input type="checkbox"/>
Geólogo senior a cargo de las actividades	<input type="checkbox"/>
Encargado de base de datos interno	<input type="checkbox"/>
Validación de certificados e informes	<input type="checkbox"/>
Uso de laboratorios certificados	<input type="checkbox"/>
Protocolos y diseños de base de datos sustentados con hipótesis geológicas	<input type="checkbox"/>
QA/QC en todas las etapas llevado a cabo de manera proactiva	<input type="checkbox"/>
Tener una base de datos de calidad	<input type="checkbox"/>
Existencia de protocolos de mapeo para unificar criterios	<input type="checkbox"/>
Capturar tanto información de buena como de mala calidad (como respaldo)	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

Modelamiento Geológico

2.1 ¿Cuáles son los problemas más importantes a su juicio que está experimentando la industria minera en cuanto al proceso de modelamiento geológico?

Abuso de software de modelamiento	<input type="checkbox"/>
Dificultad para generar el modelo geometalúrgico	<input type="checkbox"/>
Existencia de barrera cultural tecnológica	<input type="checkbox"/>
Poco análisis de incertidumbre	<input type="checkbox"/>
Poca realización de conciliación geológica	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

2.2 ¿Cuáles son los aspectos más importantes a su juicio en cuanto al proceso de modelamiento geológico?

Tener una buena conceptualización e hipótesis geológicas	<input type="checkbox"/>
Buena documentación de criterios	<input type="checkbox"/>
Mejoramiento continuo de los modelos	<input type="checkbox"/>
Trabajo en equipo con geólogos de terreno	<input type="checkbox"/>
Interpretaciones sustentadas con información	<input type="checkbox"/>
Validación de criterios y construcción	<input type="checkbox"/>
Horizonte temporal	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

Estimación de Variables

3.1 ¿Cuáles son los problemas más importantes a su juicio que está experimentando la industria minera en cuanto al proceso de estimación variables?

Problema de documentación	<input type="checkbox"/>
Falta de estimación de densidad y geometalurgia en lugar de asignación directa	<input type="checkbox"/>
Falta de análisis de incertidumbre	<input type="checkbox"/>
Poco análisis de escenarios	<input type="checkbox"/>
Falta de análisis de tamaños de compósitos, o soporte de bloques	<input type="checkbox"/>
Otros	<input type="checkbox"/>

3.2 ¿Cuáles son los aspectos más importantes a su juicio en cuanto al proceso de estimación de variables?

Reproductibilidad	<input type="checkbox"/>
Cuantificación del sesgo de estimación	<input type="checkbox"/>
Validación de resultados	<input type="checkbox"/>
Análisis de resultados y decisiones	<input type="checkbox"/>
Documentación de criterios	<input type="checkbox"/>
Análisis de outliers y de contactos	<input type="checkbox"/>
Calibración de planes	<input type="checkbox"/>
Unidades diferentes para variables no correlacionadas	<input type="checkbox"/>
Evaluar suavizamiento	<input type="checkbox"/>
Trabajo en equipo con modeladores y geólogos de terreno	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

Categorización de Recursos

4.1 ¿Cuáles son los problemas más importantes a su juicio que está experimentando la industria minera en cuanto a la categorización de recursos?

Poco enfoque en la calidad	<input type="checkbox"/>
Mucho enfoque geométrico	<input type="checkbox"/>
Poco uso de metodologías cuantitativas	<input type="checkbox"/>
Mucha subjetividad	<input type="checkbox"/>
Dificultad para determinar umbrales de categorización	<input type="checkbox"/>
Posibilidad de manipular los resultados de categorización por solicitud del cliente	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

4.2 ¿Cuáles son los aspectos más importantes a su juicio en cuanto al proceso de categorización?

Documentación de criterios	<input type="checkbox"/>
Incorporación de experiencia de estimadores	<input type="checkbox"/>
Consideraciones de calidad de información	<input type="checkbox"/>
Consideraciones de calidad de la estimación (planes, parámetros, etc.)	<input type="checkbox"/>
Consideraciones de la calidad del modelamiento	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

Conciliación

5.1 ¿Cuáles son los problemas más importantes a su juicio que está experimentando la industria minera en cuanto al proceso conciliación de recursos?

Poca conciliación geológica	<input type="checkbox"/>
Poca conciliación metalúrgica	<input type="checkbox"/>
Poca comunicación entre corto y largo plazo	<input type="checkbox"/>
Dificultad para incorporar información del corto plazo al largo plazo	<input type="checkbox"/>
Dificultad para conciliar en minería subterránea (block caving)	<input type="checkbox"/>
Otros:	<input type="checkbox"/>

5.2 ¿Cuáles son los aspectos más importantes a su juicio en cuanto al proceso de conciliación?

Horizonte temporal	<input type="checkbox"/>
Unidad de conciliación	<input type="checkbox"/>
Herramienta y metodología utilizada	<input type="checkbox"/>
Mejoras en las etapas de estimación a partir de los resultados de conciliación	<input type="checkbox"/>
Otros	<input type="checkbox"/>

Anexos III – Respuestas de cuestionarios de mineras

Tabla 65. Respuestas individuales de los primeros 7 yacimientos respecto al muestreo, mapeo, QA/QC y análisis químico.

ID	Variabes de mapeo y análisis	Muestreo en terreno	Información utilizada	Tamaño de soporte	Elementos de QA/QC
1	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC10; AC11; AC12	3m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13
2	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC7; AC10; AC11; AC12	2m y 10m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13
3	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC10; AC11; AC12	3m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13
4	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC7; AC10; AC11; AC12	1.5m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13
5	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB2; AB3; AB5	AC1; AC4; AC5; AC6; AC7; AC10; AC11; AC12;	1.5m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD10; AD11; AD12
6	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB4	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC8; AC10; AC11; AC12	3m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13
7	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC10; AC11; AC12	3m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD12; AD13

Tabla 66. Respuestas individuales de los siguientes 6 yacimientos respecto al muestreo, mapeo, QA/QC y análisis químico.

ID	VARIABLES DE MAPEO Y ANÁLISIS	MUESTREO EN TERRENO	INFORMACIÓN UTILIZADA	TAMAÑO DE SOPORTE	ELEMENTOS DE QA/QC
8	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC10; AC11; AC12	2m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD12; AD13
9	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC6; AC10; AC11; AC12	2.5m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13
10	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC6; AC9; AC10; AC11; AC12	2m	AD1; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD12; AD13
11	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC7; AC10; AC11; AC12	2m	AD1; AD2; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13
12	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA8; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2; AC3; AC4; AC5; AC6; AC7; AC9; AC10; AC11; AC12	2m	AD1; AD2; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD12; AD13
13	AA1; AA2; AA3; AA4; AA5; AA6; AA7; AA9; AA10; AA11	AB1; AB2; AB3; AB5	AC1; AC2 AC5; AC6; AC7; AC8; AC9; AC10; AC11; AC12	2.5m	AD1; AD2; AD3; AD4; AD5; AD6; AD7; AD8; AD9; AD10; AD11; AD12; AD13

Tabla 67. Respuestas individuales respecto al muestreo, mapeo, QA/QC y análisis químico.

ID	Herramientas para el control de calidad	Procedimientos QA/QC	Porcentaje de datos sin QA/QC	Zonas con mayor cantidad de sondajes	Zonas con menor cantidad de sondajes
1	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF5; AF6; AF7; AF8	AG1	AH2	AI2; AI3
2	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH1; AH2; AH3	AI2; AI3
3	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF5; AF6; AF7	AG1	AH2	AI2
4	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH2	AI2; AI3
5	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH2	AI2; AI3
6	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH1; AH2	AI1; AI2; AI3
7	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH1; AH2	AI1; AI2; AI3
8	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF5; AF6; AF7; AF8	AG1	AH2; AH3	AI1; AI2; AI3
9	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH2; AH3	AI1; AI2
10	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF5; AF6; AF7; AF8	AG1	AH2; AH3	AI1; AI2; AI3
11	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AIG1	AH2; AH3	AI2; AI3
12	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH1; AH2; AH3	AI1; AI2; AI3
13	AE1; AE2; AE3; AE4; AE5; AE6	AF1; AF2; AF3; AF4; AF6; AF7; AF8	AG1	AH3	AI2

Tabla 68. Códigos de resultados para variables de mapeo y análisis en los yacimientos.

Variables de mapeo y análisis	Código
Alteración	AA1
Mineralización	AA2
Litología	AA3
Estructuras	AA4
Vetillas	AA5
Contaminantes	AA6
Productos principales	AA7
Subproductos o coproductos	AA8
Densidad	AA9
Metalúrgicas	AA10
Geotécnicas	AA11

Tabla 69. Códigos de resultados para tipos de muestreo llevados a cabo en terreno.

Muestreo en terreno	Código
Sondaje AR	AB1
Sondaje DDH	AB2
Pozos de tronadura	AB3
Labores subterráneas	AB4
Caras de banco	AB5

Tabla 70. Códigos de resultados para tipo de información utilizada y registrada.

Información utilizada y registrada	Código
Uso de fuentes de información regional	AC1
Utilización de mapas geológicos de superficies	AC2
Utilización de técnicas geofísicas	AC3
Comparación con objetivos cercanos	AC4
Uso de fotografía aérea	AC5
Registro de collares y topografía	AC6
Registro de niveles freáticos	AC7
Uso de datos de material quebrado	AC8
Perforaciones perpendiculares a estructuras*	AC9
Registro de desviaciones	AC10
Unificación de criterios geológicos	AC11
Registro de recuperación de testigos	AC12

Tabla 71. Códigos de resultados para elementos de QA/QC utilizados.

Elementos de QA/QC	Código
Estándares propios	AD1
Estándares adquiridos	AD2
Blancos gruesos	AD3
Blancos finos	AD4
Duplicados de testigos	AD5
Duplicados gruesos	AD6
Duplicados finos	AD7
Duplicados externos (enviados a diferentes laboratorios)	AD8
Sondajes gemelos	AD9
Test de heterogeneidad	AD10
Test de ingamells	AD11
Estándares con amplio rango de ley	AD12
Estándares para otros elementos	AD13

Tabla 72. Códigos de resultados de herramientas de control de calidad.

Herramientas para el control de calidad	Código
Histogramas	AE1
Estadísticas básicas	AE2
Error relativo	AE3
Coefficiente de variación	AE4
Diagramas de dispersión	AE5
Diagramas QQ	AE6

Tabla 73. Códigos de resultados de procedimientos de QA/QC utilizados por las mineras.

Procedimientos QA/QC	Código
Corrección o prevención de situaciones a partir de los resultados de los informes de QA/QC	AF1
Registro de elementos de control	AF2
Envío ciego de elementos de control	AF3
Definición de tolerancia de error para cada protocolo	AF4
Protocolos para leyes críticas	AF5
Control de rotulación y traslado de batch	AF6
Retroalimentación a laboratorios	AF7

Tabla 74. Código de datos sin QA/QC.

Datos sin QA/QC	Código
Información Histórica	AG1
Parte de la información actual	AG2

Tabla 75. Código de zonas con mayor cantidad de sondajes.

Zonas con mayor cantidad de sondajes	Código
Por ley	AH1
Por zonas próximas a explotar	AH2
Por variabilidad	AH3

Tabla 76. Código de zonas con menor cantidad de sondajes.

Zonas con menor cantidad de sondajes	Código
Por ley	AI1
Zonas periféricas	AI2
Explotación a Largo Plazo	AI3

Tabla 77. Respuestas individuales de los primeros 5 yacimientos respecto al diseño y gestión de la base de datos.

ID	Base de datos	Aspectos de base de datos	Precauciones y chequeos	Software
1	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM2
2	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL2; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM2
3	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL2; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM2
4	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL2; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM2
5	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL2; AL3; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM2

Tabla 78. Respuestas individuales de los siguientes 8 yacimientos respecto al diseño y gestión de la

ID	Base de datos	Aspectos de base de datos	Precauciones y chequeos	Software
6	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM2
7	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1
8	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL2; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM4
9	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL2; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1
10	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1; AM3
11	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1
12	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24; AJ25	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1
13	AJ1; AJ2; AJ3; AJ4; AJ5; AJ6; AJ7; AJ8; AJ9; AJ10; AJ11; AJ12; AJ13; AJ14; AJ15; AJ16; AJ17; AJ18; AJ19; AJ20; AJ21; AJ22; AJ23; AJ24	AK1; AK2; AK3; AK4; AK5; AK6	AL1; AL2; AL3; AL4; AL5; AL6; AL7; AL8; AL9; AL10	AM1

Tabla 79. Respuestas individuales respecto al porcentaje de revisión de base de datos, encargado de la empresa y protocolos de oficialización.

ID	Porcentaje de revisión de base de datos	Encargado	Protocolo de oficialización
1	10% histórica; 100% Actual	No hay encargado	Sí
2	10% histórica; 100% Actual	Geólogo interno la dirige, y analista la operativiza	Sí
3	10% histórica; 100% Actual	Ingeniero interno especialista en base de datos	Sí
4	10% histórica; 100% Actual	Interno	Sí
5	10% histórica; 100% Actual	Analista interno de base de datos	Sí
6	10% histórica; 100% Actual	Ing. Civil Industrial Interno	Sí
7	10% histórica; 100% Actual	Geólogo y especialista de base de datos interno	Sí
8	10% histórica; 100% Actual	Geólogo y especialista de base de datos interno	Sí
9	10% histórica; 100% Actual	Geólogo y especialista de base de datos interno	Sí
10	10% histórica; 100% Actual	Geólogo interno y especialista externo	Sí
11	10% histórica; 100% Actual	Geólogo y especialista de base de datos interno	Sí
12	10% histórica; 100% Actual	Analista interno de base de datos	Sí
13	15 a 20 % histórica; 100% Actual	Geólogo y especialista de base de datos interno	Sí

Tabla 80. Código de resultados de variables presentes en la base de datos.

Variables base de datos	Código	Variables base de datos	Código
Campaña	AJ1	Certificados	AJ14
Año	AJ2	Leyes	AJ15
ID de información	AJ3	Densidad	AJ16
Geólogo o registrador de información	AJ4	Alteración	AJ17
Tipo de información	AJ5	Litología	AJ18
Dimensiones de datos	AJ6	Mineralización	AJ19
Intervalos de muestra	AJ7	Estructuras	AJ20
Posición de collares	AJ8	Contaminantes	AJ21
Trayectorias	AJ9	Geo metalurgia	AJ22
Desviaciones	AJ10	Geotecnia	AJ23
Recuperaciones	AJ11	Ensayos metalúrgicos	AJ24
Ensayos	AJ12	Leyes subproductos y coproductos	AJ25
Fotografías	AJ13		

Tabla 81. Códigos de resultados sobre aspectos a considerar para el diseño de la base de datos.

Aspectos de base de datos	Código
Estructura	AK1
Robustez	AK2
Integridad	AK3
Coherencia	AK4
Seguridad	AK5
Protocolos	AK6

Tabla 82. Código de resultados de precauciones y chequeos que hay que tener con la base de datos.

Precauciones y chequeos	Código
Chequeo de entradas	AL1
Protección de entradas ilógicas (Ej. Que automáticamente no se permita ingresar una ley negativa)	AL2
Consistencia de leyes	AL3
Consistencia de collares con topografía	AL4
Chequeo de valores faltantes	AL5
Chequeo de outliers	AL6
Chequeo de resultados de ensayos con hojas de laboratorio	AL7
Identificación de las muestras	AL8
Respaldo físico de la información	AL9
Respaldo digital	AL10

Tabla 83. Códigos de resultados de software utilizados para la gestión de la base de datos.

Software	Código
AcQuire	AM1
Xilab	AM2
Micro cube	AM3
Shape Metrics	AM4

Tabla 84. Respuestas individuales de los yacimientos respecto al modelamiento geológico.

ID	Enfoque de modelamiento	Atributos geológicos	Delimitación de unidades
1	BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB3	BC4
2	BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB5	BC1; BC4
3	BA1; BA2; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB5; BB6; BB7; BB8	BC4
4	BA1; BA2; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB6; BB7	BC1; BC4; BC5
5	BA2	BB1; BB2; BB4	BC1; BC4
6	BA1; BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB7; BB9	BC4
7	BA1; BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB5; BB6; BB7	BC1, BC4
8	BA1; BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB7	BC1; BC4; BC5
9	BA1; BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB7; BB8	BC4
10	BA1; BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB5; BB6; BB7; BB8	BC4; BC5
11	BA1; BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB5; BB7	BC1; BC4
12	BA1; BA2; BA3; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB7	BC4
13	BA1; BA2; BA4	BB1; BB2; BB3; BB4; BB5; BB7; BB8	BC5

Tabla 85. Continuación de respuestas individuales de los yacimientos respecto al modelamiento geológico.

ID	Validaciones	Revisiones	Software	Central
1	BD2; BD5; BD6; BD7	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE11; BE12	BF1	Sí
2	BD1; BD2; BD3; BD5; BD6;	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE11; BE12	BF1	Sí
3	BD2; BD5; BD6	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE11; BE12	BF1	Sí
4	BD1; BD2; BD5; BD6	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE11; BE12	BF1; BF2	Sí
5	BD1; BD2; BD5	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE8; BE9; BE12	BF1; BF6	Sí
6	BD2; BD5	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE12	BF1	Sí
7	BD2; BD5; BD6	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE11; BE12	BF1	No
8	BD1; BD2; BD5; BD6	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE11; BE12	BF1	No
9	BD2; BD3; BD5	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE11; BE12	BF1	Sí
10	BD1; BD2; BD3; BD4; BD5; BD6; BD8	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE12	BF1	No
11	BD1; BD2; BD5; BD6 (se comenzará a realizar)	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE11; BE12	BF1	Sí
12	BD1; BD2; BD3; BD4; BD5; BD6; BD7	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE10; BE11; BE12	BF1	No
13	BD1; BD5; BD6	BE1; BE2; BE3; BE4; BE5; BE6; BE7; BE8; BE9; BE11; BE12	BF1; BF2; BF7	No

Tabla 86. Códigos de resultados de enfoques para el modelamiento geológico.

Enfoque de modelamiento	Código
Grade Shell	BA1
UG	BA2
UGT	BA3
UGMT	BA4

Tabla 87. Códigos de resultados de atributos geológicos modelados.

Atributos geológicos	Código
Litología	BB1
Mineralización	BB2
Alteración	BB3
Estructural	BB4
Pisos y techos	BB5
Vetillas	BB6
Leyes	BB7
Recuperación	BB8
Mena	BB9

Tabla 88. Código de resultados de herramientas utilizadas para la delimitación de unidades.

Delimitación de unidades	Código
Interpretación en plantas y secciones	BC1
Extrusión de polígonos	BC2
Triangulaciones	BC3
Modelamiento implícito	BC4
Kriging indicadores	BC5
Simulación geoestadística	BC6

Tabla 89. Código de resultados de validaciones realizadas al modelo geológico.

Validaciones	Código
Secciones de control	BD1
Backflag	BD2
Análisis de proporciones	BD3
Reinterpretación con menos datos	BD4
Revisión de consistencia entre datos y modelo	BD5
Evaluación de predicción con nueva información (conciliación)	BD6
Simulaciones	BD7
Diagrama tornado	BD8

Tabla 90. Código de resultados de revisiones que se realizan al proceso de modelamiento geológico.

Revisiones	Código
Revisión zonas aisladas o geometrías extrañas	BE1
Aseguramiento de la integridad de los datos antes de comenzar con el modelo geológico	BE2
Revisión de relaciones entre la litología, mineralización, estructuras, etc.	BE3
Revisión de las practicas del modelamiento y criterios de interpretación	BE4
Revisión del mapeo para los contactos de las unidades	BE5
Corrección de los contactos cuando se encuentran corridos respecto a los datos	BE6
Revisión de unidades no modelables	BE7
Análisis de la cronología de los eventos	BE8
Guía de interpretación	BE9
Determinación de zonas con mayor potencial de variabilidad	BE10
Pintado de datos	BE11
Comparación con modelos anteriores	BE12

Tabla 91. Código de resultados de softwares utilizados para construir el modelo geológico.

Software	Código
Leapfrog Geo	BF1
Vulcan	BF2
Minesight	BF3
Micromine	BF4
Gems	BF5
Datamine	BF6
ISATIS	BF7

Tabla 92. Respuestas individuales respecto a la Estimación de Recursos.

ID	Variables estimadas	Herramientas de análisis estadístico y separación de unidades	Atributos que controlan la UE	Identificación de outliers
1	CA1; CA2; CA3; CA4; CA5	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC2; CC3; CC7	CD1
2	CA1; CA2; CA3; CA4; CA5	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2; CC5	CD1
3	CA1; CA2; CA3; CA4; CA5	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC2; CC3; CC5; CC7	CD1; CD6
4	CA1; CA3; CA4; CA2; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC3; CC4; CC6	CD1; CD2
5	CA1; CA2; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB7	CC1; CC4	CD1
6	CA1; CA2; CA3; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2	CD1
7	CA1; CA2; CA3; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2	CD1; CD2
8	CA1; CA2; CA3; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC2; CC3; CC4	CD1; CD2
9	CA1; CA2; CA3; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2; CC3	CD1
10	CA1; CA2; CA3; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2; CC4; CC7	CD1; CD6
11	CA1; CA2; CA3; CA4; CA5	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2; CC3; CC4; CC7	CD1
12	CA1; CA2; CA3; CA4; CA5	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2; CC3	CD1; CD2; CD6
13	CA1; CA2; CA3; CA4	CB1; CB2; CB3; CB4; CB5; CB6; CB7	CC1; CC2; CC3; CC4; CC5	CD3; CD4; CD5

Tabla 93. Continuación de respuestas individuales de los primeros 9 yacimientos respecto a Estimación de Recursos.

ID	Tratamiento de outliers	Criterio de composición	Tamaño compósito	Herramienta variográfica	Herramienta de estimación
1	CE2; CE5	CF1	7 y 15m	CG2	CH4; CH5
2	CE5	CF1; CF2; CF4	6, 10 y 15m	CG1; CG2; CG3	CH4; CH6; CH7
3	CE2; CE5	CF3	3m	CG1; CG2	CH3; CH4; CH5
4	CE2; CE5	CF1; CF2	1m	CG2	CH3; CH4; CH6
5	CE2; CE5	CF3	1.5m	CG2	CH4
6	CE5	CF4	6m	CG2	CH4
7	CE1; CE2; CE5	CF1	15m	CG1; CG2	CH2; CH3; CH4
8	CE2; CE5	CF1	15m	CG2	CH4; CH5; CH9
9	CE5	CF1	2.5m	CG2	CH4

Tabla 94. Continuación de respuestas individuales de los siguientes 4 yacimientos respecto a Estimación de Recursos.

ID	Tratamiento de outliers	Criterio de composición	Tamaño compuesto	Herramienta variográfica	Herramienta de estimación
10	CE2; CE5	CF1; CF2; CF3	6 y 15m	CG2	CH2; CH4; CH5; CH6
11	CE2; CE5	CF1; CF2; CF4	4 y 5m	CG2	CH2; CH3; CH4; CH6; CH8
12	CE2; CE5	CF1	6m	CG1; CG2	CH4; CH5; CH6, CH9
13	CE2; CE3	CF1	5m	CG2	CH2; CH3; CH5; CH6

Tabla 95. Continuación de respuestas individuales para los yacimientos respecto a Estimación de Recursos.

ID	Plan de estimación	Validación del modelo	Tamaño de bloques	Revisiones y chequeos	Software
1	CI3; CI4; CI5; CI11	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ9; CJ11	CK3	CL1; CL2	CM2; CM5
2	CI3; CI4; CI5; CI9; CI10	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ9; CJ11	CK3; CK4	CL1; CL2; CL3	CM2
3	CI3; CI4; CI5	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ7; CJ8; CJ9; CJ11 CJ12;	CK3	CL1; CL2	CM2; CM5
4	CI3; CI4; CI10	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ9; CJ11	CK1	CL1; CL2	CM2
5	CI4; CI5; CI6	CJ1; CJ2; CJ5; CJ6; CJ9	CK1	CL1; CL2	CM6
6	CI3; CI4; CI5	CJ1; CJ4; CJ5; CJ6; CJ9; CJ11	CK3	CL1; CL2	CM2; CM5
7	CI2; CI3; CI4; CI5; CI7; CI11	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ9; CJ11	CK3	CL1; CL2; CL3	CM2; CM5
8	CI2; CI3	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ7; CJ9; CJ10; CJ11; CJ12	CK3	CL1; CL2; CL3	CM6
9	CI3; CI4; CI5	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ9; CJ11	CK3	CL1; CL2; CL3	CM2
10	CI3; CI4; CI5; CI7; CI9; CI11	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ8; CJ9; CJ10; CJ11; CJ12; CJ14; CJ15	CK2; CK3; CK5	CL1; CL2; CL3	CM2; CM5
11	CI3; CI4; CI5; CI6; CI11	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ9; CJ11; CJ13	CK3	CL1; CL2; CL3	CM2
12	CI3; CI7; CI8; CI9; CI10	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ6; CJ7; CJ8; CJ9; CJ10; CJ11 CJ12	CK3	CL1; CL2; CL3	CM2; CM5; CM7
13	CI1; CI2; CI3; CI4; CI5; CI6; CI7; CI8; CI9	CJ1; CJ2; CJ3; CJ4; CJ5; CJ8; CJ9	CK2; CK3	CL1; CL2; CL3	CM2

Tabla 96. Códigos de respuestas de variables estimadas.

Variables Estimadas	Código
Leyes principales	CA1
Subproductos	CA2
Contaminantes	CA3
Metalúrgicas	CA4
Densidad	CA5

Tabla 97. Códigos de respuestas de herramientas para el análisis estadístico y la separación de unidades.

Herramientas para análisis estadístico y separación de unidades	Código
Desagrupamiento	CB1
Diagramas QQ	CB2
Leyes medias	CB3
Gráfico de derivas	CB4
Gráfico de cajas	CB5
Gráficos de distribución de probabilidad	CB6
Gráficos de contactos	CB7

Tabla 98. Códigos de respuestas de atributos que controlan la ley en el yacimiento.

Atributos que controlan la ley	Código
Litología	CC1
Mineralización	CC2
Alteración	CC3
Estructural	CC4
Pisos y techos	CC5
Vetillas	CC6
Zona mineral	CC7

Tabla 99. Códigos de resultados de herramientas utilizadas para la identificación de outliers.

Identificación de Outliers	Código
Análisis de gráficos de probabilidad	CD1
Análisis de histogramas	CD2
Test de Grubs	CD3
Test de Rosner	CD4
Test de Skewnest	CD5
Análisis Locales	CD6

Tabla 100. Códigos de resultados de tratamientos para los datos outliers.

Tratamiento de Outliers	Código
Eliminarlos (omitirlos)	CE1
Capping	CE2
Mean substitution	CE3
Regresión	CE4
Restricción en el radio de búsqueda para datos outliers	CE5

Tabla 101. Códigos de resultados para criterios de composición.

Criterio de Compósito	Código
Operacional	CF1
Resolución	CF2
Soporte	CF3
Análisis de tamaño	CF4

Tabla 102. Códigos de resultados de herramientas variográficas utilizadas para la identificación de las direcciones de continuidad.

Herramienta Variográfica	Código
PairWise	CG1
Tradicional	CG2
Otra	CG3

Tabla 103. Código de resultados de metodologías utilizadas para la estimación de variables.

Metodología de estimación	Código
Polígonos o poliedros de influencia	CH1
Inverso de la distancia	CH2
Kriging simple	CH3
Kriging ordinario	CH4
Co-kriging	CH5
Kriging indicadores	CH6
Vecino más cercano	CH7
Simulación geoestadística	CH8
Condicionamiento uniforme	CH9

Tabla 104. Códigos de resultados de parámetros utilizados para el plan de estimación.

Plan de estimación	Código
Vecindad Única	C11
Vecindad Móvil	C12
Vecindad Móvil Incremental (pasadas)	C13
Número mínimo de muestras en total	C14
Número máximo de muestras por sondaje	C15
Búsqueda por sectores angulares (octantes)	C16
Selección de radio según variograma de leyes	C17
Selección de radio según malla de muestreo	C18
Selección de radio por geometría/geología	C19
Dirección de deriva y radios pequeños	C110
KNA	C111

Tabla 105. Códigos de resultados de validaciones y revisiones realizadas a la tapa de estimación de variables.

Validación del modelo	Código
Estadísticas de estimaciones vs muestras	CJ1
Swath plots	CJ2
Análisis de contacto del modelo de bloques	CJ3
Suavizamiento no excesivo	CJ4
Inspección visual de leyes de bloques vs muestras	CJ5
Comparación con modelos previos	CJ6
Validación cruzada	CJ7
Jack-knife	CJ8
Evaluación de predictibilidad y conciliación con datos de producción	CJ9
Revisión de errores en el tiempo	CJ10
Revisión de compatibilidad de atributos	CJ11
Vecino más cercano	CJ12
HERCO	CJ13
Análisis con menos sondajes	CJ14
Bootstrap	CJ15
K-Fold	CJ16

Tabla 106. Códigos de resultados del nivel de detalle utilizado en la estimación.

Nivel de detalle	Código
Según geometría de mineralización	CK1
Complejidad en los contactos	CK2
Según diseño y método de explotación	CK3
Según distancia de datos	CK4
Según dilución	CK5

Tabla 107. Códigos de resultados de revisiones y chequeos de la estimación.

Revisiones y chequeos	Código
Registro de criterios e información utilizada en el proceso de estimación	CL1
Sentido geológico en la definición de UE	CL2
Evaluación de incertidumbre del tonelaje y ley	CL3

Tabla 108. Códigos de resultados de softwares utilizados para la estimación.

Software	Código
Gems	CM1
Vulcan	CM2
Micromine	CM3
Leapfrog Edge	CM4
Isatis	CM5
Datamine	CM6
Gslib	CM7

Tabla 109. Respuestas individuales de los yacimientos respecto a categorización de recursos.

ID	Enfoque de categorización	Herramientas de categorización	Nivel de error, confianza y volumen (medidos)	Nivel de error, confianza y volumen (Indicados)
1	DA7; DA8	DB2; DB5	No sabe	No sabe
2	DA7; DA8	DB1; DB2; DB9	No aplica	No aplica
3	DA7; DA8	DB11	No aplica	No aplica
4	DA7; DA8	DB1; DB2; DB9	Falta info	Falta info
5	DA1; DA7; DA8	DB2; DB5; DB8	No Aplica	No Aplica
6	DA7; DA8	DB2; DB12	No Aplica	No Aplica
7	DA1; DA3; DA4; DA6; DA7; DA8	DB5; DB10	5%; 90%; anual	No aplica
8	DA1; DA3; DA4; DA5; DA6; DA8	DB10	15%, 90%, Mensual	15%, 90%, Anual
9	DA7; DA8	DB2; DB5; DB8; DB10	No aplica	No aplica
10	DA7; DA8	DB1; DB2; DB9	5% anual	No aplica
11	DA7; DA8	DB1; DB2; DB5; DB9; DB10	No aplica	No aplica
12	DA1; DA3; DA4; DA5; DA7; DA8	DB1; DB2; DB5; DB8; DB9; DB10	5%, 95%; anual	15%; 95%; anual
13	DA1; DA2; DA3; DA4; DA5; DA7; DA8	DB1; DB3; DB4; DB5; DB6; DB7; DB9	5%; 95%; trimestral	5%; 70%; trimestral

Tabla 110. Continuación de resultados individuales de los yacimientos respecto a categorización de recursos.

ID	Malla (medidos)	Malla (indicados)	Corrección de salt and pepper	Variable considerada
1	20x20m a 50x50m	50x50m a 70x70m	Suavizamiento	Producto principal
2	50x50m a 55x55m	60x60m a 90x90m	Suavizamiento	Producto principal
3	Variable	Variable	Suavizamiento	Producto principal
4	Sin respuesta	Sin respuesta	Suavizamiento	Producto principal
5	50x50m	100x100m	Ajuste de plan	Producto principal
6	No aplica	No Aplica	Suavizamiento	Producto principal
7	Sin respuesta	Sin respuesta	Suavizamiento	Producto principal
8	Variable	Variable	Suavizamiento	Producto principal
9	Variable	Variable	Suavizamiento	Producto principal
10	<70x70m	<150x150m	Suavizamiento	Producto principal
11	70x70m	100x100m	Suavizamiento	Producto principal
12	Variable	Variable	Ajuste del plan	Producto principal
13	50x50 a 60x60	80x80 a 100x100	Suavizamiento	Producto principal

Tabla 111. Códigos de resultados sobre los enfoques de categorización.

Enfoques de categorización	Código
Calidad de datos (Existencia de Registros, QA/QC, certificados, etc.)	DA1
Interpretación de UG's y UE's	DA2
Incertidumbre de leyes	DA3
Incertidumbre de tonelajes	DA4
Incertidumbre de cantidad de metal en periodos mensuales y anuales	DA5
Impacto de leyes de corte sobre tonelaje y ley	DA6
Densidad de Información	DA7
En función del producto principal	DA8

Tabla 112. Código de resultados de herramientas para categorizar recursos.

Herramientas	Código
Distancia al sondaje (los sondajes) más cercano(s)	DB1
Malla de sondajes	DB2
Varianza de kriging	DB3
Simulación no – condicional y malla de sondajes	DB4
Simulación condicional y malla de sondajes	DB5
Simulación condicional y métricas de incertidumbre en volúmenes móviles	DB6
Varianza de Kriging con malla de sondajes	DB7
Malla equivalente con malla de sondajes	DB8
Número de muestras	DB9
Harry Parker	DB10
Sampling Density Variance	DB11
Pasadas	DB12

Tabla 113. Respuestas individuales de los yacimientos respecto al modelo de bloques.

ID	Variables modelo de bloques	Tipo de modelo de estimación	Tipo de modelo geotécnico	Tipo de modelo geometalúrgico
1	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
2	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
3	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
4	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
5	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
6	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
7	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
8	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
9	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Tamaño fijo	Tamaño fijo	Tamaño fijo
10	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
11	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Tamaño fijo	Subbloqueo y Rebloqueo
12	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo	Subbloqueo y Rebloqueo
13	EA1; EA2; EA3; EA4; EA5; EA6; EA7; EA8; EA9; EA10; EA11; EA12; EA13	Subbloqueo y Rebloqueo	No aplica	Subbloqueo y Rebloqueo

Tabla 114. Respuestas individuales de los yacimientos respecto a la conciliación del modelo.

ID	Parámetros para conciliar	Unidad básica de conciliación	Nivel de conciliación	Herramienta corto plazo
1	EB1; EB2	EC1; EC2; EC3; EC5	3% anual	ED2; ED5
2	EB1; EB2; EB3; EB4; EB5	EC1; EC2; EC3; EC5	3% anual	ED1; ED5
3	EB1; EB2; EB3	EC1; EC2; EC3; EC5	3% anual	ED2; ED5
4	EB1; EB5	EC1; EC2; EC3; EC5	5% anual	ED2; ED5
5	EB1; EB4; EB5; EB6	EC1; EC2; EC3; EC5	5% anual	ED3; ED4
6	EB1; EB2; EB3; EB5	EC5	0.2% anual	ED2; ED5
7	EB1; EB2; EB3; EB4; EB5; EB6	EC1; EC2; EC3; EC4; EC5	2% anual	ED2; ED5
8	EB1; EB2; EB3; EB4; EB5	EC1; EC2; EC3; EC5	0.18% anual	ED3; ED4
9	EB1; EB2; EB3; EB5; EB6	EC1; EC2; EC3; EC5	3% anual	ED5 (no hay modelo geológico de CP)
10	EB1; EB2; EB3; EB4; EB5; EB6	EC1; EC2; EC3; EC4; EC5	4% anual	ED1; ED5
11	EB1; EB2; EB%; EB6	EC1; EC2; EC3; EC5	5% anual	ED2; ED5
12	EB1; EB4	EC1; EC2; EC3; EC4; EC5	5% anual	ED2; ED5; ED6
13	EB1; EB2; EB3; EB4; EB5; EB6	EC1; EC2; EC3; EC4; EC5	5% anual	ED2; ED5

Tabla 115. Códigos de resultados de variables presentes en el modelo de bloques.

Variables modelo de bloques	Código
ID	EA1
Posición	EA2
Muestras	EA3
UG	EA4
UE	EA5
UGT	EA6
UGMT	EA7
Resultados geo metalúrgicos	EA8
Resultados pruebas especiales	EA9
Leyes productos	EA10
Leyes subproductos-coproductos	EA11
Leyes contaminantes	EA12
Densidad	EA13

Tabla 116. Códigos de resultados de parámetros conciliados.

Parámetros para conciliar	Código
Productos principales	EB1
Subproductos-Coproductos	EB2
Contaminantes	EB3
Geológica	EB4
Ley de corte	EB5
Geo metalurgia	EB6

Tabla 117. Códigos de resultados de unidades básicas de conciliación.

Unidad básica de conciliación	Código
Diaria	EC1
Semanal	EC2
Mensual	EC3
Trimestral	EC4
Anual	EC5
Operacional	EC6

Tabla 118. Códigos de resultados para herramientas de modelos de corto plazo.

Herramienta corto plazo	Código
Leapfrog (modelo)	ED1
Vulcan (modelo)	ED2
Datamine (modelo)	ED3
Datamine (estimación)	ED4
Vulcan (estimación)	ED5
Isatis	ED6