

Seminario “Competencias en Recursos y Reservas Mineras”

Estimación de Recursos

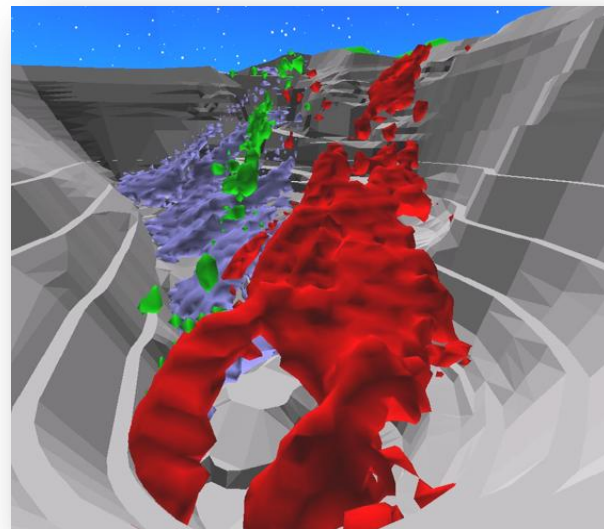
Dr. Marcelo Godoy

11 de Mayo 2009



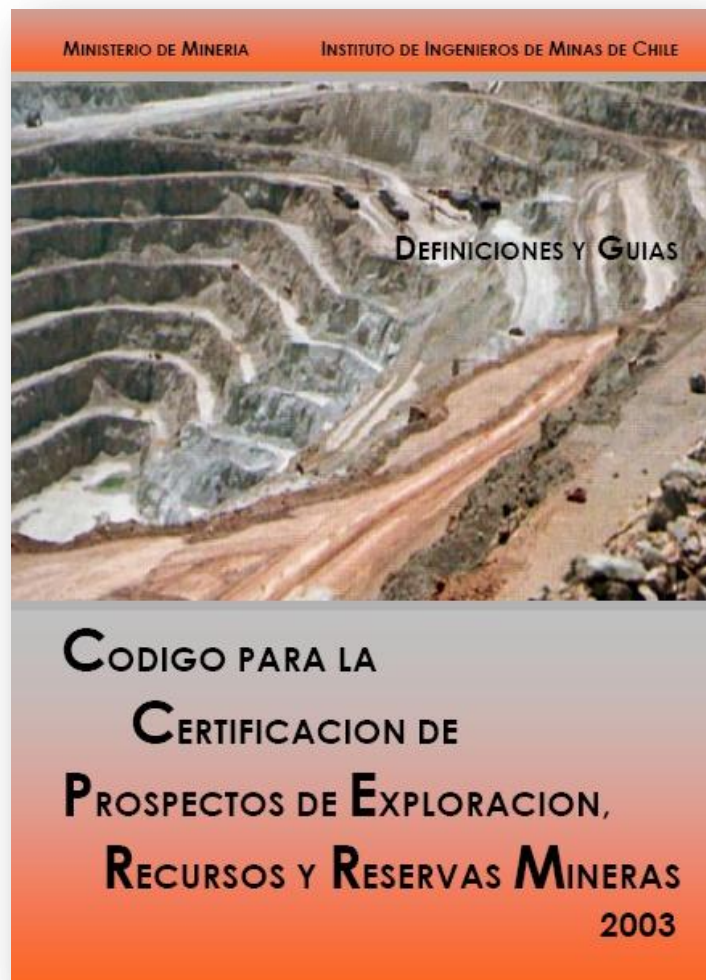
Tabla de Contenidos

- Definiciones y Guías
- Objetivos y Desafíos de la Estimación de Recursos
- Equipo de Trabajo
- Etapas de una Estimación de Recursos
- Métodos para la Estimación de Leyes
- Categorización de Recursos
- Declaración de Recursos
- Conversión de Recursos a Reservas
- Documentación y Trazabilidad de Auditoria
- Problemas Comunes
- Conclusiones





Código para la Certificación de Recursos y Reservas Mineras



Este código sintetiza la práctica actual de la industria minera con respecto a estándares y normas que se aplican a prospectos, recursos, y reservas mineras con el propósito de informar públicamente sobre instrumentos financieros derivados de estos activos mineros en los mercados de capital.

Estas normas siguen lineamientos ya adoptados y aplicados por mercados de capitales de países que se distinguen por contar con sectores mineros dinámicos y pujantes como son los de Australia, Canadá, Sudáfrica, el Reino Unido, y otros.



¿Qué hace el Código?

- Establece un lenguaje específico para reportar resultados de Exploración y de estimaciones de Recursos y Reservas Mineras.
- Establece estándares mínimos para el reporte público de resultados de estimaciones de Recursos y Reservas Mineras.
- Proporciona un sistema para la categorización de las estimaciones según la confiabilidad en las consideraciones geológicas, mineras y técnico-económicas.
- Establece los requerimientos mínimos de calificación para Personas Competentes.
- Entrega una lista de resumen de los principales criterios a ser considerados al preparar reportes sobre Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Mineras.



¿Cuales son los principios del Código?

- **Transparencia**

Presentación clara, oportuna e inequívoca de la información.

- **Materialidad**

Toda la información relevante debe estar razonablemente dispuesta y accesible.

- **Competencia**

Requiere que el informe público se base en trabajo que es de responsabilidad de una persona debidamente calificada y con experiencia en el tipo y estilo de depósito que se está informando.



¿Qué es un Recurso Minero?

El **Recurso Minero** es una concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico, u orgánico fosilizado terrestre de tal forma, cantidad, y calidad que existe una razonable apreciación acerca de su potencial técnico-económico. La localización, tonelajes, contenidos, características geológicas, y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida, o interpretada a partir de específicas evidencias geológicas, metalúrgicas, y tecnológicas.

El término Recurso Minero cubre mineralizaciones y materiales naturales de interés económico intrínseco los cuales han sido identificados y estimados a través de actividades de exploración, reconocimiento, y muestreo. De acuerdo al grado de confiabilidad existente, los recursos se clasifican en Medidos, Indicados, e Inferidos.

“El modelo de Recursos es la base sobre la cual todo estudio minero se sustenta”



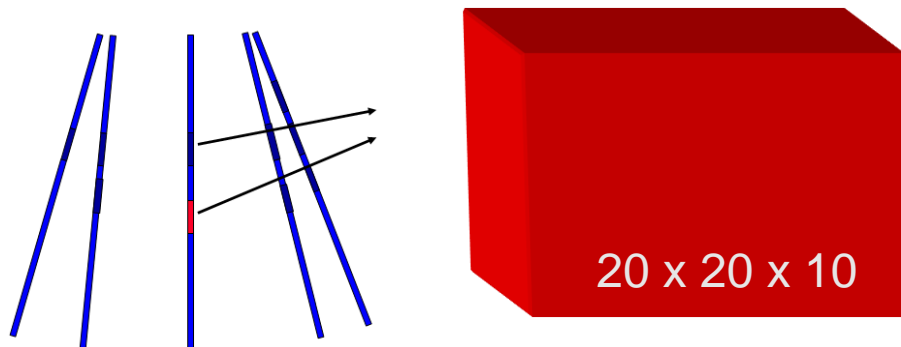
Objetivos de la Estimación de Recursos

- Obtener una estimación sin sesgo en volúmenes, leyes, tonelajes y cantidad de metal o mineral
- Realizar la categorización de los recursos en la categorías de Medido, Indicado e Inferido de acuerdo al nivel de confianza en la estimación
- Producir un modelo de bloques adecuado para el desarrollo de Reservas Mineras



Desafíos de la Estimación de Recursos

- Es dependiente de la calidad de los datos
- Es dependiente de la calidad del modelo geológico
- Es limitada por el número de muestras disponibles
- Es difícil determinar la confianza en los valores estimados
- El soporte de los bloques es mucho mayor que lo de las muestras





Desafíos de la Estimación de Recursos

- Diferentes métodos y/o parámetros producen diferentes resultados
- Las suposiciones deben ser claramente señaladas y sus impactos en los resultados de la estimación deben ser evaluados y documentados
- Requiere un procedimiento que sea repetible y auditable
- Debe ser enfocada al “producto” (relacionado a reservas)
- Toma tiempo producir una buena estimación de Recursos
- Toma tiempo chequear (y validar) un modelo
- Toma tiempo documentar el proceso y sus resultados



Equipo de Trabajo – Estimación de Recursos

- **La estimación de Recursos requiere un equipo multidisciplinario:**
 - Geólogo de Recursos
 - Geoestadístico
 - Ingeniero de Minas
 - Metalurgista

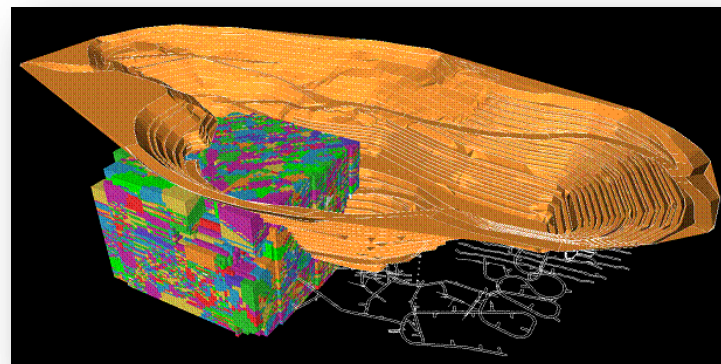
- **La estimación de Recursos requiere:**
 - Trabajo en equipo
 - Opinión de expertos para temas específicos
 - Técnicas validas y apropiadas
 - Datos de alta calidad
 - Que los resultados sean producidos en una forma usable.



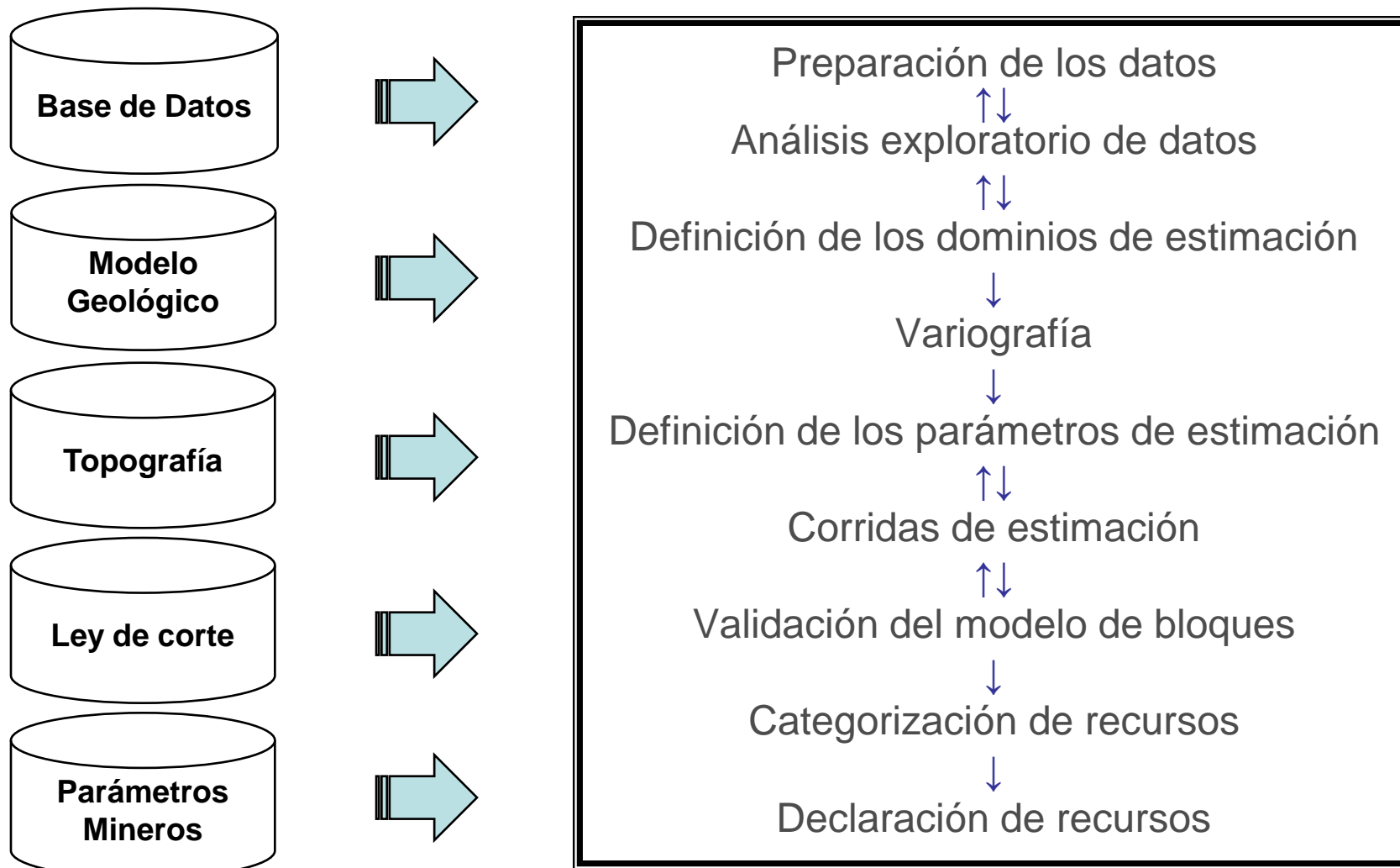
Metodologías para la Estimación de Recursos

La práctica de la estimación de Recursos cubre desde metodologías basadas solo en información estadística convencional (seccional, polígonos, inverso de la distancia) hasta aquellas que introducen las características espaciales de los datos capturados in-situ (kriging y sus variantes).

...las estimaciones no constituyen determinaciones ni cálculos precisos ya que la información capturada y utilizada es restringida. Estas estimaciones constituyen valores esperados.



Etapas de una Estimación de Recursos





Preparación de Datos – Integridad de datos

La integridad de los datos debe ser verificada al inicio de los trabajos.

Problemas típicos:

- Corrupción de datos
- Datos desaparecidos
- Introducción de errores de redondeo
- Problemas de duplicación de datos

Los chequeos deben incluir:

- Conteos
- Estadísticas básicas
- Verificar la exactitud de valores extremos



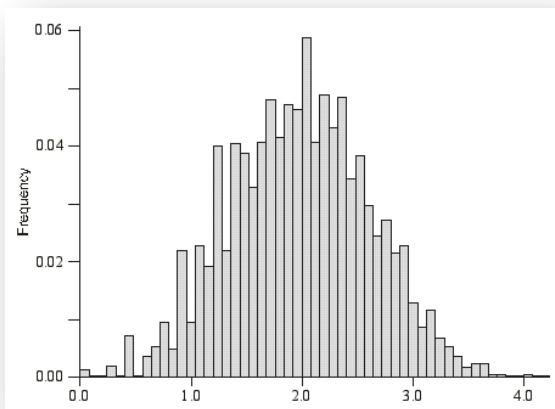


Análisis Exploratorio de Datos (EDA)

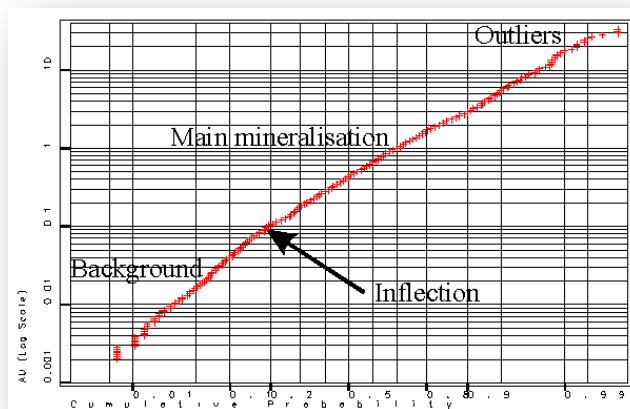
El EDA trata con la **organización**, **resumen** y **presentación** de los datos.

El objetivo es investigar los controles geológicos existentes sobre la distribución de leyes en el yacimiento.

El resultado de este proceso es la definición de los dominios de estimación y de otros parámetros y estrategias de estimación.



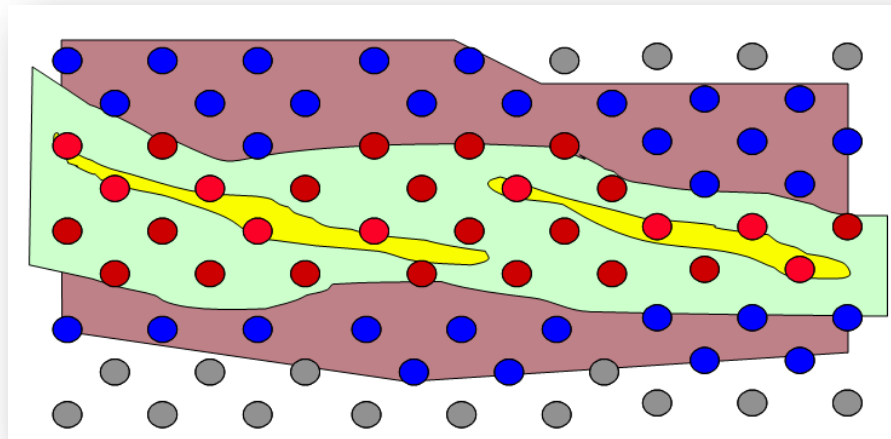
Histograma





Relaciones Espaciales

- Las relaciones espaciales son inherentes a los datos geológicos.
- Las técnicas geoestadísticas se usan para caracterizarlos.

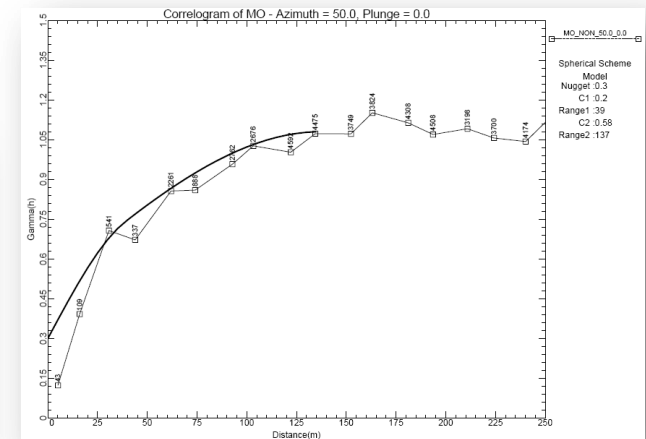
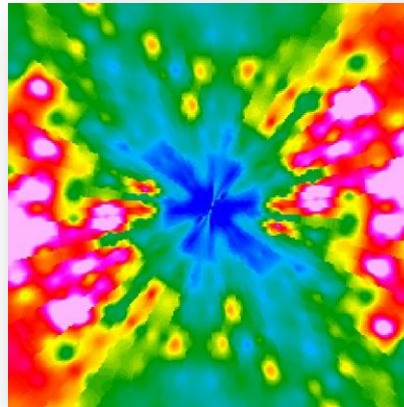
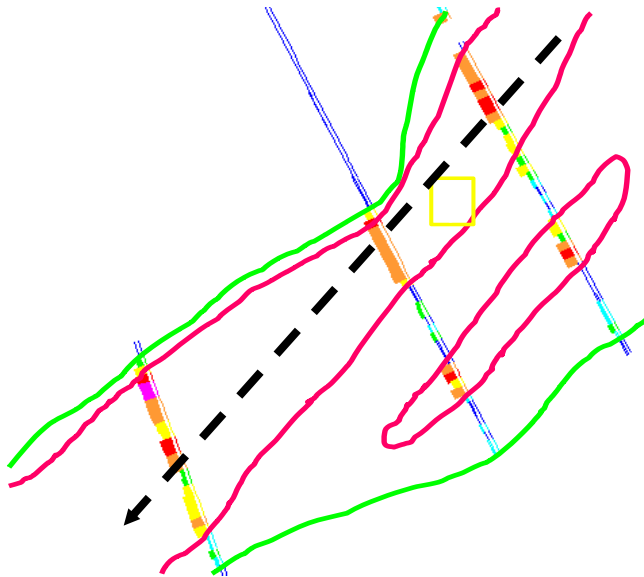


Zonas de alta ley en un cuerpo mineralizado



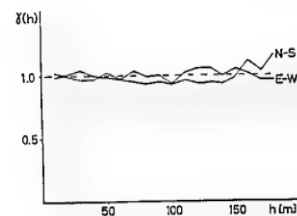
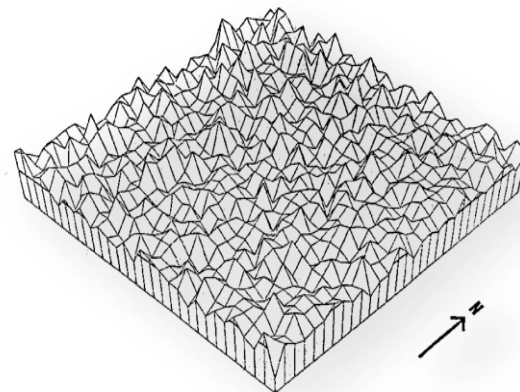
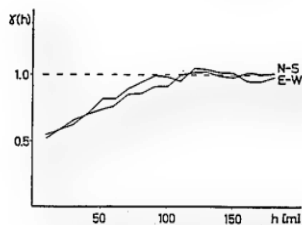
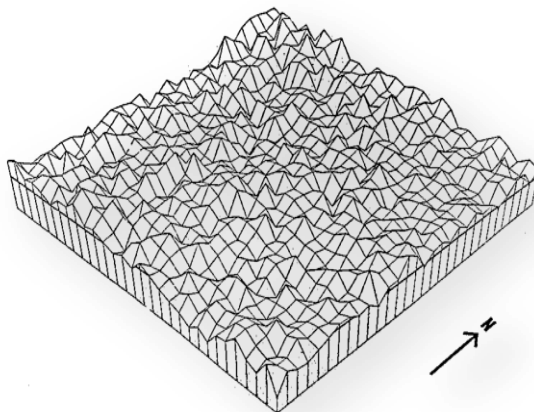
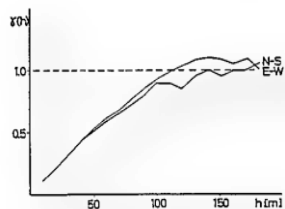
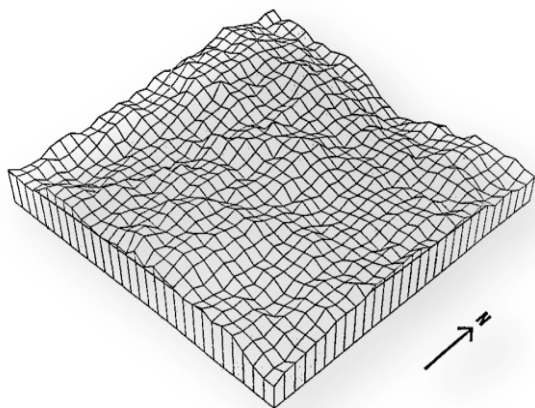
Variografía

- El variograma es la herramienta básica de la geoestadística y nos permite modelar la continuidad espacial.
- Los objetivos son establecer las principales direcciones de continuidad y proporcionar los parámetros requeridos para la estimación de leyes.





Variografía





Métodos de Estimación

■ Métodos de estimación comúnmente usados:

- ❖ Poligonal
- ❖ Vecino más cercano
- ❖ Triangulación
- ❖ Inverso de la distancia (a una potencia)
- ❖ Kriging

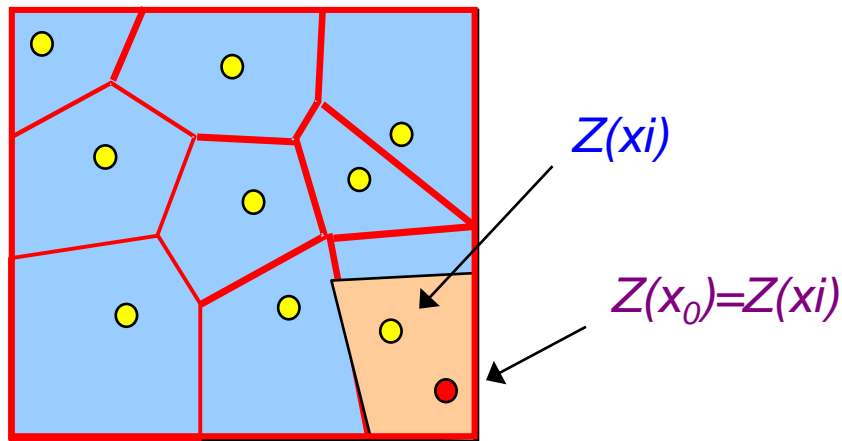
■ Factores que influyen en la elección de un método de estimación:

- ❖ Variabilidad del atributo a estimar
- ❖ Densidad (espacial) de los datos
- ❖ Requerimiento del producto final
- ❖ ¿Se busca una estimación global o local?
- ❖ Soporte del volumen a estimar (¿Puntual o bloques?)



Métodos de Estimación

Poligonal



Ventajas:

Fácil implementación, considera el agrupamiento de los datos.

Desventajas:

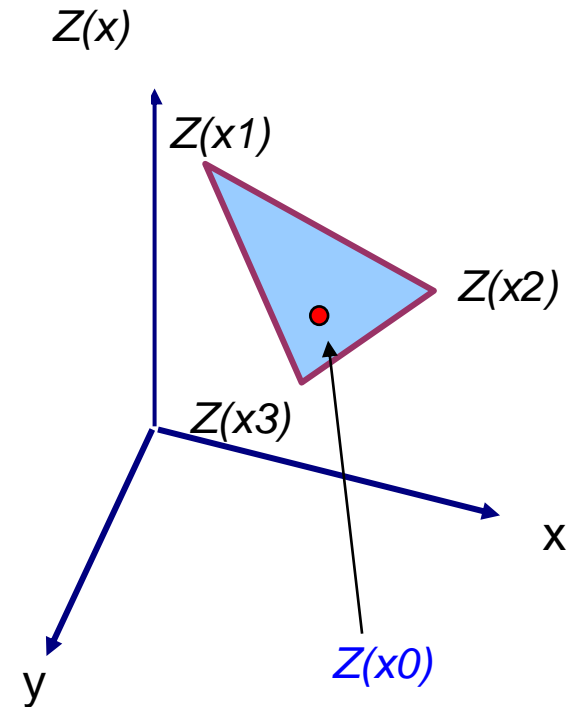
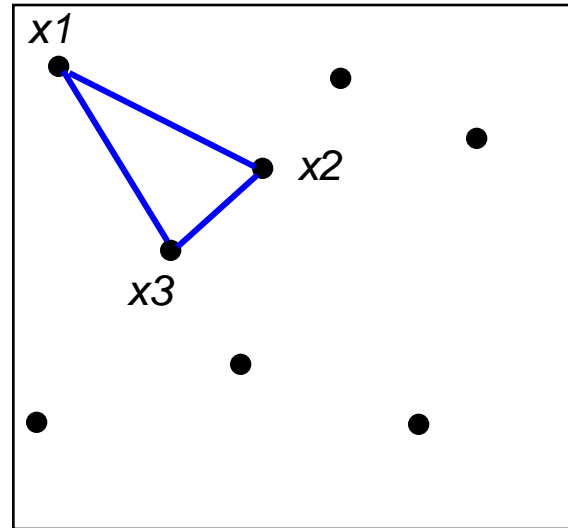
Crea discontinuidades entre polígonos. Requiere una gran cantidad de datos. No considera un cambio de volumen de las muestras al volumen mayor de los polígonos.



Métodos de Estimación

Triangulación

$$\begin{cases} ax_1 + by_1 + c = z(x_1) \\ ax_2 + by_2 + c = z(x_2) \\ ax_3 + by_3 + c = z(x_3) \end{cases}$$
$$z(x_0) = ax_0 + by_0 + c$$



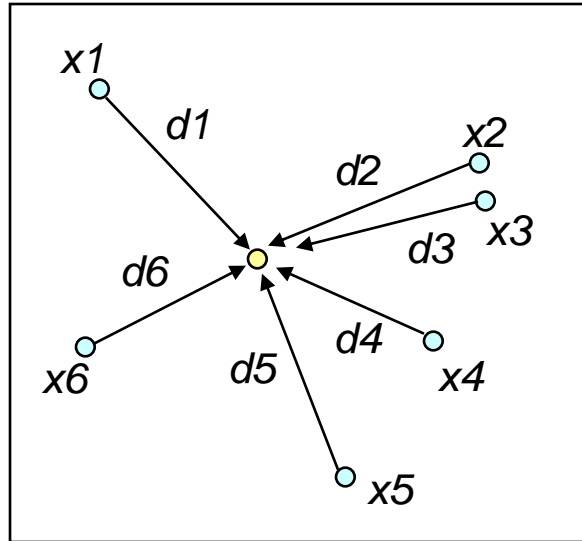
Ventajas:

Simplicidad, considera el agrupamiento de los datos

Desventajas:

Discontinuidades entre triángulos. Los pesos de cada muestras son determinados por un criterio geométrico

Inverso de la distancia



$$Z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{d_i^2} z(x_i)}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{d_i^2}}$$

Ventajas:

Fácil implementación, simplicidad.

Desventajas:

Los pesos de cada muestra son determinados por un criterio geométrico.
No considera el agrupamiento de los datos

Kriging

El objetivo del Kriging es lograr el **mínimo error de estimación**.

El Kriging es una combinación lineal ponderada de los datos en la vecindad a la ubicación a estimar.

$$Z^*(u) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(u_i)$$

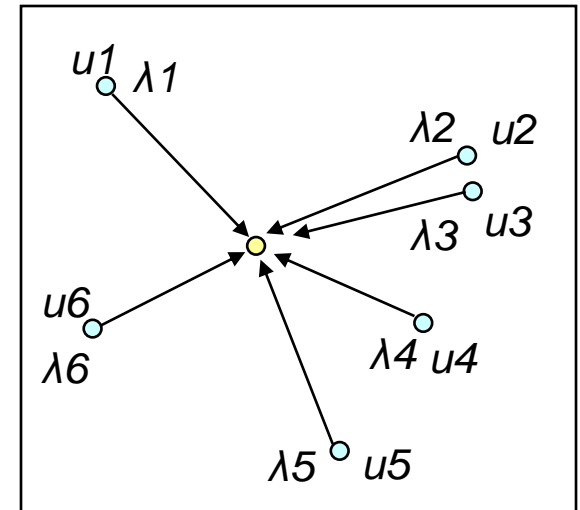
donde:

u representa la ubicación espacial

$Z^*(u)$ es la valor estimado en esa ubicación

Las variables $Z(u_i)$, $i = 1 \dots n$ corresponden a las leyes de las muestras en la vecindad de u .

λ_i son los pesos atribuidos a cada muestra

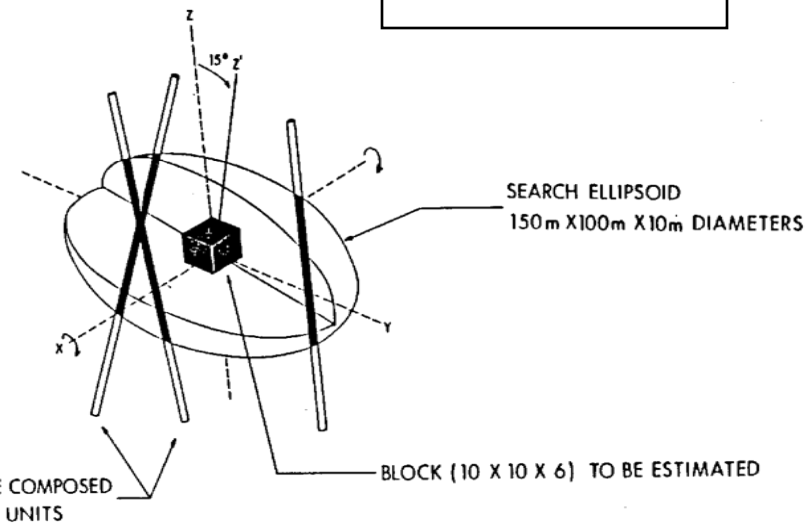
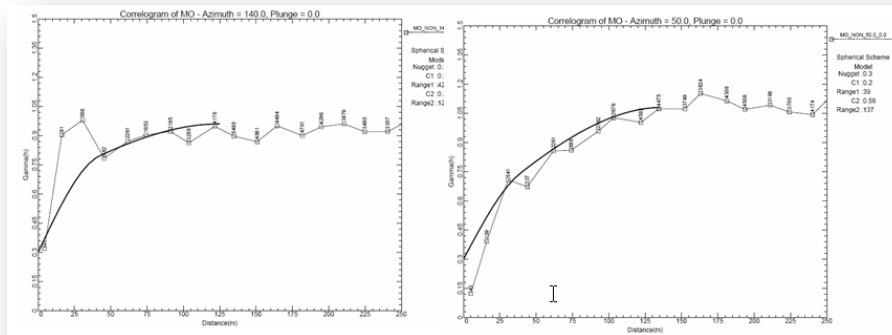
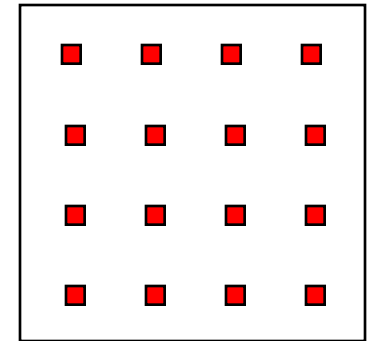


Kriging

Parámetros requeridos para una estimación por Kriging:

- Modelo variográfico
- Distancia de búsqueda
- Número de muestras
- Estrategia de búsqueda
- Discretización del bloque
- Tamaño de bloque
- Estrategia para tratar valores anómalos

Puntos discretizados





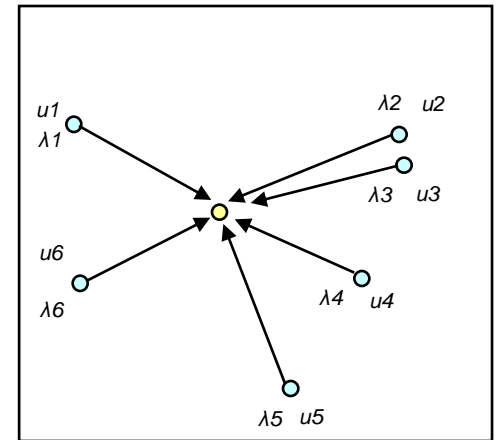
Métodos de Estimación

La estimación por Kriging toma en consideración:

Variabilidad Espacial (definida por los variogramas). Por ejemplo las muestras que se encuentran mas allá del alcance del variograma reciben pesos muy bajos.

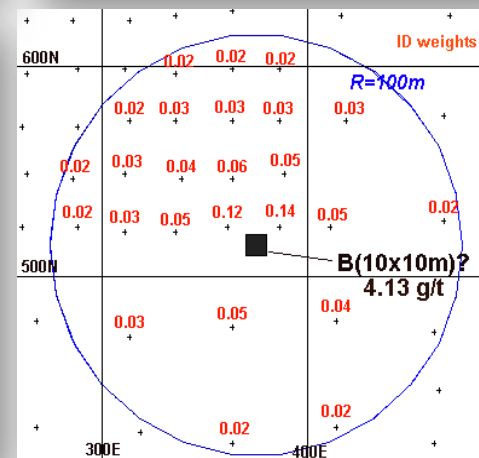
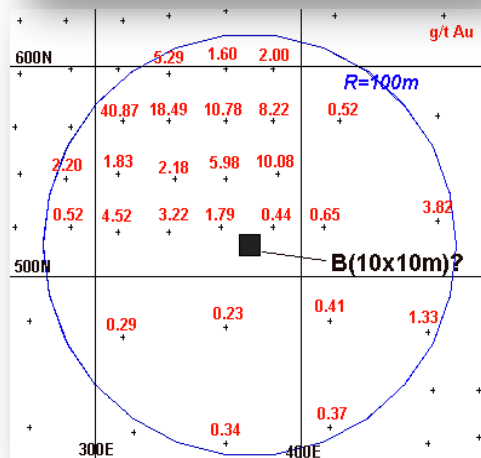
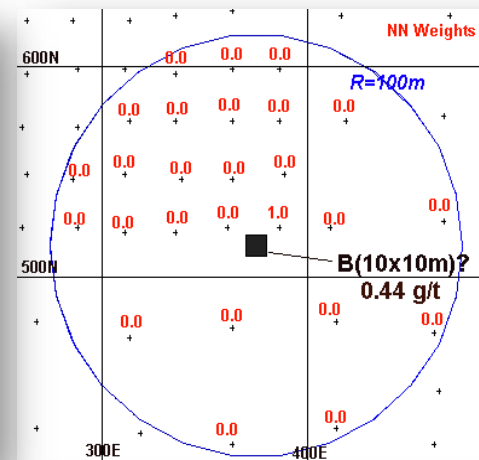
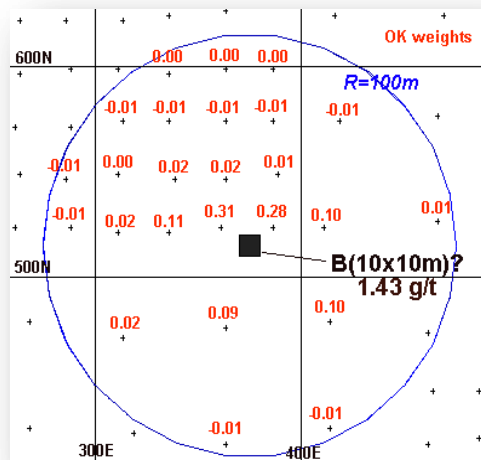
Proximidad a los datos con respecto al punto a estimar. Muestras más distantes recibirán pesos mas bajos mientras que las muestras cercanas tendrán pesos mas altos.

Redundancia de los datos. En el caso de muestras agrupadas, sus pesos serán reducidos (por ejemplo, u_2 y u_3 tendrán la mitad del peso que u_1).





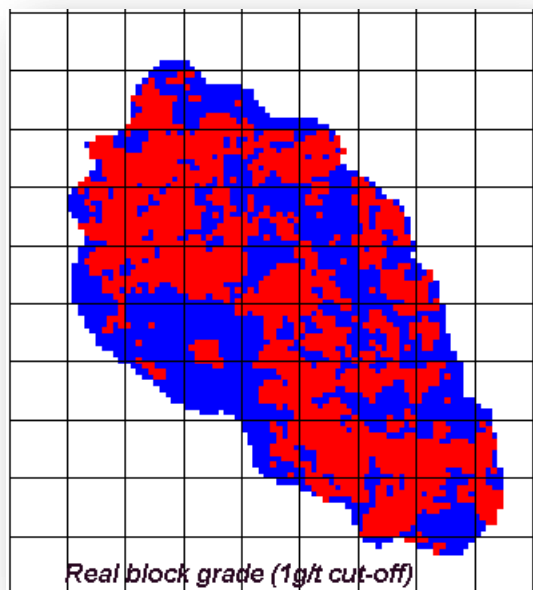
Comparación entre Métodos de Estimación



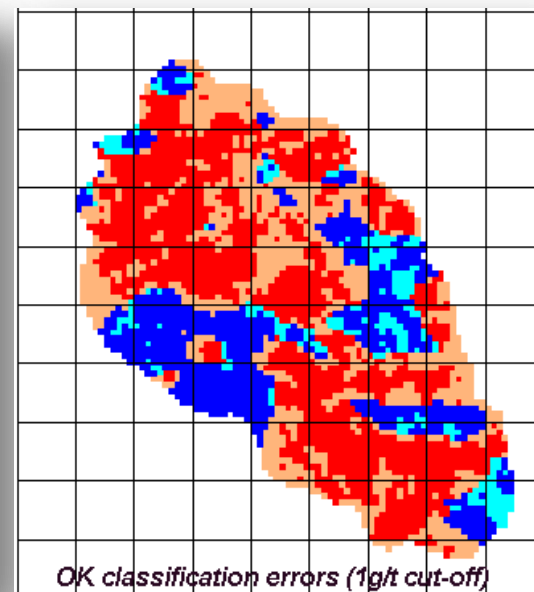
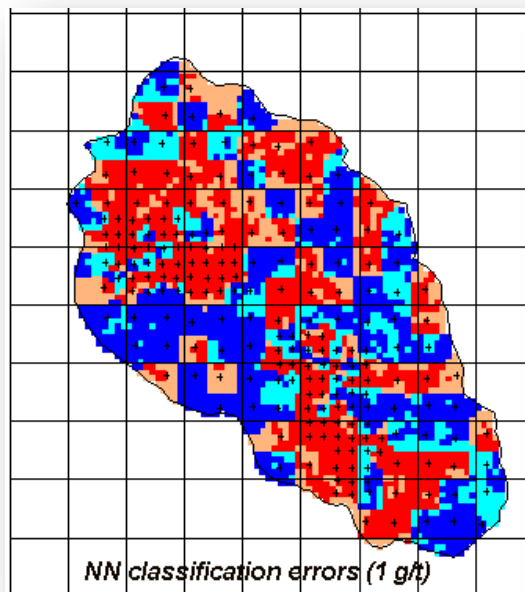
(Ejemplo de Dagbert, 1991)



Comparación entre Métodos de Estimación



ORE ESTIMATED AS ORE	ORE ESTIMATED AS WASTE
WASTE ESTIMATED AS ORE	WASTE ESTIMATED AS WASTE



(Ejemplo de Dagbert, 1991)



Comparación entre Métodos de Estimación

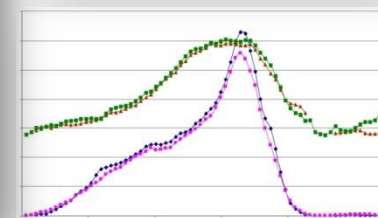
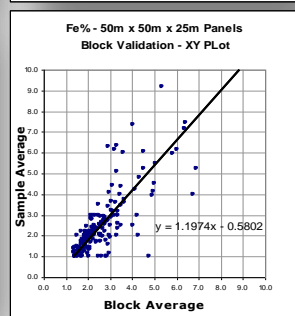
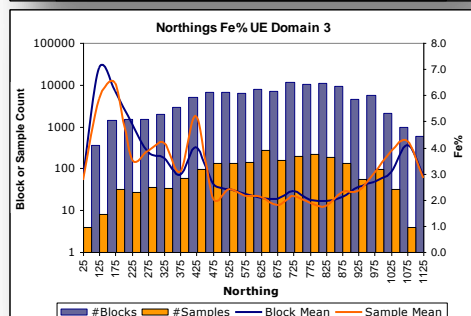
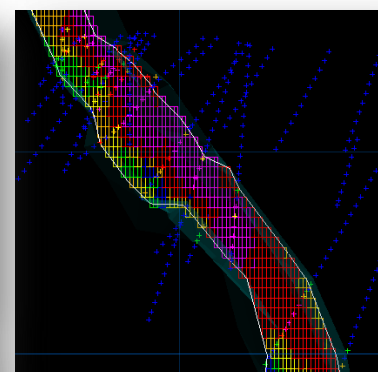
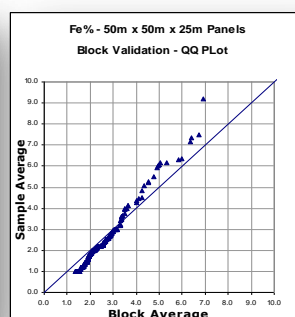
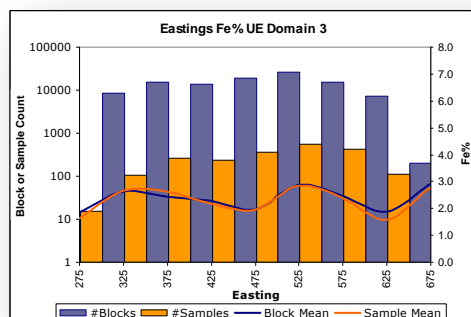
	Real data	Estimated Production	Production achieved
			without
			grade control
Nearest-neighbor estimates			
Ore tonnage (t)	2,555,550	2,562,300	2,562,300
Ore grade (g/t Au)	3.33	3.31	2.76
Gold quantity (oz)	273,977	272,882	227,053
Net value (M\$)	\$48.27	\$47.87	\$33.84
Inverse distance squared estimates			
Ore tonnage (t)	2,555,550	4,064,850	4,064,850
Ore grade (g/t Au)	3.33	2.41	2.19
Gold quantity (oz)	273,977	315,126	286,669
Net value (M\$)	\$48.27	\$45.77	\$37.06
Ordinary kriged estimates			
Ore tonnage (t)	2,555,550	3,612,600	3,612,600
Ore grade (g/t Au)	3.33	2.38	2.38
Gold quantity (oz)	273,977	276,293	276,216
Net value (M\$)	\$48.27	\$38.41	\$38.38

(Ejemplo de Dagbert, 1991)



Validación del Modelo de Bloques

- La validación del modelo de bloques debe ser una sección de gran dedicación en un informe de estimación de recursos.
- Se deben realizar chequeos visuales, estadísticos, gráficos de deriva, evaluación del grado de suavizamiento y comparaciones con estimaciones anteriores.



Dominio	Compósitos desagrupados Fe					Estimado Bloque Fe					
	No. Obs.	Mínimo	Máximo	Media	Varianza	No. Obs.	Mínimo	Máximo	Media	Varianza	Dif. Medias
1	1,589	1.000	10.000	2.076	1.035	120,312	1.006	4.053	2.037	0.382	-1.879%
2	2,101	1.000	30.000	2.564	2.308	146,456	0.976	15.639	2.453	1.085	-4.329%
3	610	1.000	12.000	2.585	1.462	62,893	0.933	5.333	2.597	0.698	0.464%
4	1,166	1.000	41.000	4.297	5.124	135,577	1.143	28.263	4.394	3.683	2.257%
5	449	1.000	6.000	1.544	0.849	94,426	0.844	2.900	1.511	0.266	-2.137%



Categorización de Recursos

Un **Recurso Medido** es aquella porción del Recurso Minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un **significativo nivel de confianza**.

Significativo, en este caso, explicita variaciones de esas características que resultan en una desviación máxima (pej, en el caso del cobre una desviación menor al 7% trimestral) en los contenidos de un plan minero a un nivel de confianza determinado (pej, 90%). Estas estimaciones y caracterizaciones están basadas en reconocimientos detallados, confiables, y verificables y en análisis y pruebas representativas ubicadas de acuerdo a una malla de información tal que la continuidad de leyes y de características geológico-metalúrgicas permite su validación.



Categorización de Recursos

Un **Recurso Indicado** es aquella porción del Recurso Minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, geometalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un razonable nivel de confianza.

Razonable, en este caso, explicita variaciones de esas características que resultan en una desviación máxima (pej, en el caso del cobre una desviación menor al 7% anual) en los contenidos de un plan minero a un nivel de confianza determinado (pej, 90%). El mineral puede ser codificado como Recurso Indicado cuando la naturaleza, calidad, cantidad, y distribución de datos son tales que permiten una adecuada interpretación del marco geológico de modo que la continuidad y caracterización de la mineralización puede ser aceptablemente asumida.



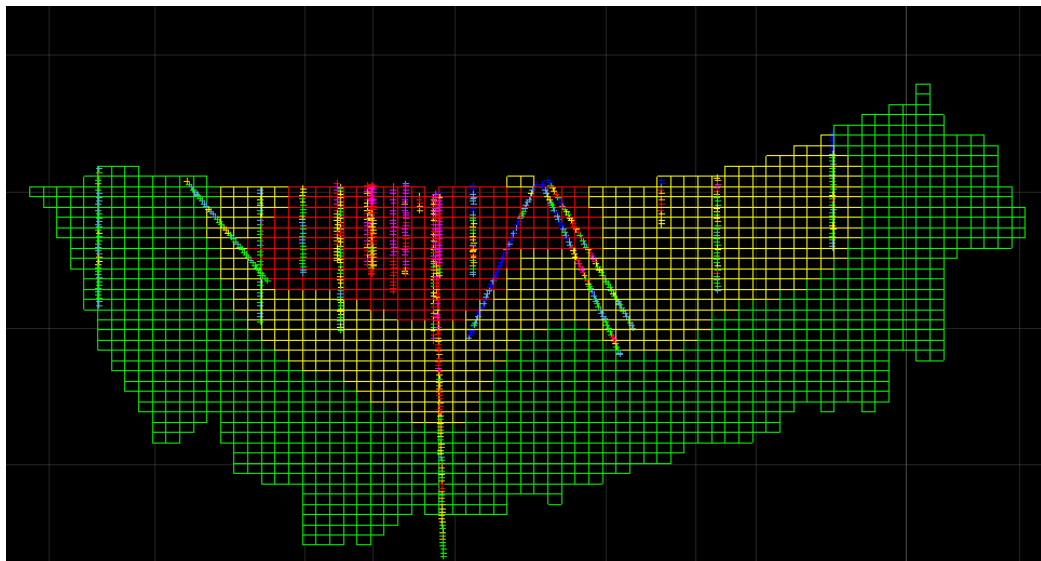
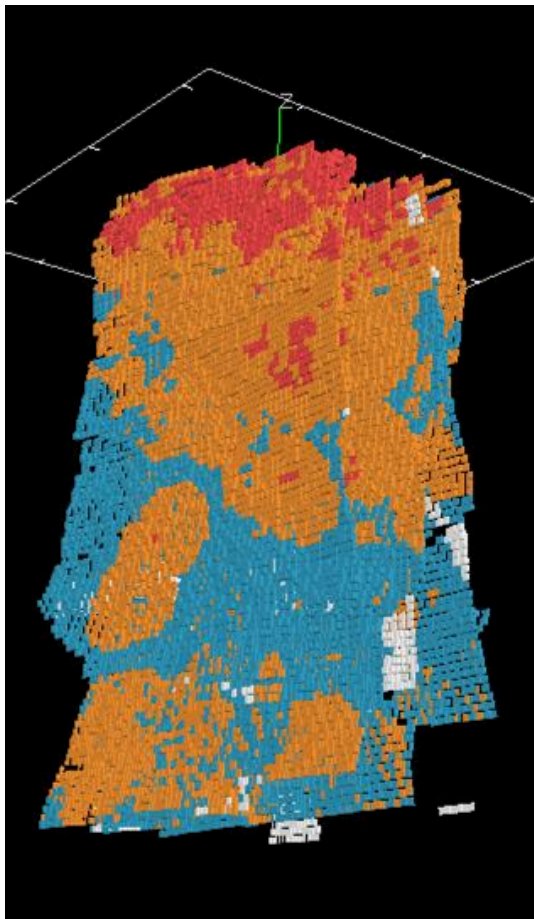
Categorización de Recursos

Un **Recurso Inferido** es aquella porción del Recurso Minero para el cual las **estimaciones de tonelaje y ley están afectas en exactitud y precisión** debido a muestreos fragmentarios, limitados, y a percepciones asumidas sobre su continuidad geológica, y a extrapolaciones de carácter más bien subjetivo sobre la naturaleza de los controles de la mineralización.

Debido a las incertidumbres asociadas con el Recurso Inferido no existe certeza de que todo este mineral o una porción de él se convierta, en definitiva, a la categoría de Recurso Indicado o Recurso Medido como resultado de un reconocimiento adicional.



Categorización de Recursos

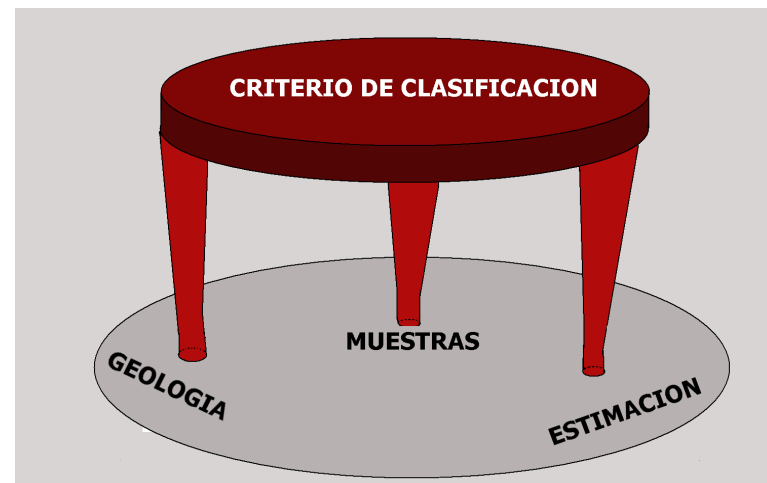




Criterios de Categorización de Recursos

Componentes que debe incorporar la categorización de Recursos:

- **Conocimiento geológico;** basado en la interpretación del marco geológico y su relación con la continuidad y caracterización de la mineralización.
- **Calidad de las muestras;** basado en la calidad de los análisis químicos, tipo de muestra, recuperación de muestra, desviación de trayectorias y medidas de densidades.
- **Confianza en la estimación de leyes;** basado en protocolos de estimación y en la disponibilidad de muestras.





Declaración de Recursos

■ Tabla de recursos

- Los valores de tonelaje y ley deben reflejar la incertidumbre relativa de la estimación.
- Presenta un desglose por dominios separados para cada tipo de mineral, totales por tipo de mineral y total global.
- Cubicación bajo la topografía real o proyectada a la fecha de reporte.

■ Ley de corte

- Definición de la ley de corte usada en el reporte de recursos.

■ Exclusiones

- Remanentes, pilares, todo el material que no presente potencial de explotación.

■ Curvas de tonelaje – ley

- Para graficar la relación del tonelaje y la ley para distintas leyes de corte.

■ Declaración de competencia





Documentación y trazabilidad de auditoria

La documentación del trabajo de estimación de Recursos es crucial, por las siguientes razones:

- Es usada para reportar los recursos estimados
- Presenta detalles de suposiciones y limitaciones de la información
- Presenta una descripción del enfoque de modelamiento y su justificación
- Es un registro auditable del proceso y de los resultados
- Permite reproducción del trabajo
- Facilita las actualizaciones futuras
- Presenta los resultados de validación del modelo y de los datos



¿Cual debe ser el contenido del informe técnico de una estimación de Recursos?

INTEGRIDAD DE DATOS	<p><i>Información sobre</i></p> <p><i>las medidas tomadas para asegurar la calidad de los datos, la transferencia de valores, la entrada de datos al computador.</i></p> <p><i>los criterios de validación.</i></p>
INTERPRETACION GEOLOGICA	<p><i>Información sobre,</i></p> <p><i>el grado de confianza o incertidumbre en la interpretación geológica del depósito minero.</i></p> <p><i>la naturaleza de los datos utilizados en las suposiciones hechas.</i></p> <p><i>el efecto de interpretaciones alternativas en la estimación del recurso.</i></p> <p><i>el uso de la geología en guiar o controlar la estimación del recurso.</i></p> <p><i>los factores que afectan la continuidad de ambas la ley y la geología.</i></p>
DIMENSIONES	<p><i>Información sobre,</i></p> <p><i>la extensión y variabilidad del recurso minero expresado en su longitud, ancho, y espesor piso-techo del recurso minero..</i></p>



¿Cual debe ser el contenido del informe técnico de una estimación de Recursos?

ESTIMACION Y TECNICAS DE MODELAMIENTO

Información sobre

la naturaleza y adecuación de las técnicas de estimación aplicadas y suposiciones relevantes incluyendo el tratamiento de datos de leyes extremas dominios mineralizados, parámetros de interpolación, distancia máxima de extrapolación en base a los datos disponibles.

la disponibilidad de estimadores chequeados, estimadores previos y/o registros de producción minera y la indicación si la estimación toma debida cuenta de tales datos.

las suposiciones hechas respecto a la recuperación de subproductos.

estimación de elementos contaminantes u otras variables cualitativas de significancia económica (pej, sulfuros para la caracterización del drenaje de la mina).

en el caso de la interpolación del modelo de bloques, el tamaño del bloque en relación al espaciamiento promedio de las muestras y la búsqueda promedio empleada.

cualquiera suposición detrás del modelo de las unidades de selectividad minera.

cualquiera suposición acerca de la correlación entre variables.

el proceso de validación, el proceso de chequeo utilizado, la comparación de los datos del modelo con los datos de muestreo, y uso de datos de reconciliación si es que estos están disponibles.



¿Cual debe ser el contenido del informe técnico de una estimación de Recursos?

PARAMETROS DE LEYES DE CORTE	<i>Información sobre, la base de las leyes de corte adoptadas o calidad de los parámetros aplicados.</i>
PARAMETROS MINEROS	<i>Informaciones sobre, las suposiciones hechas en relación a los posibles métodos de explotación, diseños mineros básicos, y criterios de dilución (internos/externos). Es difícil, quizás, hacer suposiciones de la explotación a nivel del recurso minero. Se requiere explicitar el caso en que esto no es posible.</i>
FACTORES METALURGICOS	<i>Información sobre las bases para asumir o pronosticar la bondad metalúrgica. Puede ser difícil hacer suposiciones respecto al tratamiento metalúrgico a nivel de recurso minero. Se debe explicitar cuando no se pueden hacer suposiciones.</i>



¿Cual debe ser el contenido del informe técnico de una estimación de Recursos?

FACTORES DE TONELAJE (DENSIDADES IN-SITU)	<p><i>Información sobre,</i></p> <p><i>suposiciones o determinaciones. Si son suposiciones, las bases de ellas. Si son determinaciones, el método usado, la frecuencia de esas medidas, la naturaleza, tamaño, y representatividad de las muestras.</i></p>
CATEGORIZACION	<p><i>Informaciones sobre,</i></p> <p><i>las bases para la categorización de los recursos mineros en varias categorías de confianza.</i></p> <p><i>si debida cuenta se ha tomado de todos los factores relevantes, pej. confianza relativa en los cálculos tonelaje/ley, confianza en la continuidad geológica y de los contenidos en metal, calidad, cantidad, y distribución de los datos.</i></p> <p><i>si los resultados reflejan el punto de vista de la Persona Competente.</i></p>
AUDITORIAS O REVISIONES	<p><i>Información sobre</i></p> <p><i>los resultados de cualquiera auditoría o revisión de las estimación de recursos.</i></p>



¿Cual debe ser el contenido del informe técnico de una estimación de Recursos?

DISCUSION DE LA EXACTITUD / CONFIANZA RELATIVA	<p><i>Información, en donde sea apropiado, sobre la exactitud y/o confianza relativa en la estimación del recurso minero usando una aproximación o procedimiento considerado apropiado por la Persona Competente Calificada. Por ejemplo, la aplicación de procedimientos estadísticos o geoestadísticos para cuantificar la exactitud relativa del recurso dentro de límites de confianza establecidos (pej, en el caso del cobre, < 7% con un nivel de confianza del 90% trimestralmente para el recurso medido; anualmente para el recurso indicado; en el caso del oro, 12-18% con un nivel de confianza del 90% trimestralmente para el recurso medido; anualmente para el recurso indicado) o, si tal procedimiento no es considerado adecuado, una discusión cualitativa sobre los riesgos involucrados.</i></p> <p><i>la declaración debería especificar si esta confianza es a nivel global o a nivel local y si es local, establecer los tonelajes y volúmenes relevantes para la evaluación técnica y económica. La documentación debería incluir suposiciones hechas y procedimientos utilizados.</i></p> <p><i>las declaraciones de riesgos deberían ser reconciliados con datos productivos, cuando estos estén disponibles.</i></p>
---	---



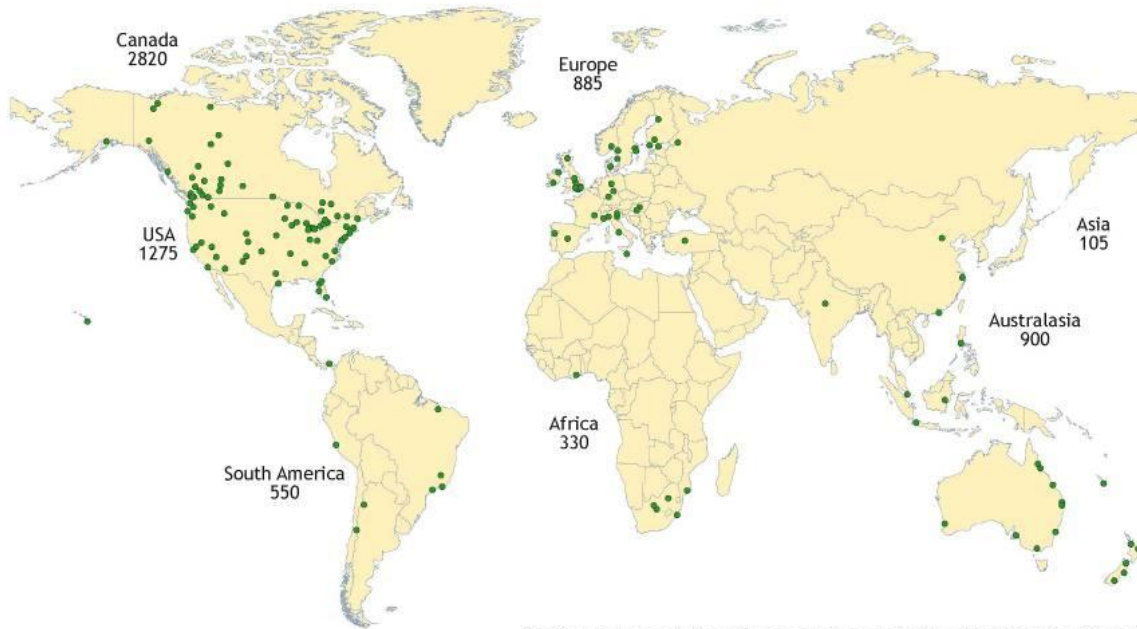
Problemas Comunes

- Muchos de los problemas de reconciliación son el producto de una insuficiente atención al detalle durante la estimación de Recursos.
- Los problemas mas comunes encontrados en la práctica de la estimación de Recursos son:
 - Problemas de muestreo.
 - Entendimiento insuficiente de los controles de la mineralización.
 - Consideración inapropiada de dilución y perdida operacional.
 - Uso ciego de técnicas computacionales en vez de resolución de problemas.
 - Estimación no puede ser reproducida por falta de documentación.
 - Criterio de categorización no considera aspectos de calidad de los datos.



Conclusiones

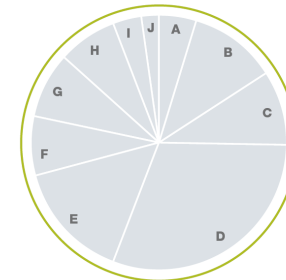
- El Recurso es la base sobre la cual todo proyecto minero se sustenta.
- El Código establece estándares mínimos para el reporte público de resultados de estimaciones de Recursos.
- Las estimaciones no constituyen determinaciones ni cálculos precisos ya que la información capturada y utilizada es restringida. Estas estimaciones constituyen valores esperados.
- Diferentes métodos de estimación producen diferentes resultados.
- El método de estimación adoptado para la definición de Recursos Mineros requiere de una estimación insesgada y un resultado con un nivel aceptable de confiabilidad.
- La documentación del trabajo de estimación de Recursos es una actividad crucial para garantizar que el proceso y sus resultados sean reportables y auditables.



LEGEND
● Golder Office Locations

Golder Associates Locations and Staff Distribution 2009
More than 7,000 professionals and 160 offices on 6 continents

2008 REVENUE BY CLIENT SECTOR



A / Finance, Insurance, Real Estate & Legal
B / Land Development
C / Manufacturing
D / Mining
E / Oil & Gas
F / Power
G / Transportation
H / Waste Management
I / Water
J / Other

