

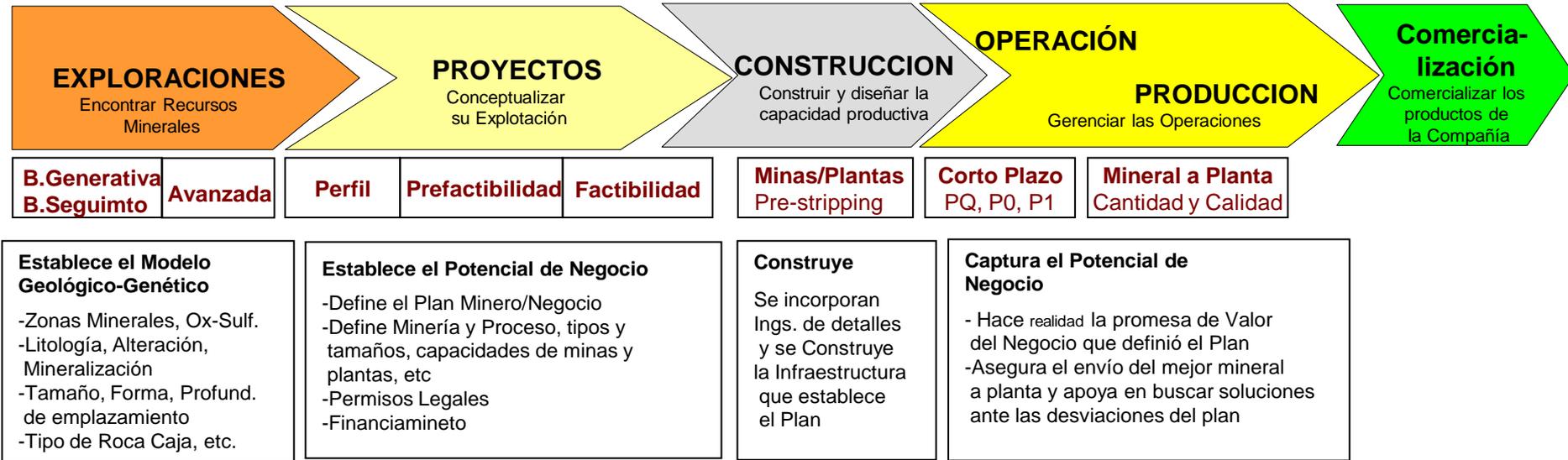
MODELAMIENTO GEOLOGICO y CATEGORIZACION DE RECURSOS

**SEMINARIO “COMPETENCIAS EN RECURSOS Y
RESERVAS MINERAS”**

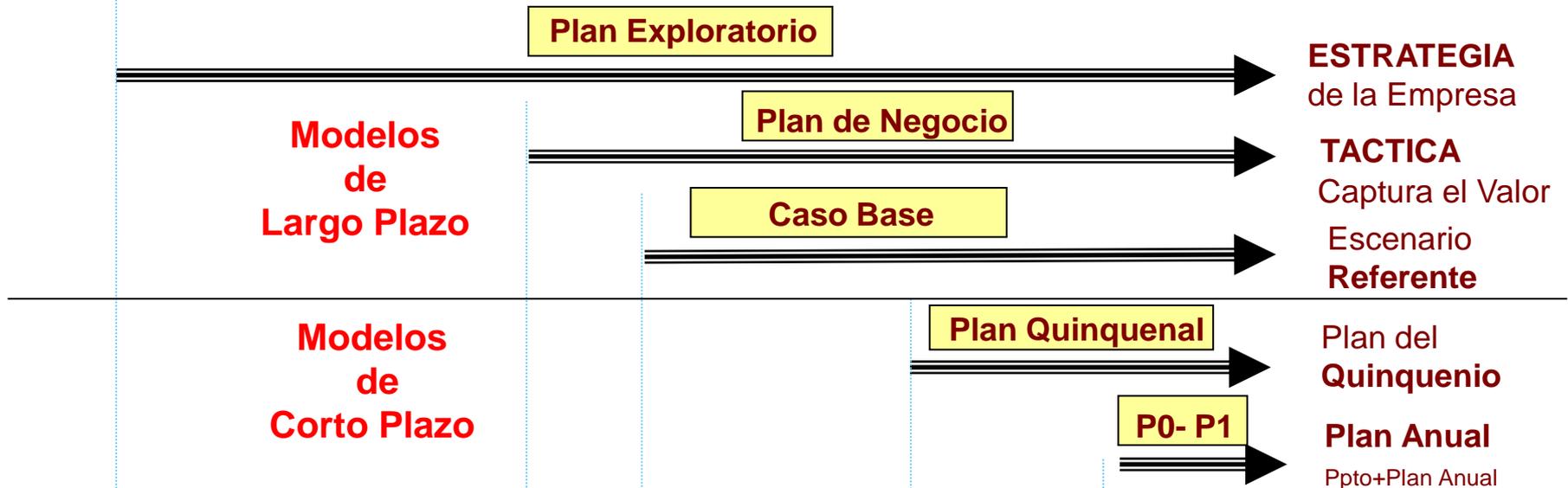
Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas
Mineras

Copiapó
18 de Abril 2013

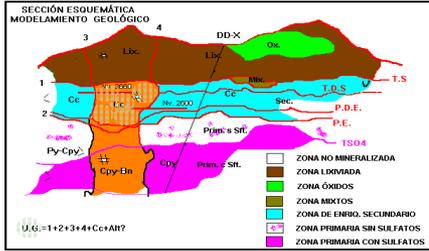
Cadena de Valor del Negocio Minero y Modelamiento Geológico



Lineamientos que rigen el Negocio Minero



MODELO GESTION GEO - MINERO - METALURGICO



MINA-PRODUCCION

ESTRATEGIA DEL NEGOCIO

MODELO ECONOMICO

Modelo de Reservas

Consideraciones de Geología, Minería, Procesos, del Negocio y su Entorno
VALIDACION → CONCILIACION

MODELO GEOTECNICO - HIDROGEOLOGICO
MODELO GEOMETALURGICO

VALIDACIÓN

MODELO DE ESTIMACION

MODELO GEOLOGICO

MODELAMIENTO GEOLOGICO

Un todo coherente
Roca a Cátodo

CAPTURA DE DATOS

EXPLORACION AVANZADA

PROYECTOS

PRODUCCION

(Perfil, Conceptual, Básica)

NIVEL DE CERTEZA

PEX

PND

PQ

P0

P1

RESERVAS

RECURSOS

Conceptualización del Modelo Geológico

- Modelo Geológico Conceptual
- Procesos Genéticos

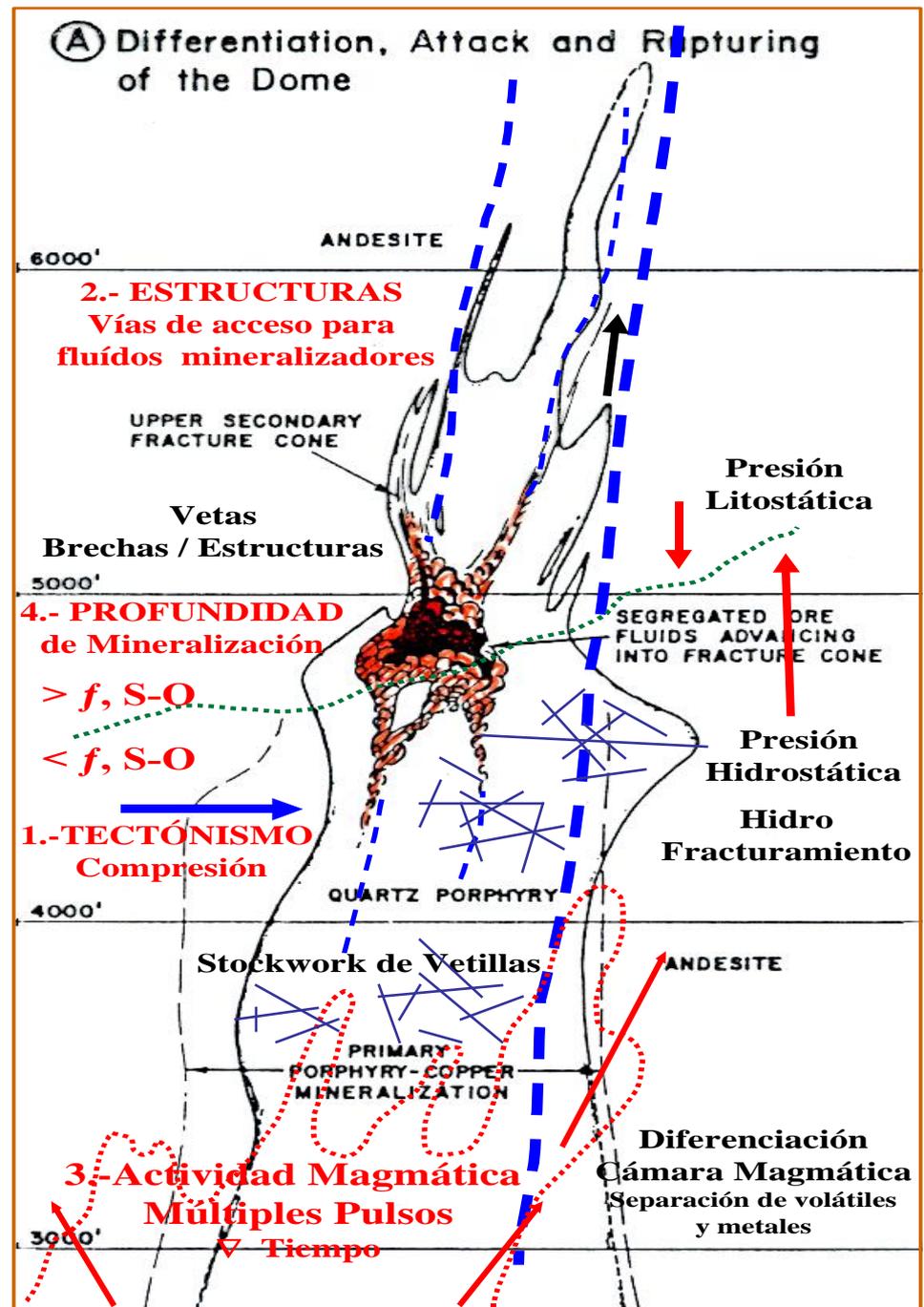
Modelamiento Geológico

Ejemplo:

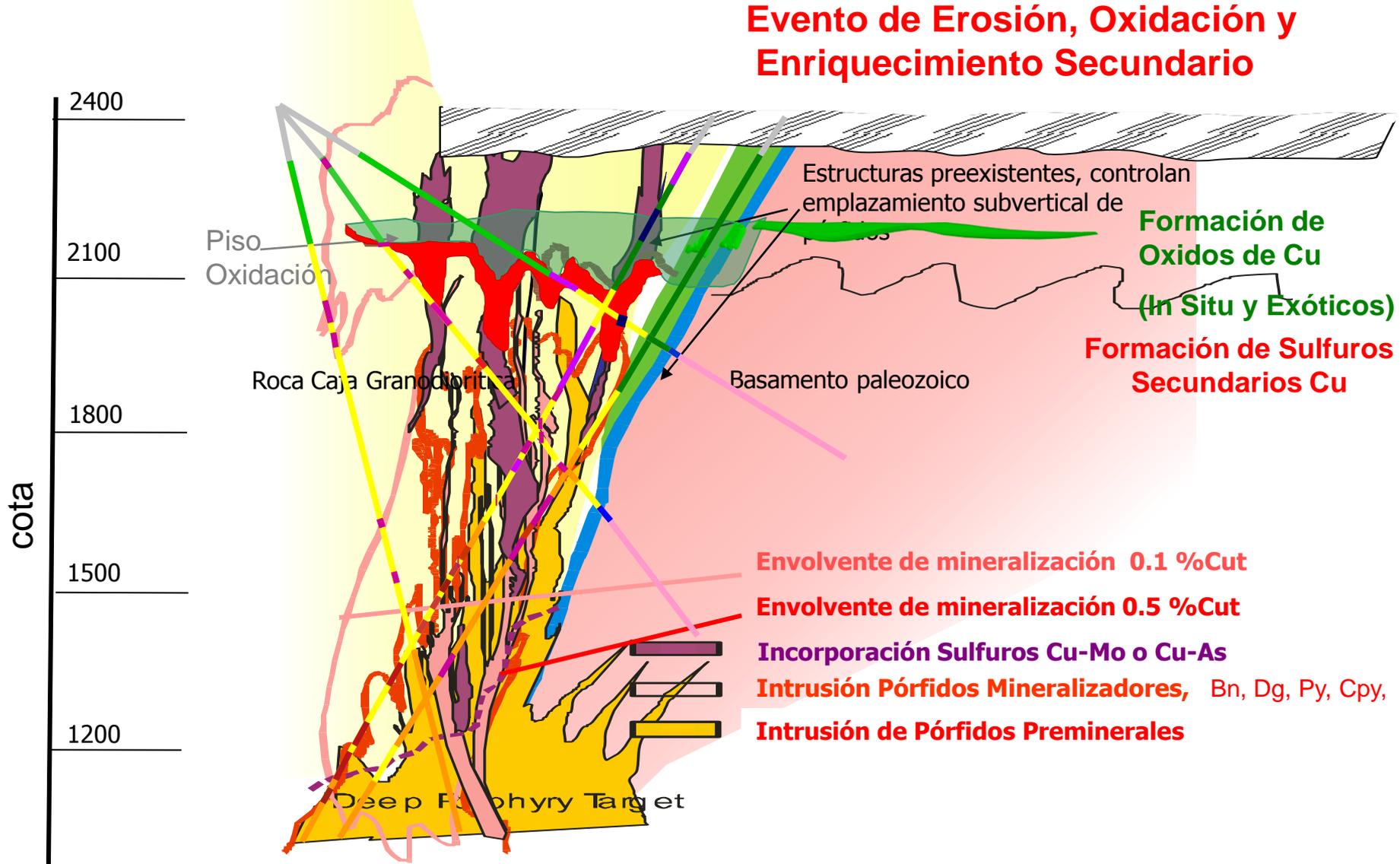
Modelo de formación de Pórfidos de Cobre

Variables claves:

- 1.- Ambiente Tectónico favorable
- 2.- Estructuras
- 3.- Magmatismo
- 4.- Profundidad de emplazamiento



Esquema Formación de Pórfidos



Aspectos Claves

1. La *filosofía* que hay detrás del proceso de modelamiento geológico es que corresponde a una herramienta clave para crear e incrementar el valor
2. El proceso de captura de información GEO, Interpretación y el Modelamiento es quizás el paso más crítico
3. Sesgos de pensamiento en la construcción de modelos de recursos son reales y potenciales destructores de valor

Desde el modelo geológico hasta el modelo de recursos: MODELAMIENTO

- El proceso de modelamiento geológico es un paso intermedio en el camino hacia un modelo de recurso
- Debemos generar dominios que sean una base sólida para el modelo de recursos
- Esto puede implicar combinar o dividir diferentes unidades geológicas

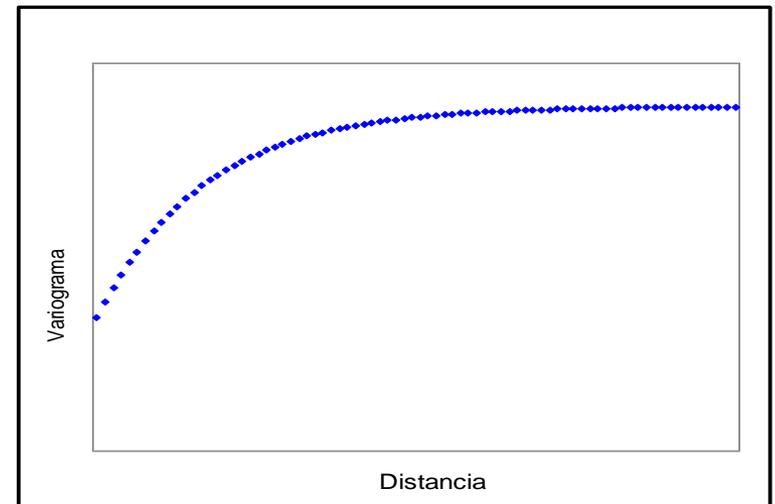
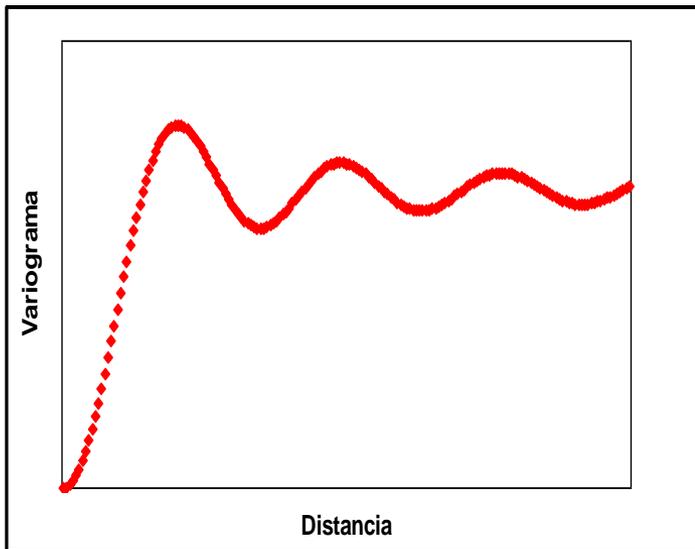
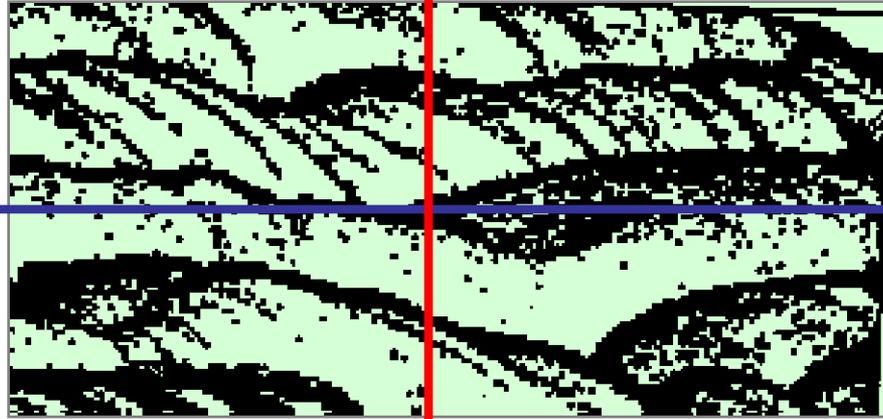
Estacionariedad

- Por lo general, es necesario particionar el conjunto de datos en “dominios” geológica y estadísticamente aceptables
- Separar en dominios es una decisión de "primer orden", que afecta a todas las etapas siguientes en la estimación
- 'Estacionariedad' describe la homogeneidad estadística dentro de un dominio dado. (Se trata de NO mezclar peras con manzanas)

Los dominios no son sólo "unidades geológicas"

- Los dominios están generalmente muy relacionados con unidades geológicas, estructurales y/o unidades de meteorización
- El comportamiento de las leyes también debe tomarse en cuenta a la hora de tomar decisiones de definición de dominios
- Los Dominios de estimación debe ser «numéricamente estables" en un sentido estadístico, variografía ? CV?

Variabilidad Mineralización



No mezclar unidades-procesos geológicos

Construcción de Dominios

La definición de Dominios debe considerar aspectos tales como :

1. Distribución de la litología
2. Distribución de la Alteración-Meteorización
3. Mineralogía (e.g. mineralogía de sulfuros, óxidos...)
4. Geología Estructural
5. Estratigrafía
6. Distribución Espacial de Leyes/variables
7. Precisión de Muestreo y analítica

MODELAMIENTO GEO-MINERO-METALURGICO DE RECURSOS

MODELO DISTRITAL

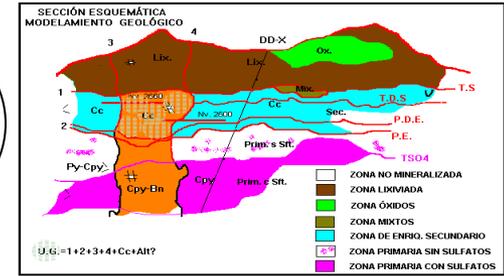
- Definición de Nuevos Blancos
- Modelos Geológico-Genéticos
- Modelos de Exploración
- Concepto de Yacimientos anidados.

TOMA DE DATOS

- Muestreo, Protocolos
- Afloramientos, Sondajes,
- Canales, Zanjas
- Coord., Trayt, Densidades,
- Ensayes, Recuperaciones
- Duplicados, etc

MODELO GEOLÓGICO

- Conceptualización del Modelo por:
- Litología
 - Mineralogía, Mena, Ganga
 - Alteración, Mineralización
 - TSO4, P.E., T.S.
 - Estructuras, Fracturas, Fallas , etc



MODELO DE ESTIMACIÓN

- Definición de **U. EST.**, por elemento
- Medias, Desviaciones
- Variografías, Varianzas, Alcances
- Bordes Duros de U.Est.

MODELO GEOTECNICO

- Definición de **U. Geo Mec.**
- Clasificación Geomecánica
- RQD, FF, IRS
- Ensayes Uniaxiales, Triaxiales
- H₂O, TSO₄
- Fallas, Estructuras
- Angulo, Ø

MODELO GEOMETALÚRGICO

- Definición **U. Geo. Met.**, según proceso
- Pruebas Piloto, Representatividad
- W.I., Durezas
- Arcillas, Consumos, Extracciones
- Lamas, Ph, etc.

Cu T
Cu S
Au, Mo
As, Zn,

Define

RECURSOS
Modelo de Bloques

RQD
FF
IRS
R M R

Define

Diseño Minero

Consum.
Extrac.
W.I.
Ph

Define

Proceso Metalúrgico

MODELO DE RESERVAS

Proceso de Planificación Minera
Secuenciamiento

Cu T, Cu S
Mo, Au
Consumo
Extracción
W.I, Ph
R M R, etc.

RESERVAS
Explotables

VALOR DEL NEGOCIO

Relación entre Modelo Geológico y Modelos Geo-Minero-Metalúrgicos

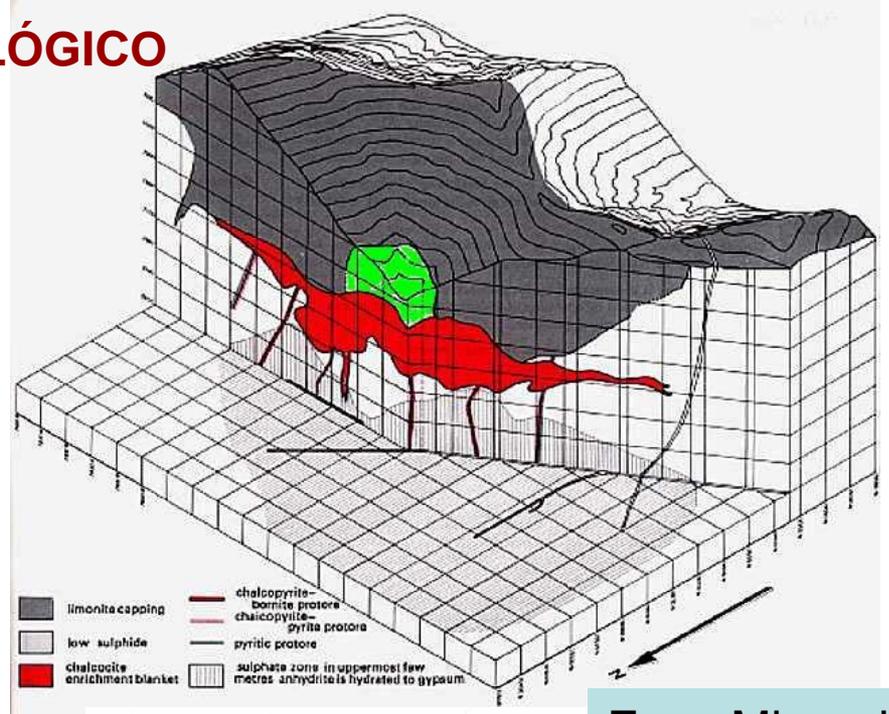
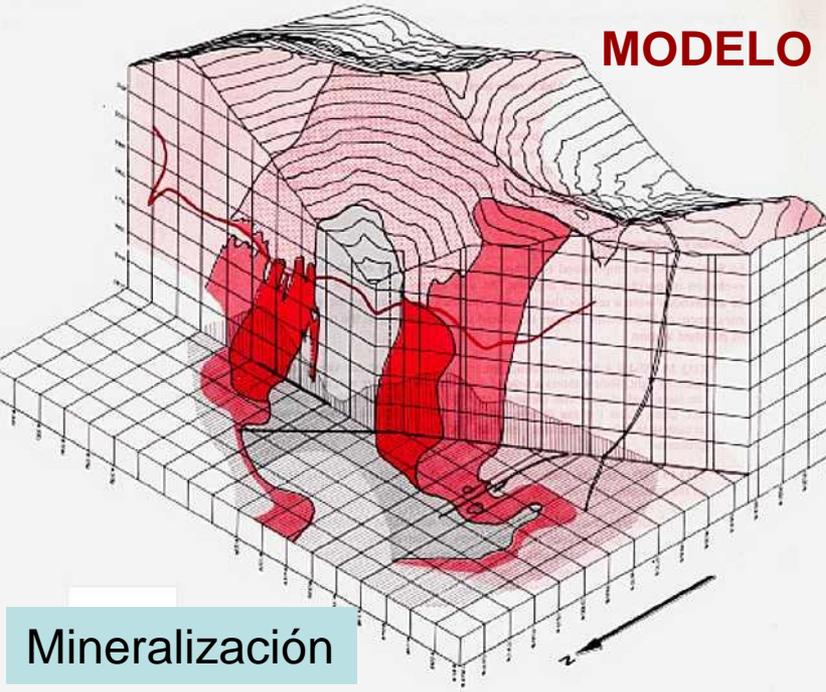
La combinación de una o más unidades geológicas constituye la base para definir los diferentes dominios (unidades de estimación, unidades geometalúrgicas, unidades geotécnicas, otras).

Geología 

Unidades Geológicas (UG)	Modelo de Estimación (UE)	Modelo Geometalúrgico (UGM)				Modelo Geotécnico (UGT)			Modelo Hidrogeológico (UHG)		
	Población de Leyes	Wi	Rec.	CuCo	PSI	RQD	FF	ICS	Nivel Freático	Líneas de Flujo	Gradiente Hidráulica
Litología	X	X			X	X					
Textura			X	X							
Alteración	X	X	X		X			X			
Mineralización	X		X	X					X		
Estructuras						X	X			X	X
Pisos/Techos	X					X	X				
Zona Vetillas	X				X						

Por ejemplo, el modelo Geometalúrgico define la UGM Wi al relacionarlo con la litología, alteración y zona de vetillas, todas ellas, responsables, entre otras cosas, de la dureza y competencia de las rocas.

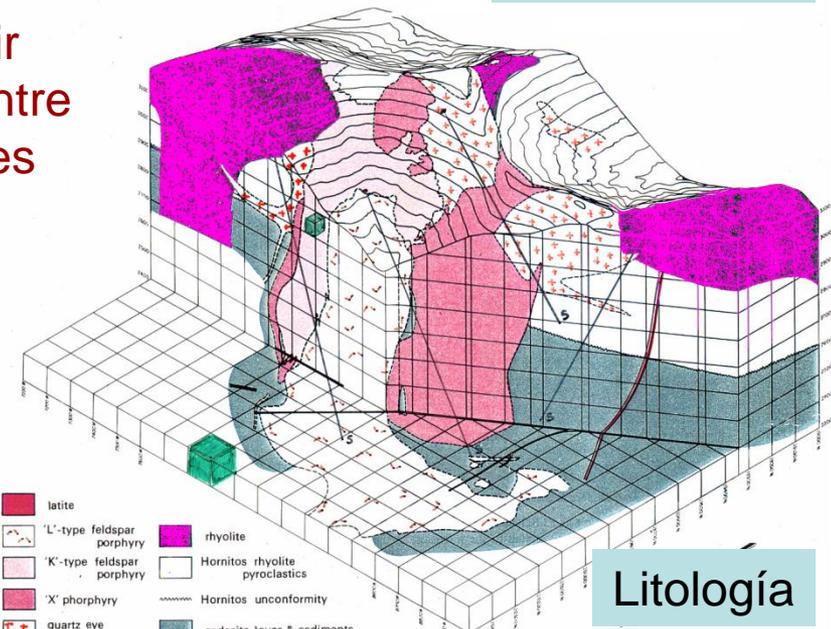
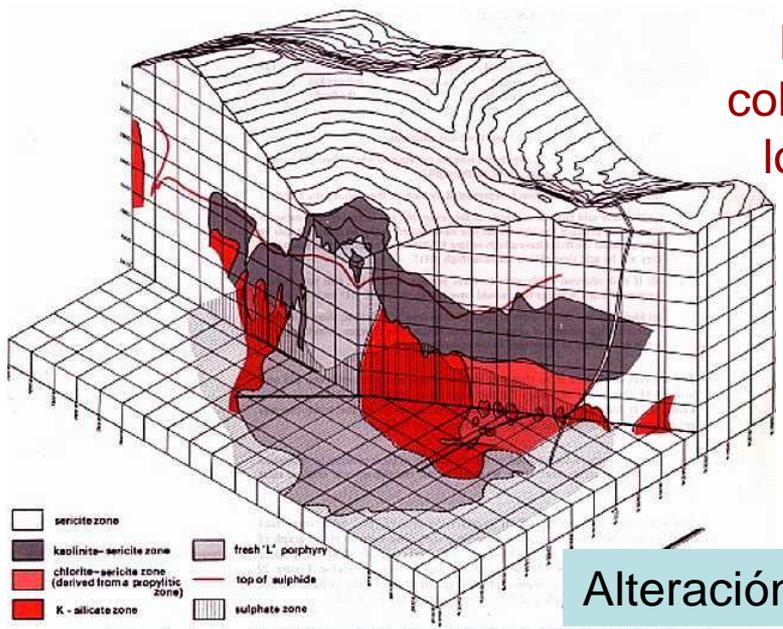
MODELO GEOLÓGICO



Mineralización

Zona Mineral

Debe existir coherencia entre los diferentes modelos



Alteración

Litología

- sericite zone
- kaolinite-sericite zone
- chlorite-sericite zone (derived from a propylitic zone)
- K - albite zone
- fresh 'L' porphyry
- top of sulphide
- sulphate zone

- latite
- 'L'-type feldspar porphyry
- 'K'-type feldspar porphyry
- 'X' porphyry
- quartz eye porphyry
- rhyolite
- Hornitos rhyolite pyroclastics
- Hornitos unconformity
- andesite lavas & sediments

Figure 28 Isometric section through the El Salvador orebody showing the distribution and zoning of wall-rock alteration (from Gustafson and Junt, 1975).

MODELO LITOLÓGICO – GEOTÉCNICO

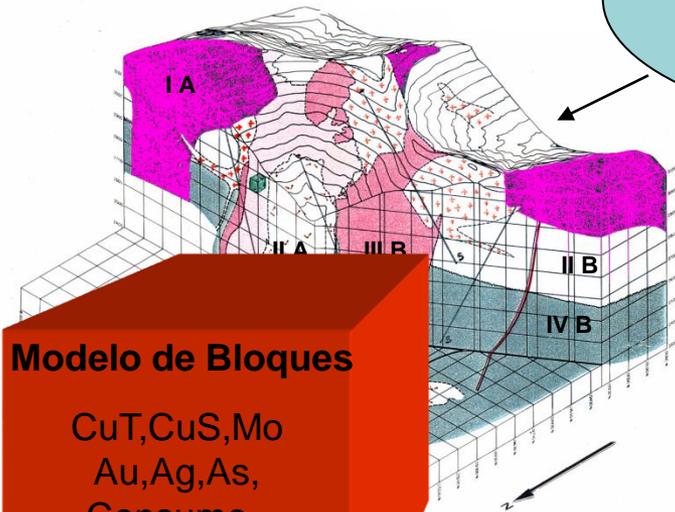
Ej: UGT, Unidades Geotécnicas

MODELO GEOLÓGICO

Litología
Alteración
Mineralización
Pisos, Techos
etc.

MODELO DE ESTIMACIÓN

Ej: UE, Unidades de Estimación

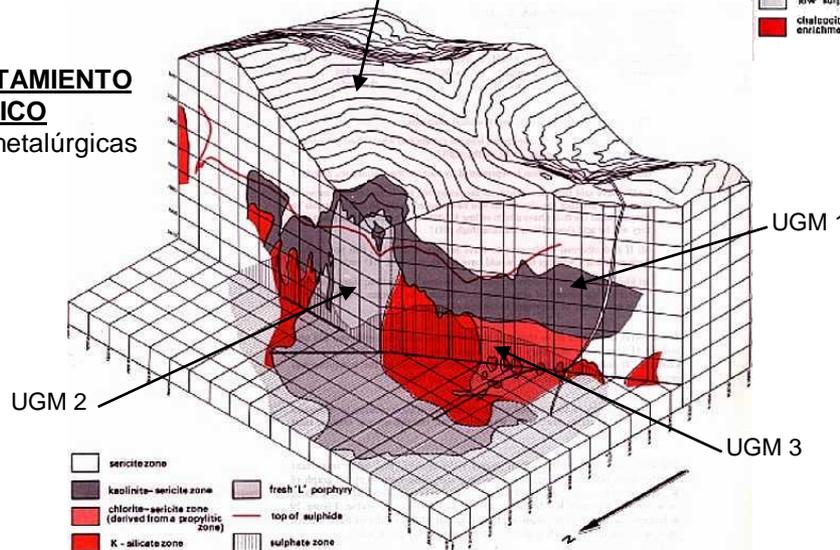


Modelo de Bloques

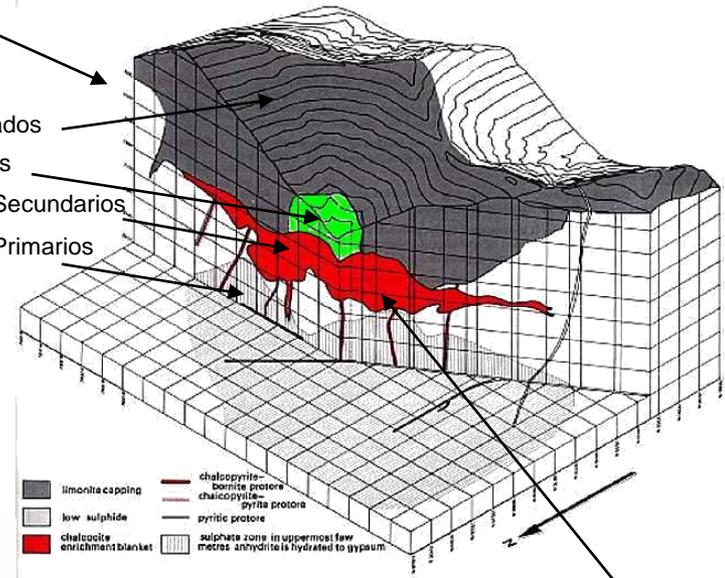
CuT, CuS, Mo
Au, Ag, As,
Consumo,
Extracción
Unid. Geotecnicas
Wi, Cu/Co

MODELO DE COMPORTAMIENTO GEOMETALÚRGICO

Ej: UGM, Unidades Geometalúrgicas



UG 1 = Lixiviados
UG 2 = Oxidos
UG 3 = Sulf. Secundarios
UG 4 = Sulf. Primarios



UG 4 = Secundario

UGM, Unidades Geometalúrgicas

≠ { Durezas, Wi
Granulometrías
Recuperaciones
Ph
Extracciones
Consumos
etc.

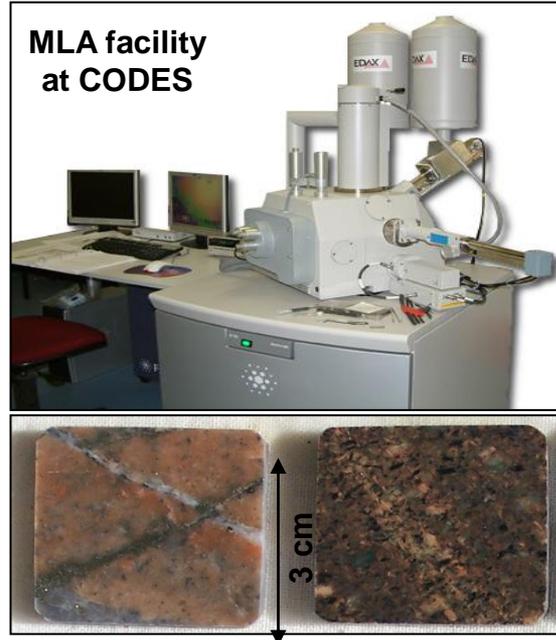
Figure 28 Isometric section through the El Salvador orebody showing the distribution and zoning of wall-rock alteration (from Gustafson and Hunt, 1975).

Modelamiento Geológico

- Captura de Información Geológica

Sin un correcto proceso de captura o mapeo de información geológica no existe ninguna posibilidad de realizar un buen modelamiento geológico

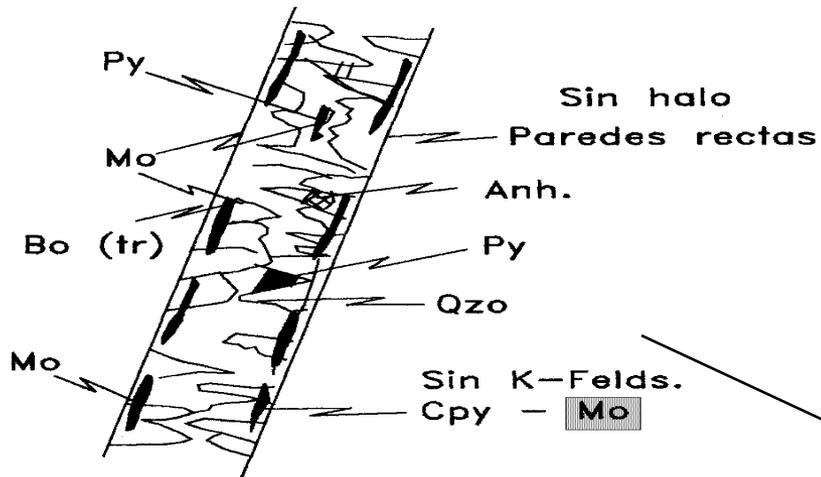
Captura de Información Geo-Minero-Metalúrgica desde Sondajes



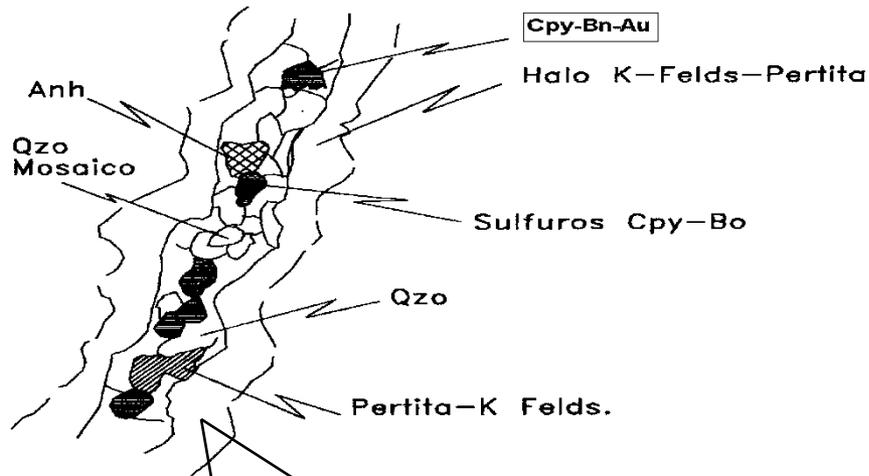
- El Mapeo Geológico es el proceso clave para construir el Modelo Geológico :
 - Desviación de trayectorias.
 - Litología, Alteración, Mineralización, Mineralogía de mena y ganga.
 - Obtención de muestras para análisis químicos mayores, ICP multielementos.
 - Obtención de muestras para estudios Microscópicos, DFX, Qmscan, MLA.
 - Obtención de muestras para estudios Metalúrgicos, etc

TIPOS DE VETILLAS, MINERALIZACIÓN Y RELACIONES DE CORTE

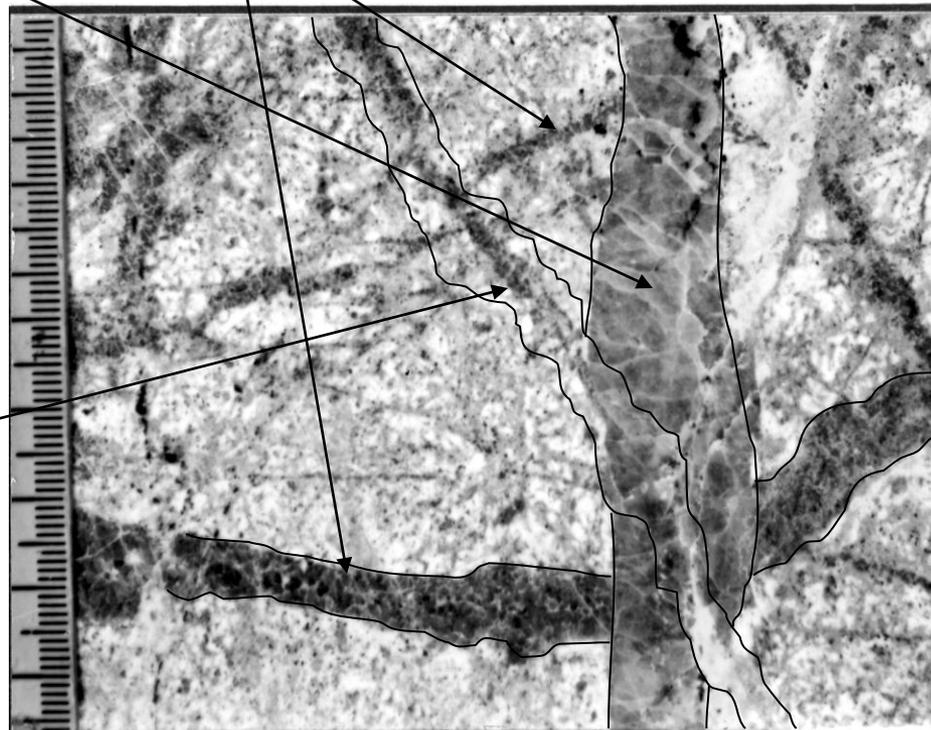
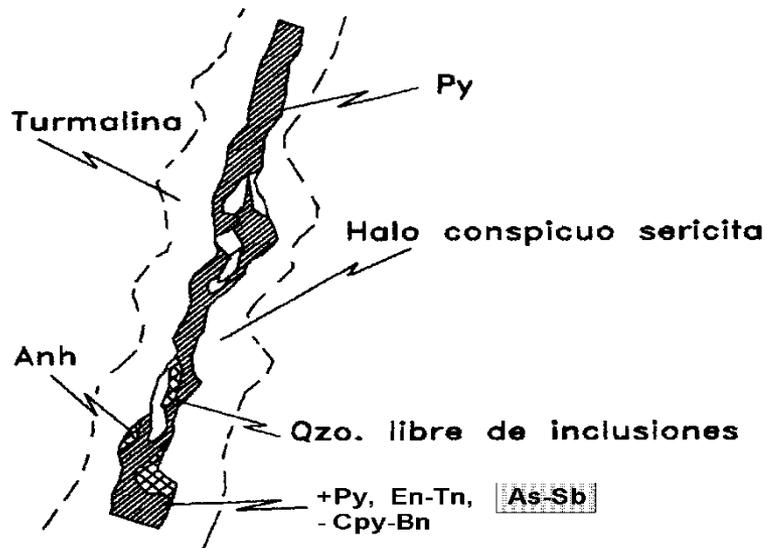
2.- VETILLA TRANSICIONAL TIPO "B"



1.- VETILLA DE QZO. TARDIMAGMÁTICA TIPO "A"

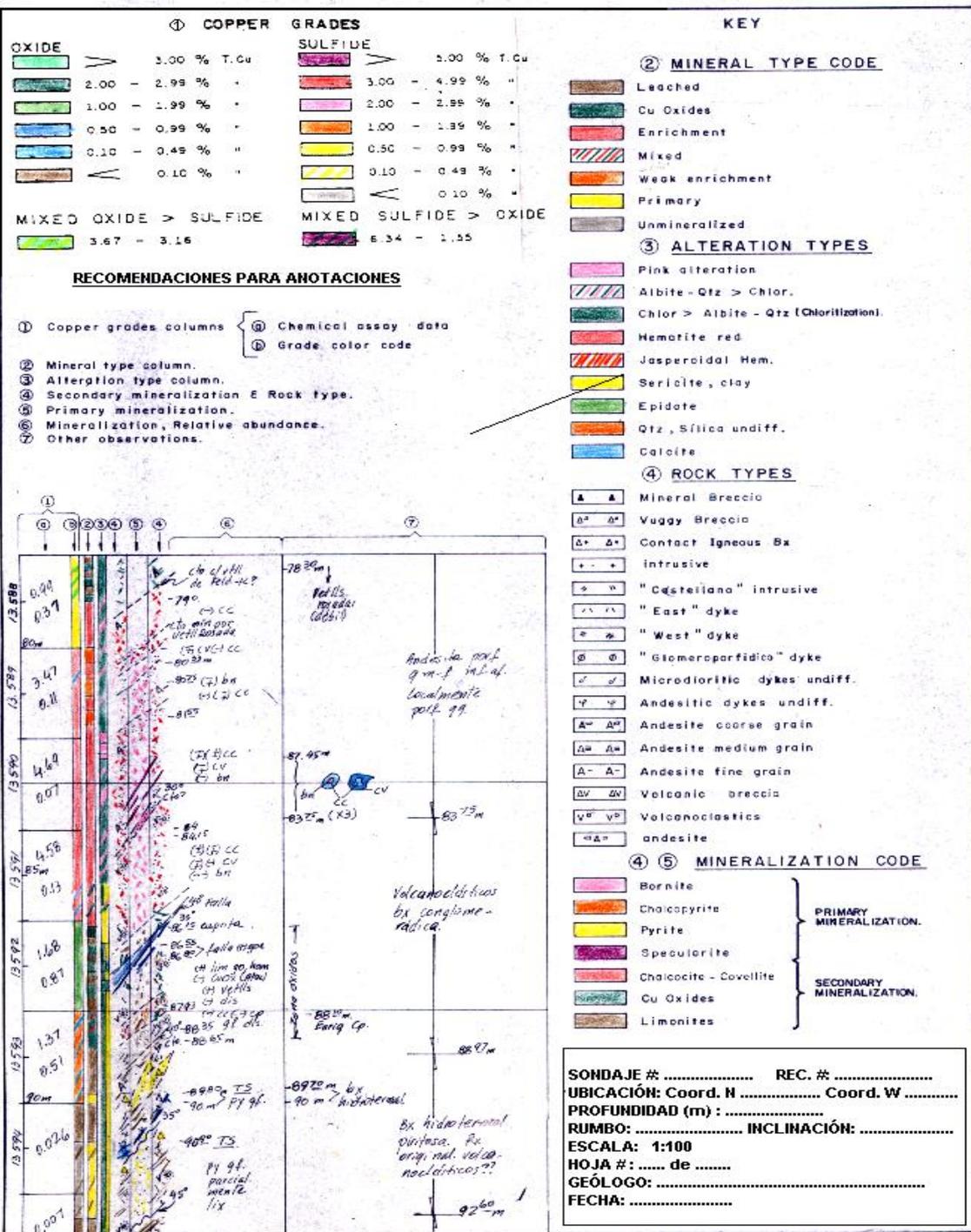


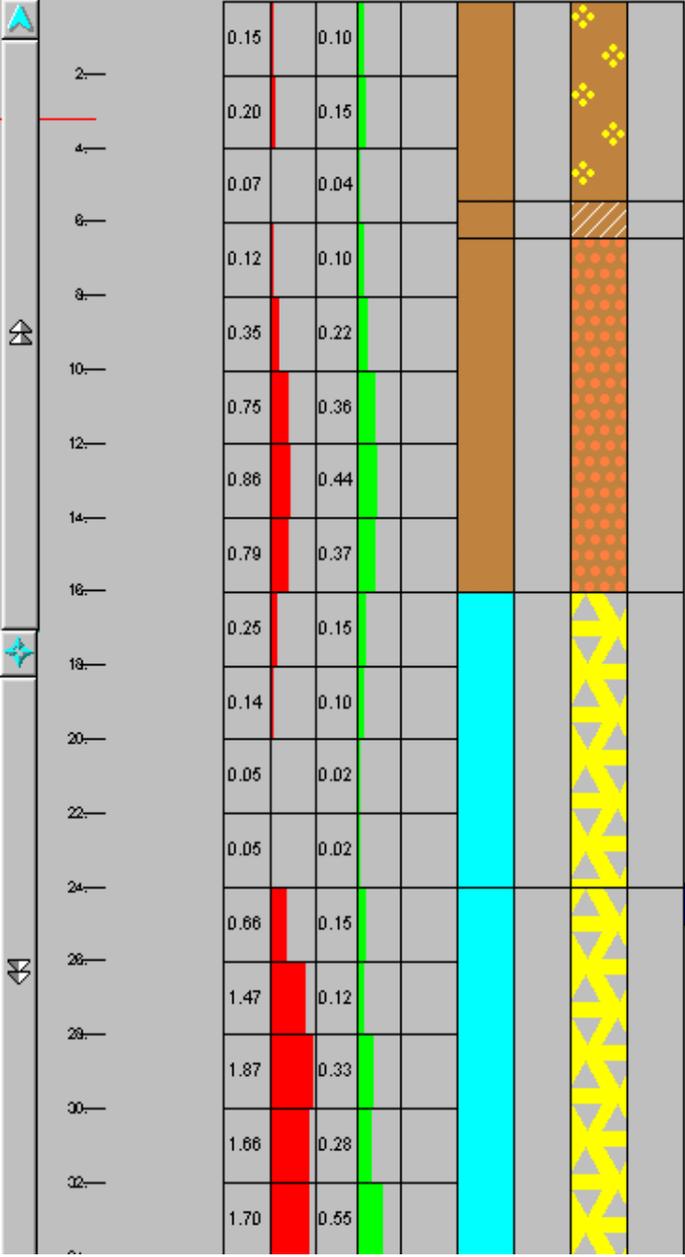
3.- VETILLA HIDROTHERMAL TARDÍA TIPO "D"



CAPTURA DE INFORMACION GEOLOGICA

HOJA DE MAPEO SONDAJES





Descripción de un testigo de sondaje realizada con herramientas estándar de Mapeadores Digitales



Soporte Actual

Desde

Hasta

Soporte

Estructura : Inclinacion

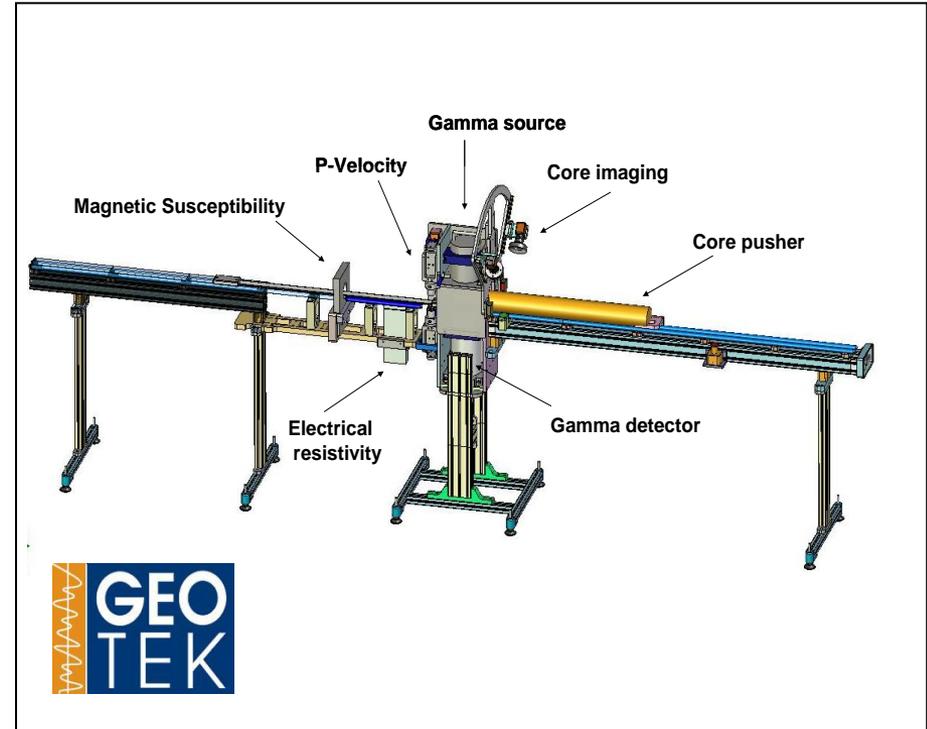
T-101

Posición actual

3.23 Metros

Escala 1:1

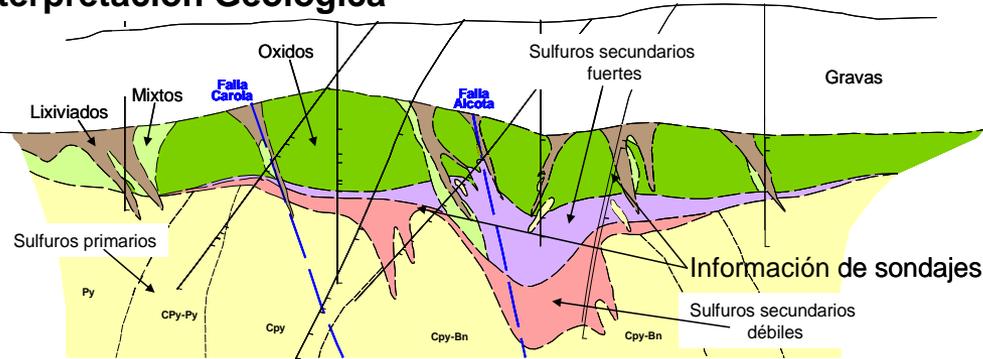
Captura de Información: Hacia donde vamos



- Sistemas de fotografía de alta resolución, DFX, otros y softwares asociados para registrar variables geológicas independientes al sesgo del ojo del geólogo
- Se obtiene una data estadística representativa insesgada para todo el yacimiento

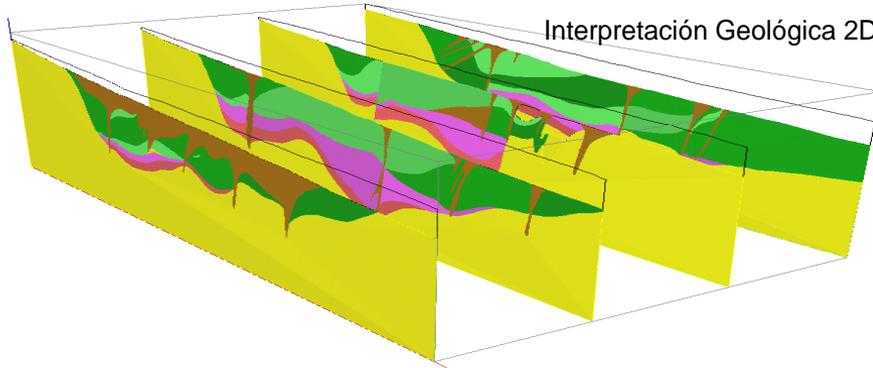
INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA

Interpretación Geológica



La interpretación es en esencia la búsqueda y validación de la continuidad de una variable geológica.

Interpretación Geológica 2D y 3D



Como se interpretan los datos, no es al azar y tiene directa relación con el conocimiento que se tenga del evento geológico que dio lugar a la variable en estudio.

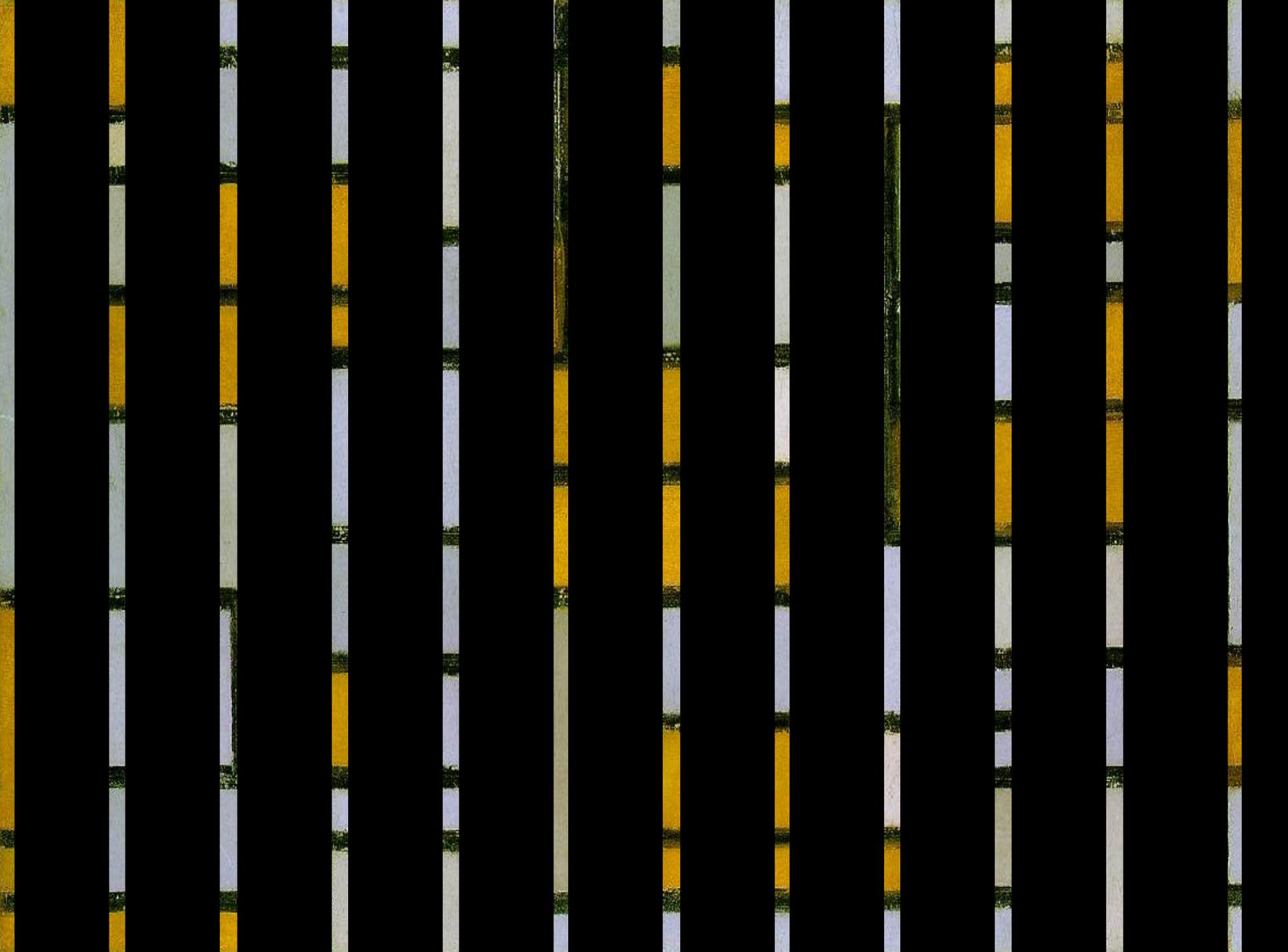
Por ejemplo, si es un evento primario, donde normalmente la mineralización está relacionada al ascenso de fluidos magmáticos-hidrotermales relacionados a la intrusión de un pórfido productivo, su interpretación debe respetar la lógica de su formación.

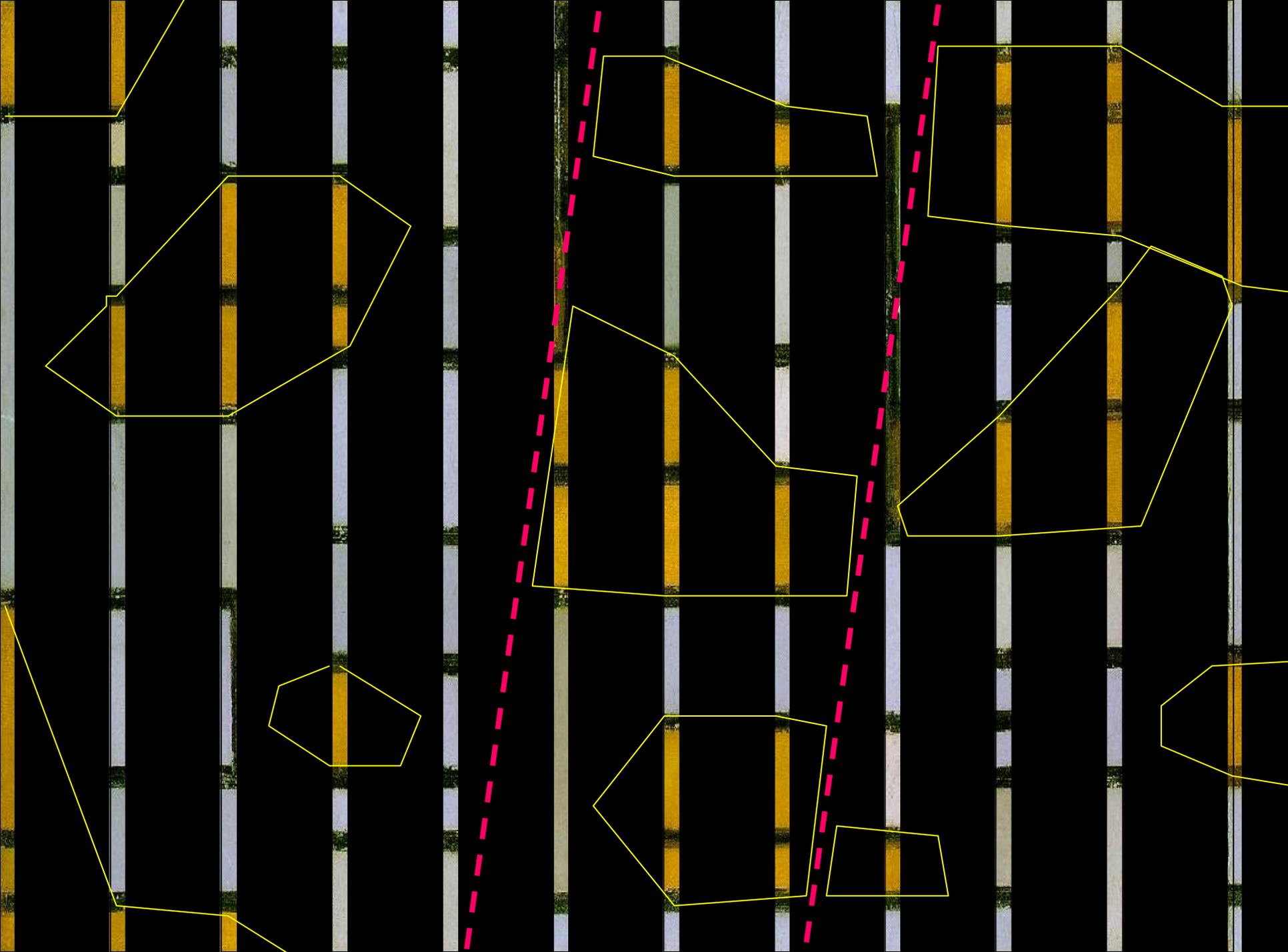
Modelos Geológicos

- Hay muchos “Modelos Geológicos”
- No es el modelo que construimos el problema, sino el que No construimos
- Aquí estamos considerando el modelo de geología como la entrada a una estimación de recursos
- Definición: Un modelo geológico es un modelo científico que resume las hipótesis sobre la geometría, la extensión y características de la mineralización y su entorno - no se trata sólo del 'mineral'

2 ejemplos

- Ejemplo de Riesgo Geológico producto de captura-muestreo de información geológica (1)





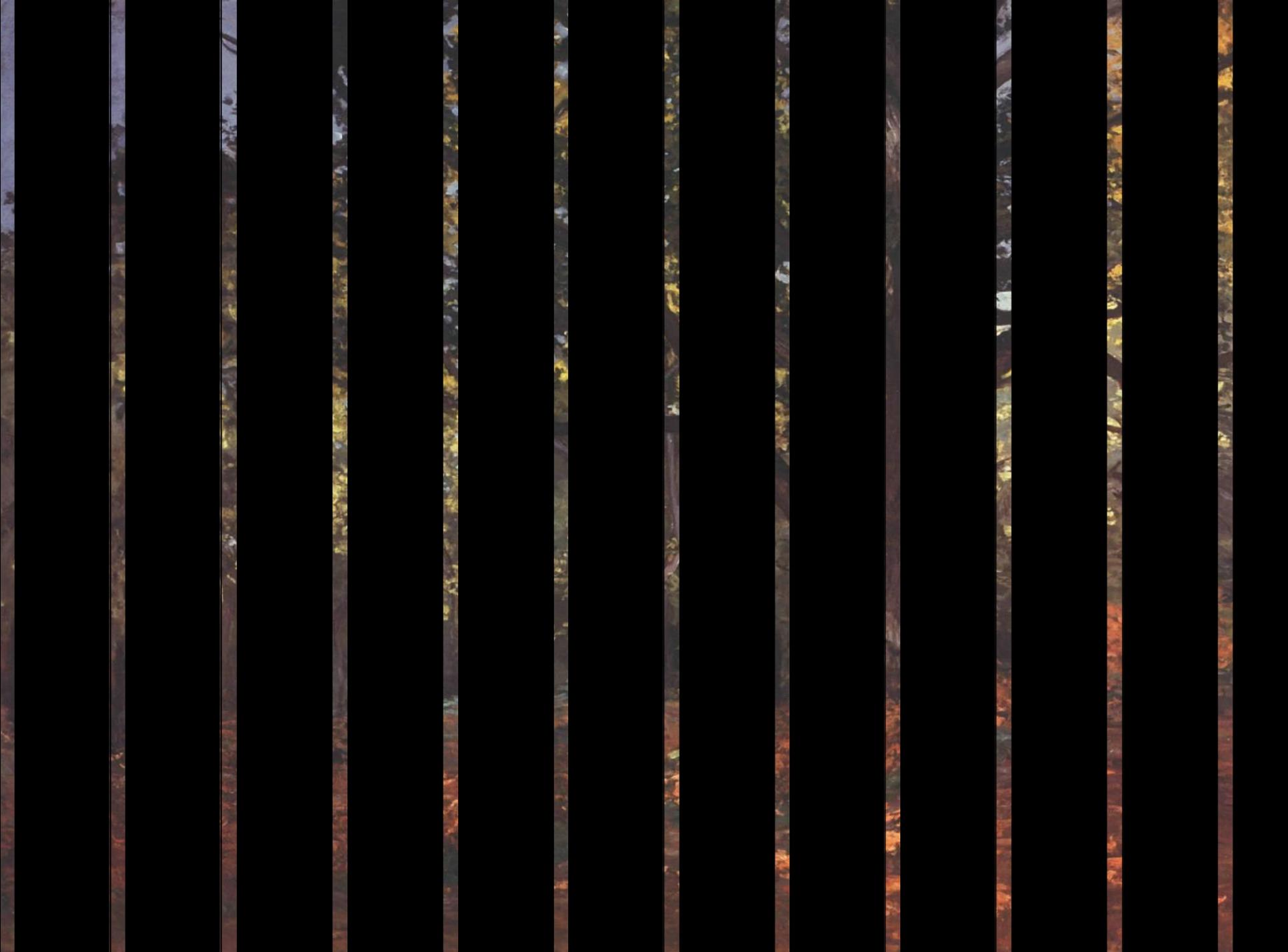


Resumen de este Ejemplo

- Si las geometrías son muy simples, unir los puntos conlleva sólo un riesgo moderado
- El tonelaje global (e incluso el local) se reproducen razonablemente bien, Incluso si el "concepto geológico" no es el adecuado
- Riesgo Relativamente Bajo

Ejemplo 2

- Ejemplo de Riesgo Geológico producto de captura-muestreo de información geológica (1)



Zona Azul

Zona Azul

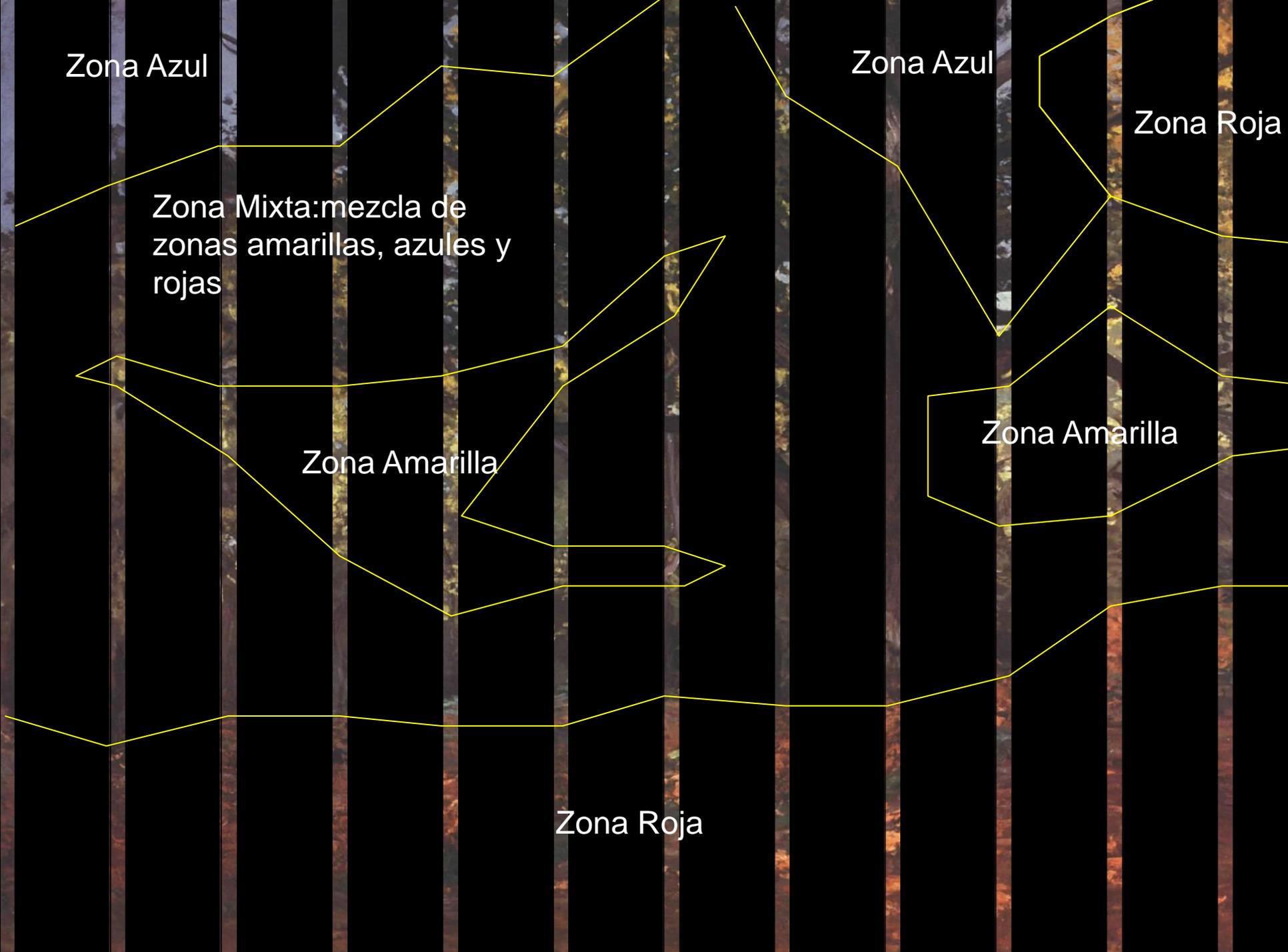
Zona Roja

Zona Mixta: mezcla de
zonas amarillas, azules y
rojas

Zona Amarilla

Zona Amarilla

Zona Roja



Zona Azul

Zona Mixta

Zona Azul

Zona Roja

Zona Amarilla

Zona Amarilla

Zona Roja

**Estructuras Mayores
se perdieron**



Cuantificación del Riesgo Geológico

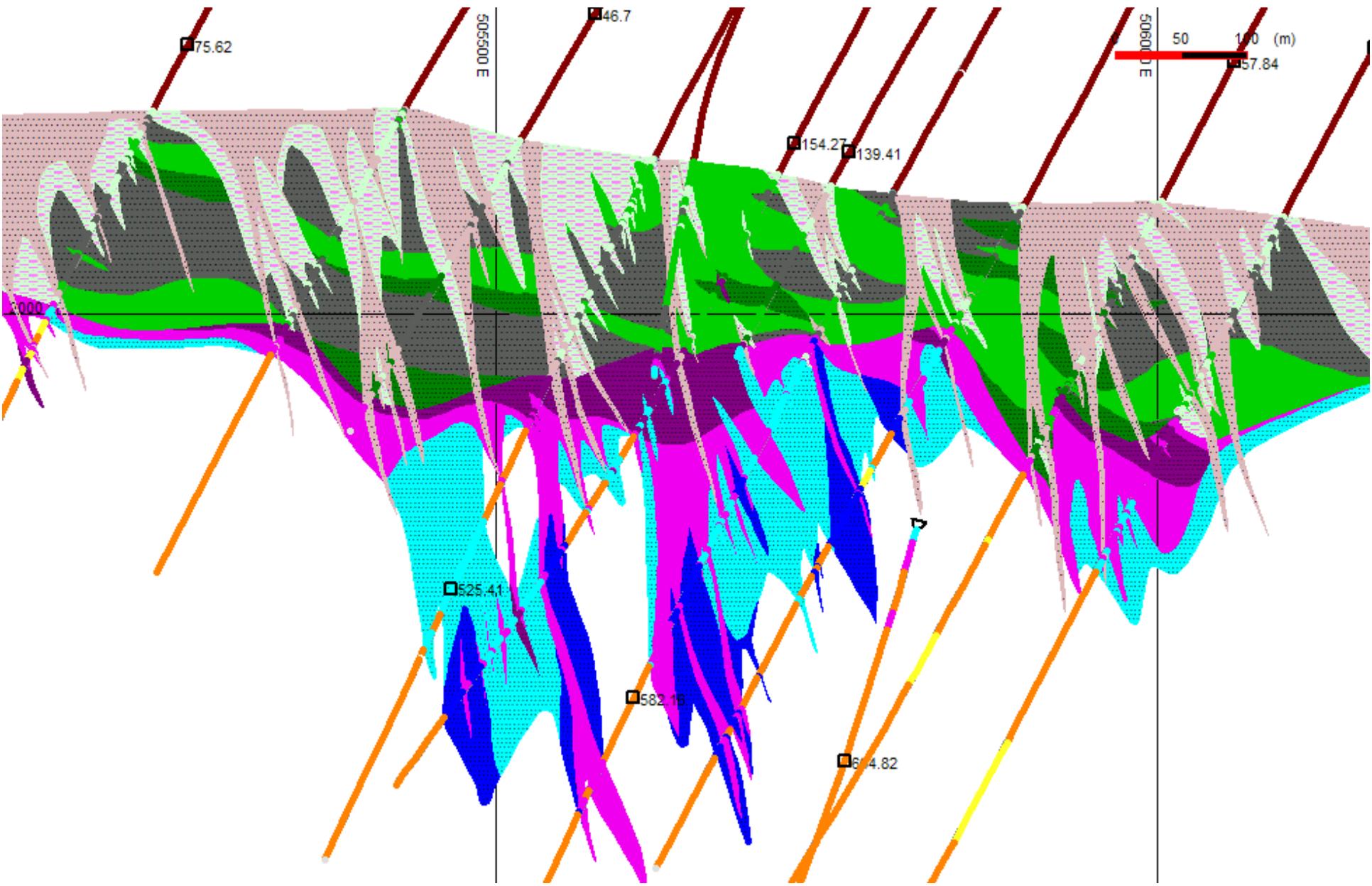
Existe tal cosa?

NO se trata solo de unir datos. Debe existir un cabal conocimiento de los fenómenos geológicos que controlan una determinada mineralización

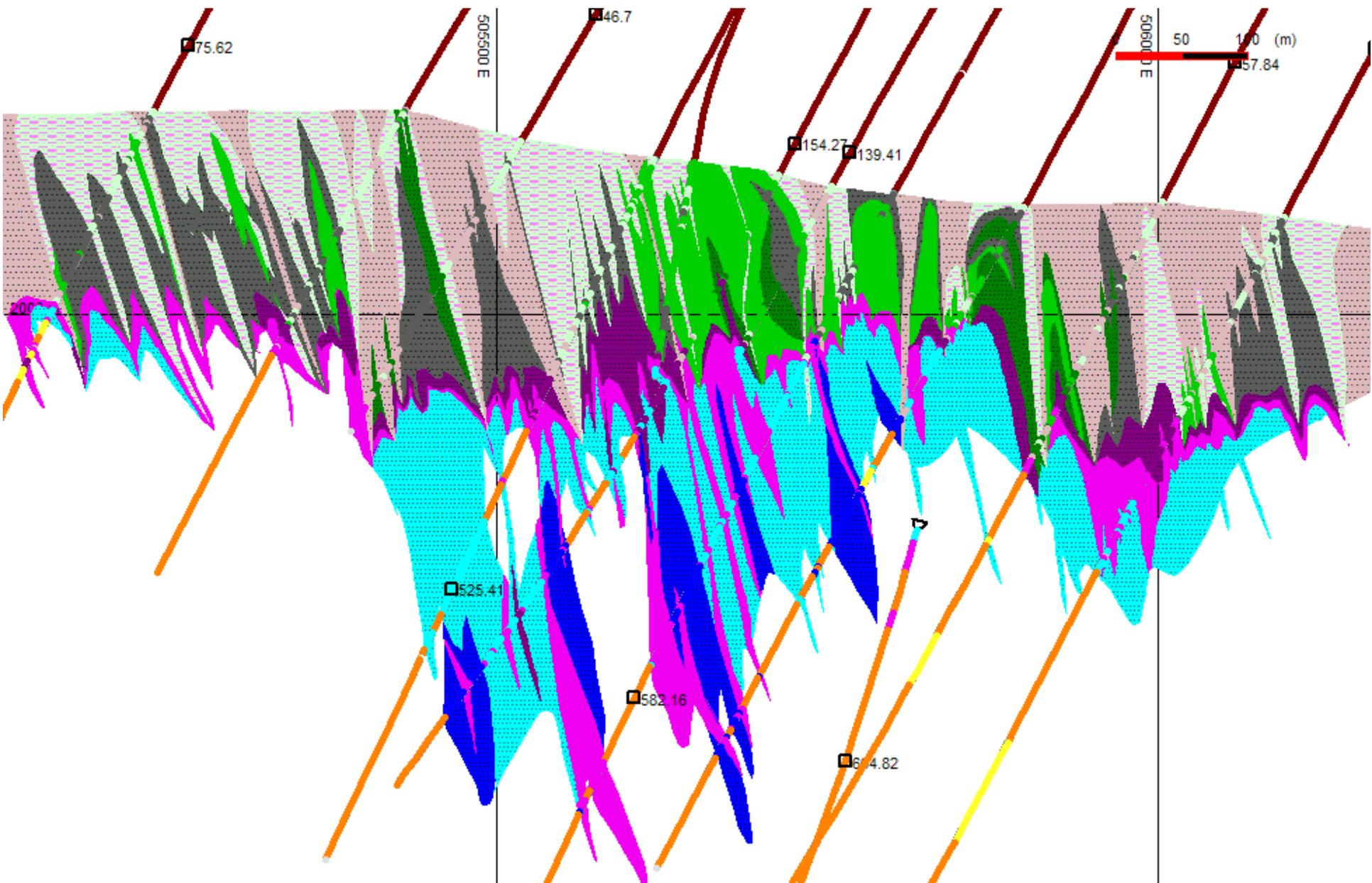
“El modelo Geológico obedece a principios científicos fundamentales - que como un conjunto (litología, alteración, mineralogía, mineralización, pisos, techos, zonas minerales, etc) y **como un todo coherente** explican la formación o génesis de un depósito mineral”

Ejemplo 3: Caso real

MODELO Marzo

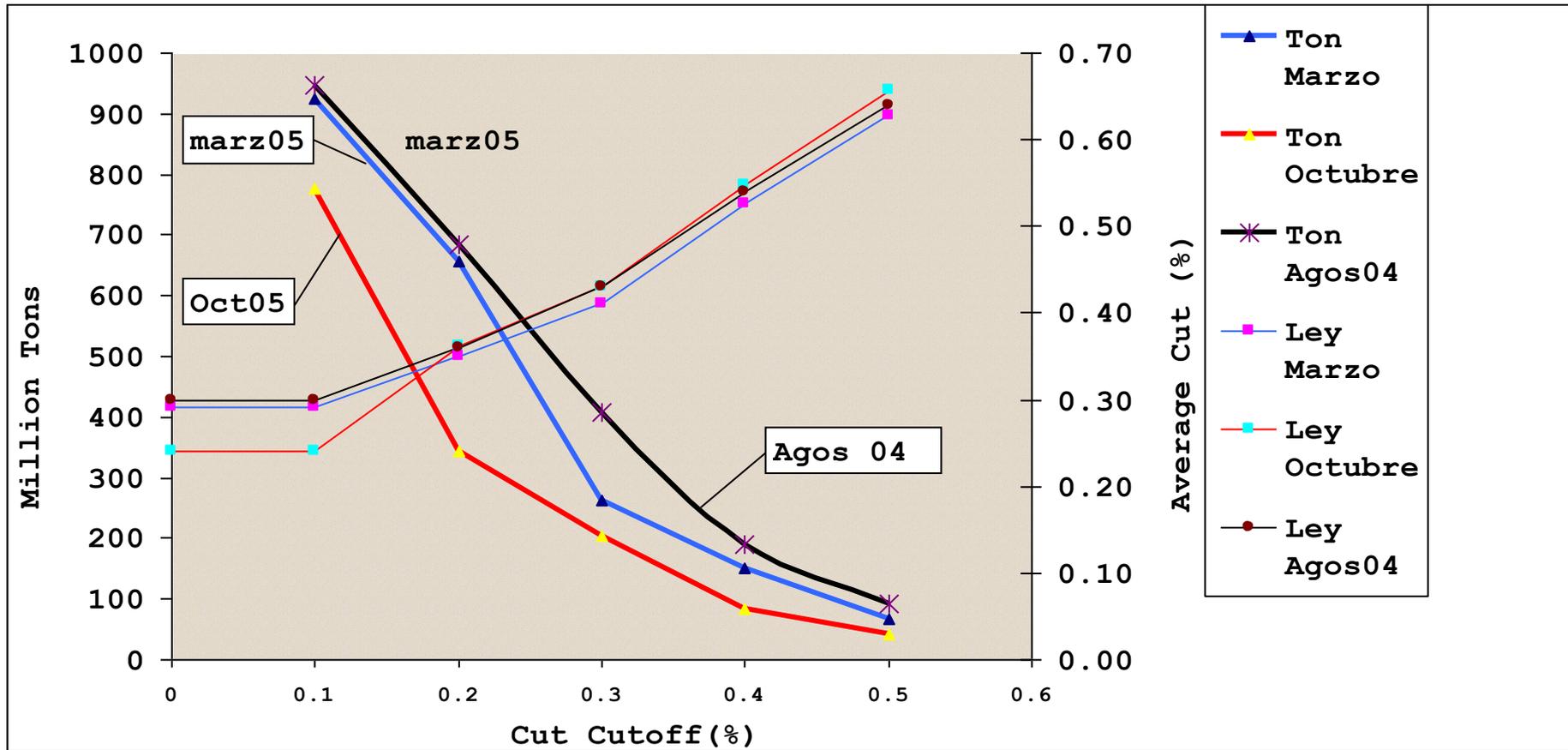


MODELO Octubre



CURVA TONELAJE - LEY UNIDADES OXIDOS

LC	Ago-04		Marz 05		Oct-05	
	ton	ley	M ton	ley	ton	ley
0	945.77	0.3	924.41	0.29	775.79	0.24
0.1	945.77	0.3	924.27	0.29	775.79	0.24
0.2	685.12	0.36	657.56	0.35	343.66	0.36
0.3	408.4	0.43	263.12	0.41	203.42	0.43
0.4	189.7	0.54	151.3	0.53	84.76	0.55
0.5	92.68	0.64	67.62	0.63	43.06	0.66



Recomendaciones

- Considerar Sistemáticamente modelos alternativos
- Contrarrestar los modelos tanto como sea posible, pero siempre respetando la integridad de los datos
- Establecer 'múltiples hipótesis de trabajo'
- Testear o probar zonas-áreas conflictivas y/o claves del yacimiento con sondajes adicionales. “Definir Secciones control tipo “Representativas” y sobre ellas perforar malla densa de sondajes (conocer tempranamente la variabilidad geo-minero-metalúrgica del depósito)
- Pensar en el proceso como si fuera una caracterización del riesgo geológico
- Uso de herramienta de simulaciones para otras alternativas de interpretaciones geológicas 



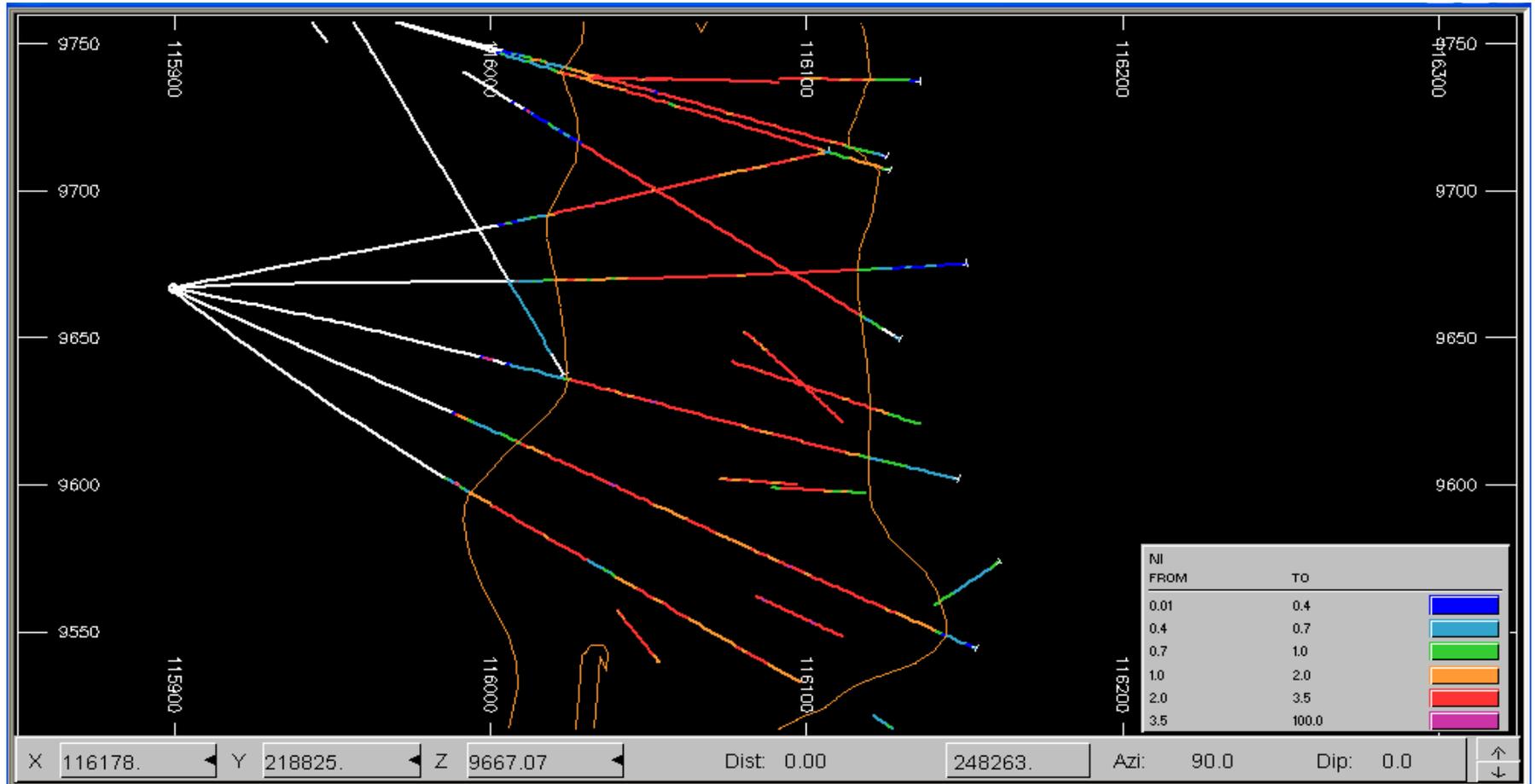
Simulación de la Geología

Existen actualmente varios métodos para simular la geología:

- Sequential Indicator Simulation
- Multiple Point Simulation
- Boolean-based Object Simulation
- Plurigaussian Simulation;
- Others....

En todo caso, mientras mas compleja es la geología, menos realista son los resultados

Simulación de la Geología

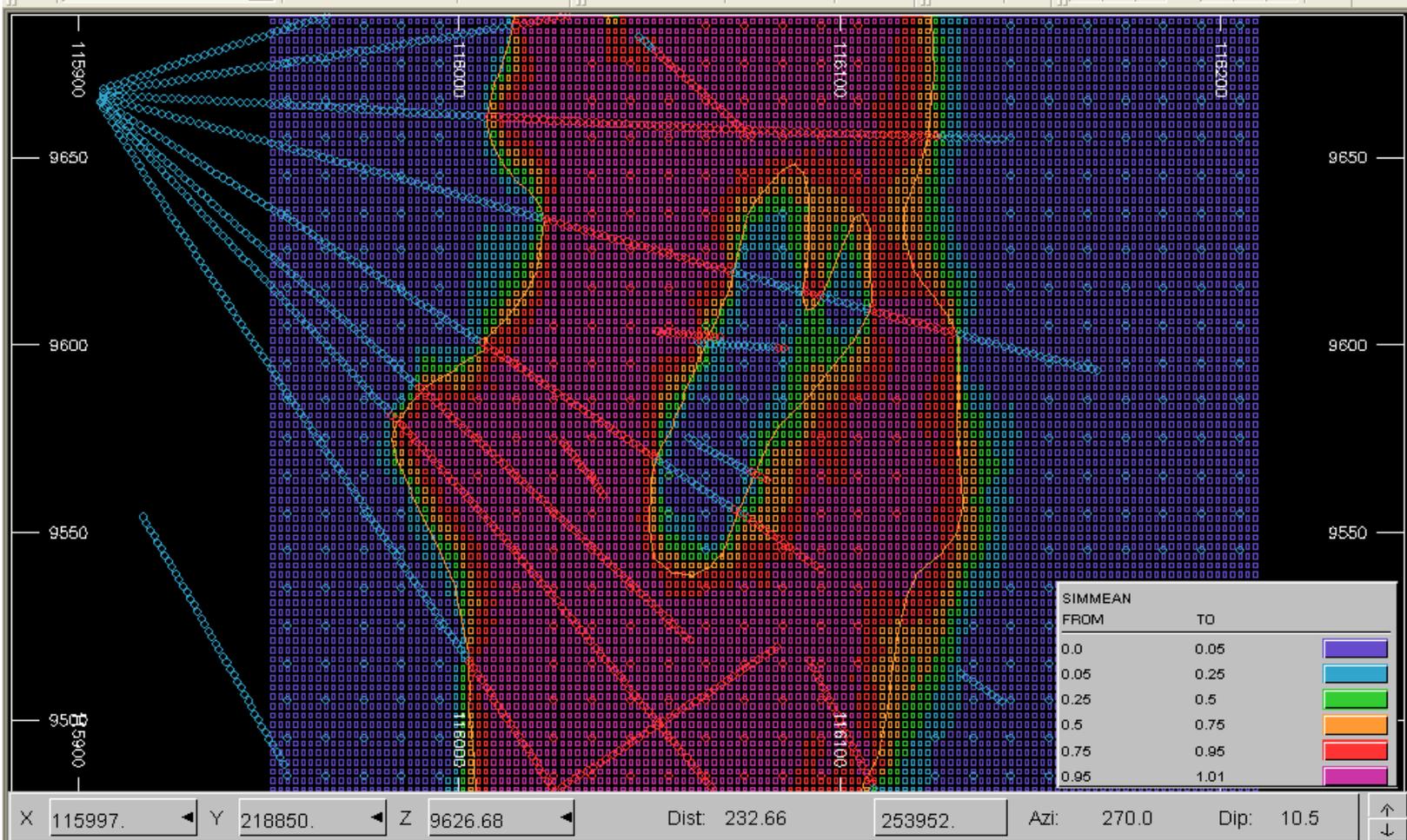


Simulación de la Geología

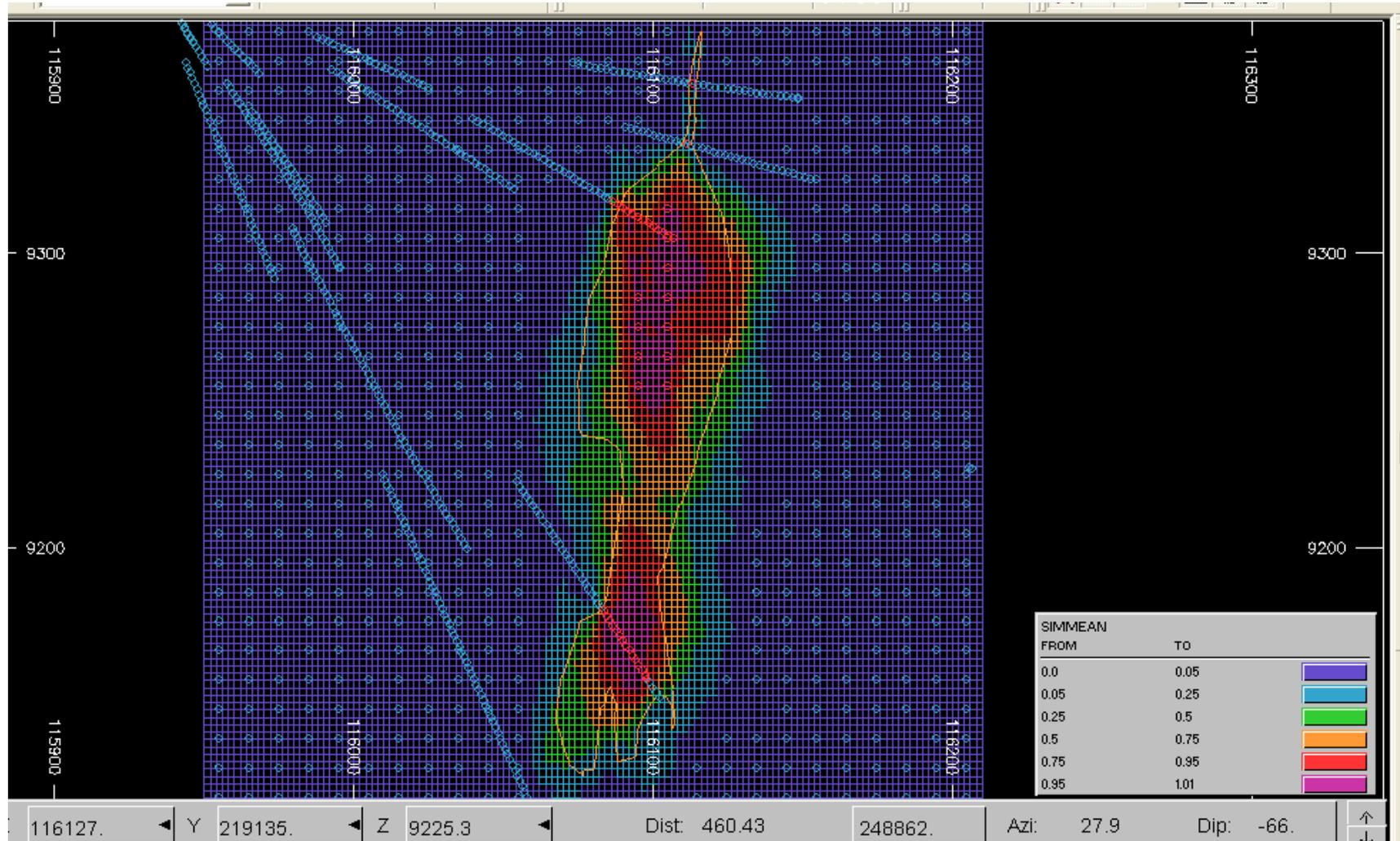
Process:

- ☑ Convert drill intervals to Indicators:
 - ☑ Ore Lithology = 1
 - ☑ Waste Lithology = 0
- ☑ Add 1's and 0's to areas we know are either definitely one rocktype or the other.
- ☑ Generate variograms.
- ☑ Simulate the indicators (say 100).
- ☑ Plot proportion of indicators.

Simulación de la Geología

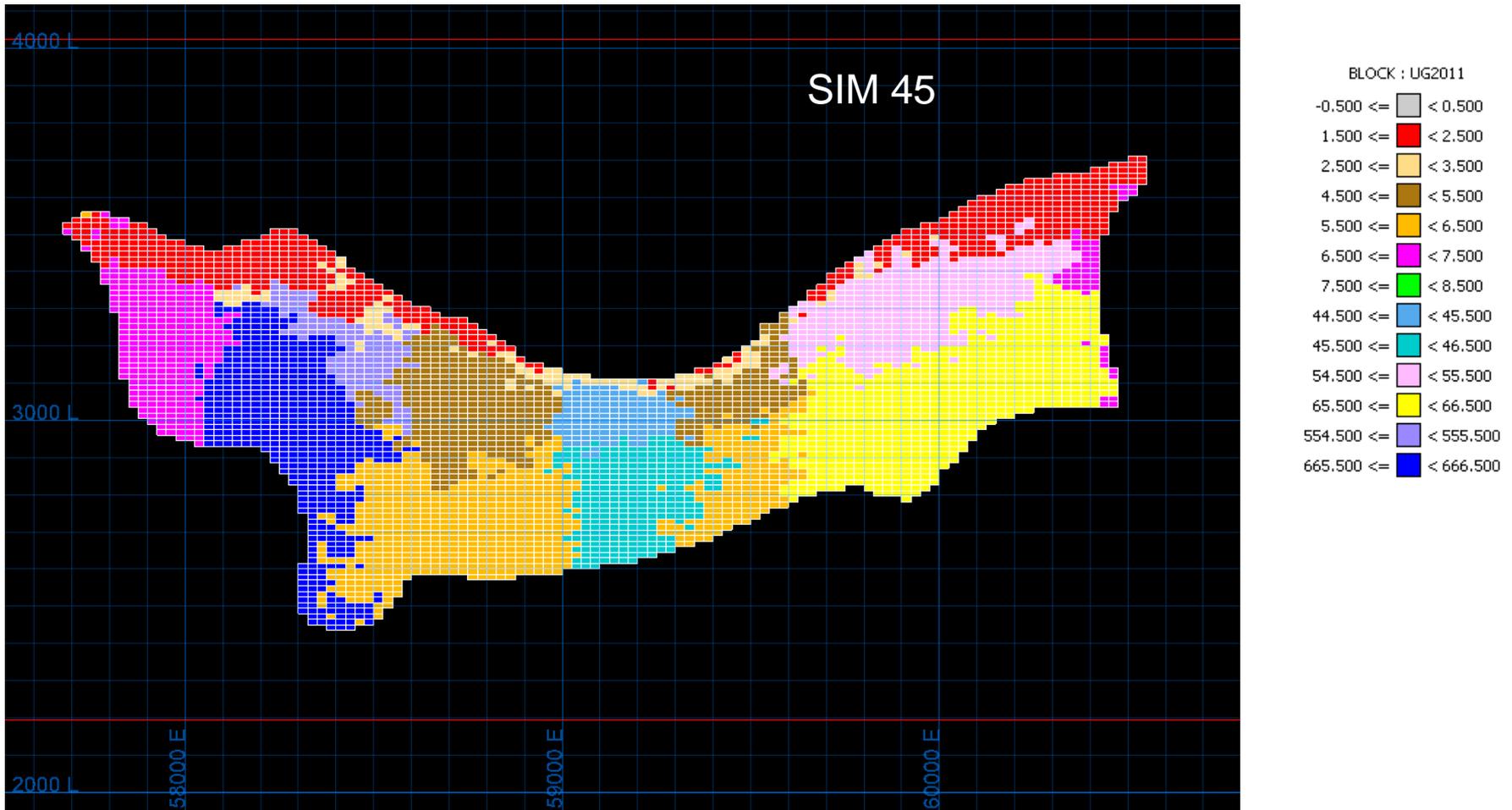


Simulación de la Geología



Simulación de geología

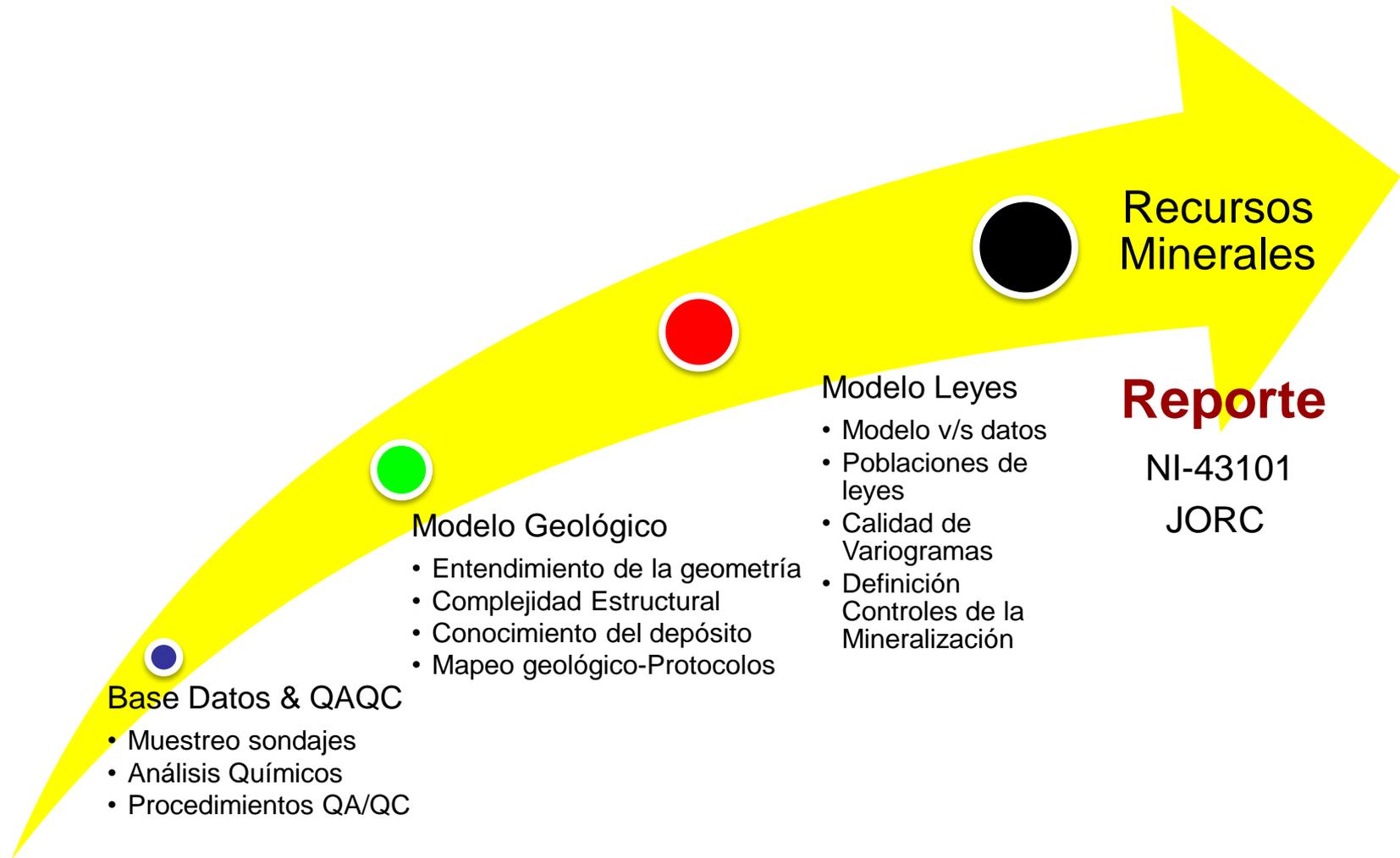
Variabilidad Geológica



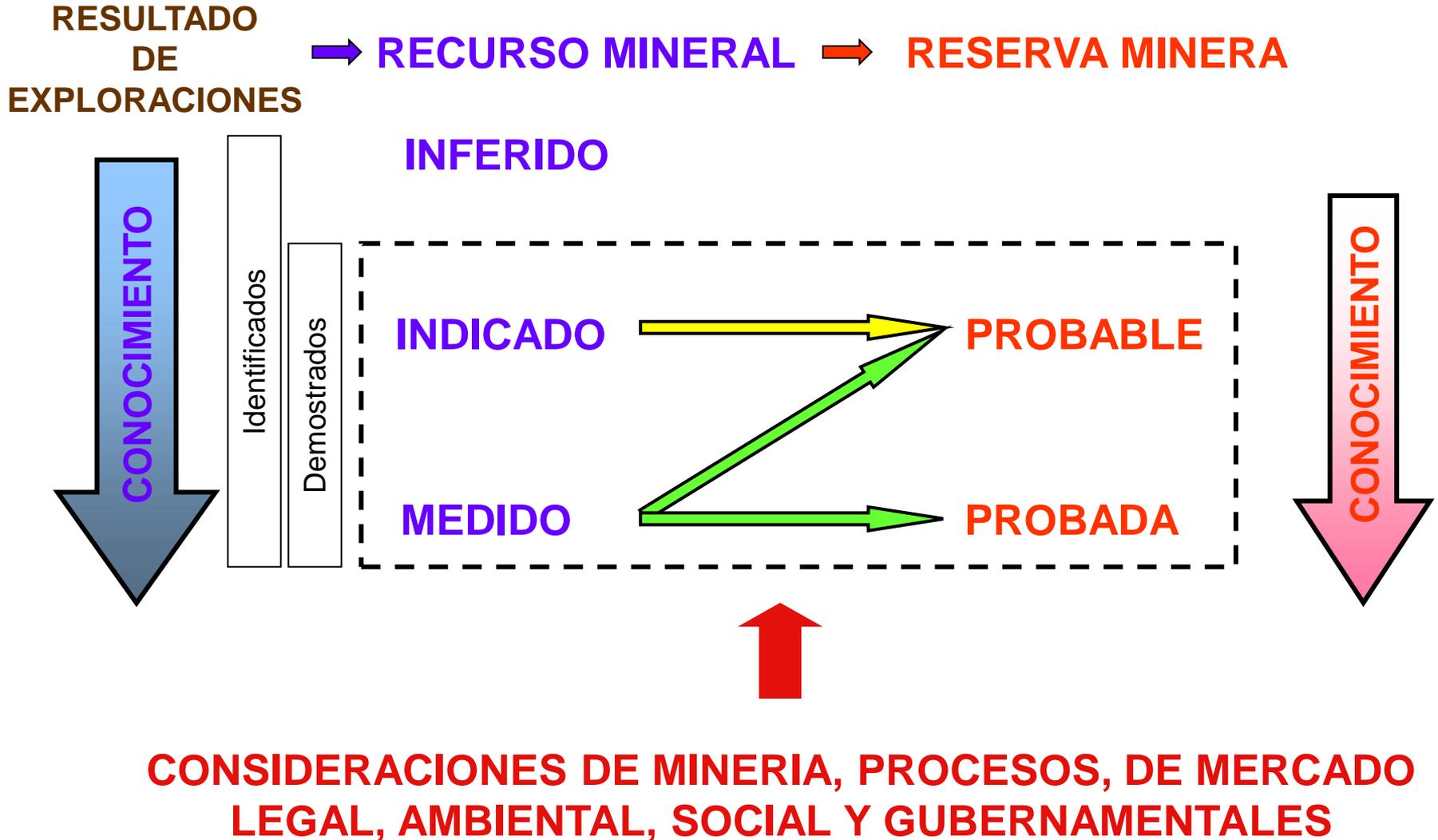
Recursos y Reservas

Criterios de Categorización

Proceso

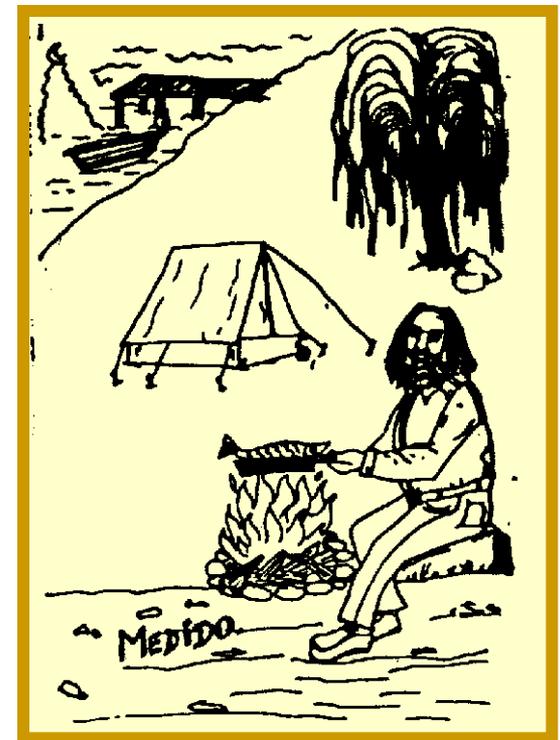
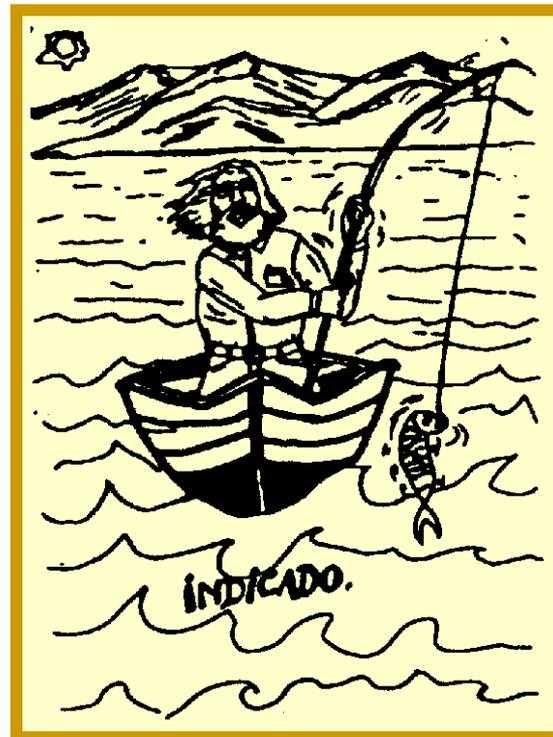
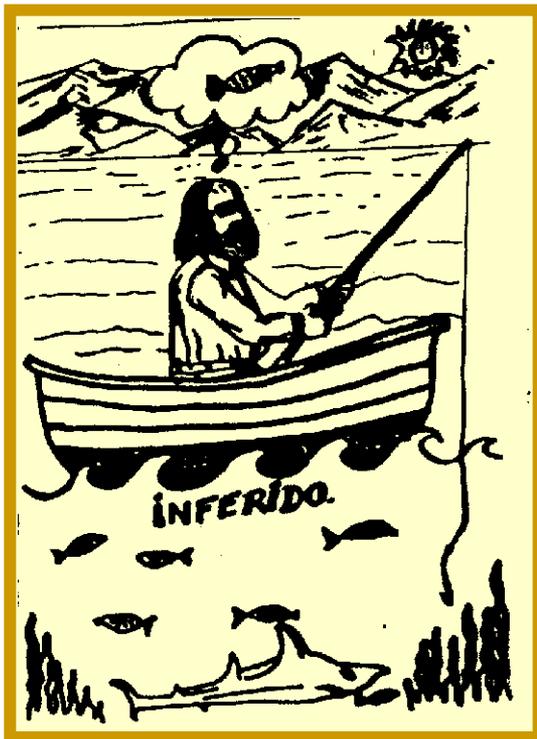


Reporte Recursos- Reservas - JORC



Nota: Material Quebrado y Stocks-Botaderos se reportan en forma separada

ESTIMACION E INCERTIDUMBRES



Recurso Indicado

- Aquella porción de un recurso para el cual el tonelaje, la densidad, su forma, las características físicas, la ley y el contenido mineral, pueden ser **estimados con un razonable nivel de confianza**. Está respaldado por una detallada y confiable información de exploración, muestreo y ensayos, obtenida a través de técnicas apropiadas de captura de datos desde afloramientos, zanjas o trincheras, rajos, laboreos subterráneos y sondajes. Los puntos de muestreo están demasiado espaciados o inapropiadamente espaciados para confirmar continuidad geológica y/o de ley, pero están lo suficientemente espaciadas como para asumir la continuidad

Recurso Medido

- Aquella porción de un recurso para el cual el tonelaje, la densidad, su forma, las características físicas, la ley y el contenido mineral, pueden ser **estimados con un alto nivel de confianza**. Está respaldado por una detallada y confiable información de exploración, muestreo y ensajes, obtenida a través de técnicas apropiadas de captura de datos desde afloramientos, zanjas o trincheras, rajos, laboreos subterráneos y sondajes. Los puntos de muestreo están espaciados lo suficientemente próximos como para confirmar continuidad geológica y de ley

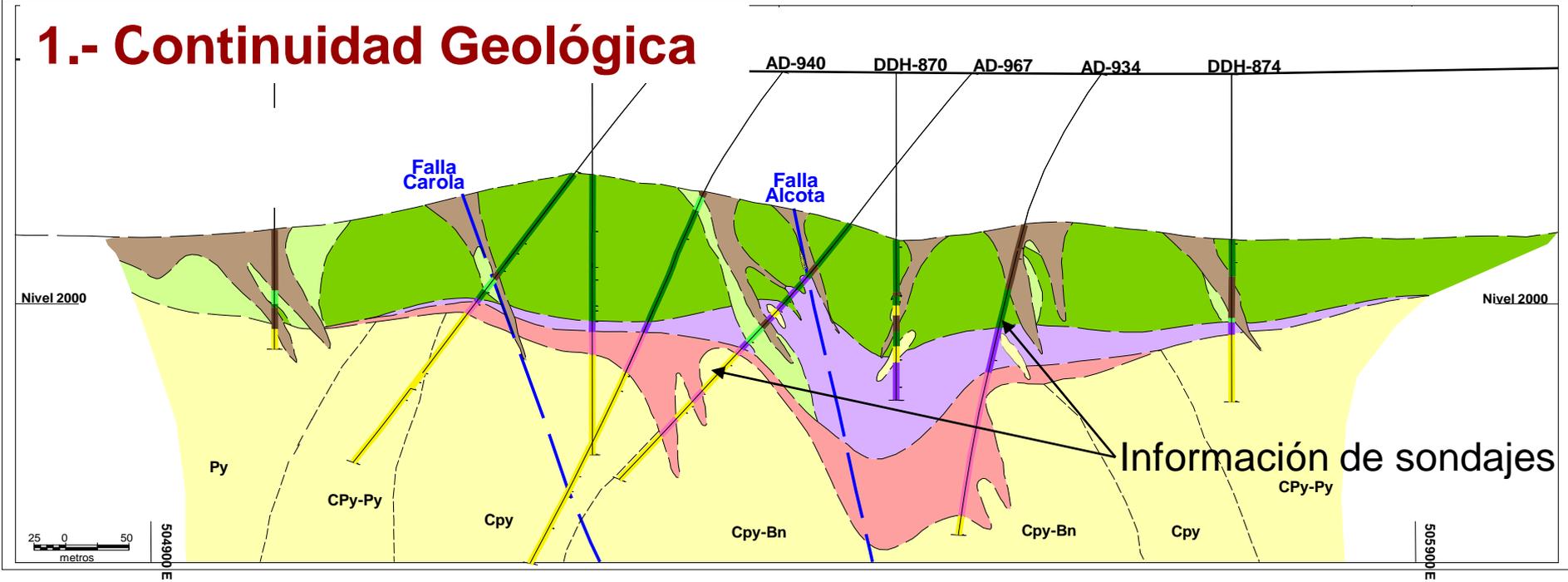
CRITERIOS DE CATEGORIZACIÓN DE RECURSOS

Componentes que debe incorporar la categorización:

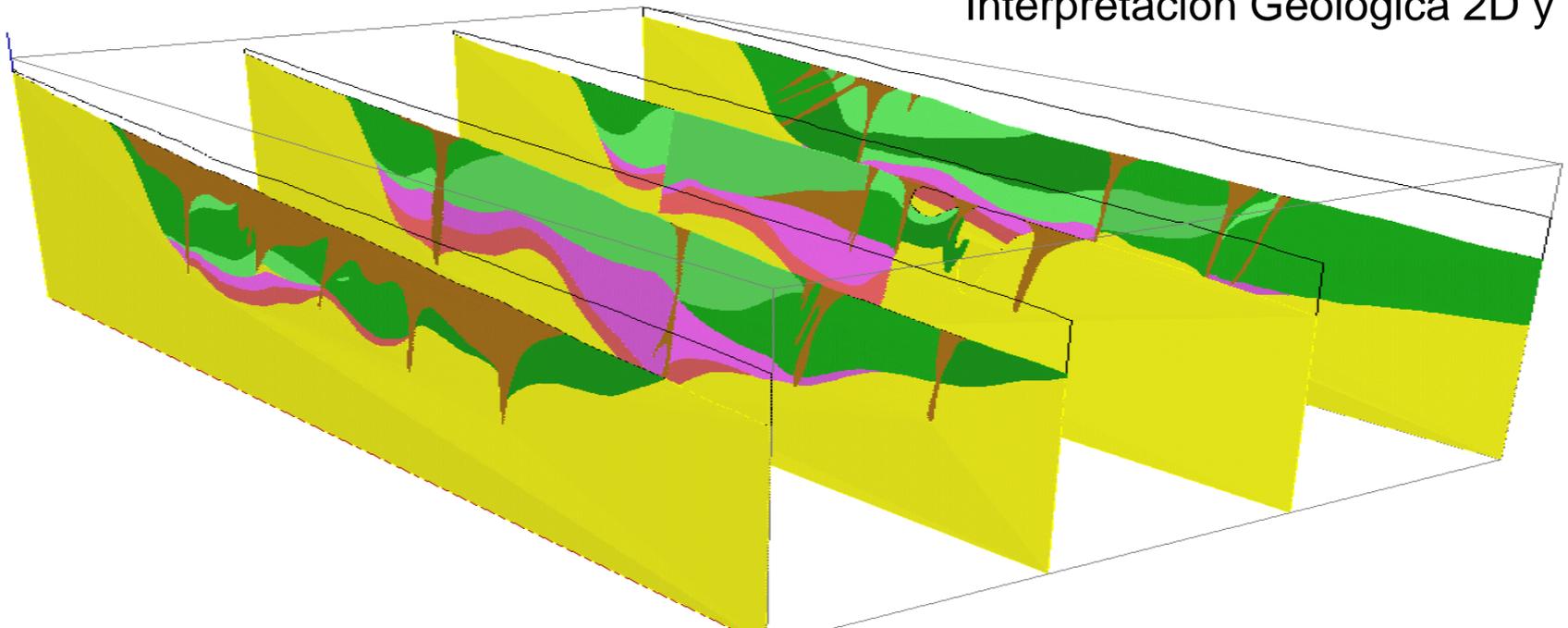
- 1 Continuidad de borde geológico;** basado en la robustez del modelo geológico conceptual
- 2 Calidad de muestra;** basado en la calidad de los análisis químicos, recuperación de muestra, desviación de trayectorias, densidades, etc.
- 3 Continuidad de leyes;** basado en protocolos de estimación

Categorización se realiza normalmente a soporte de bloque de estimación

1.- Continuidad Geológica



Interpretación Geologica 2D y 3D



2. Calidad de Muestras

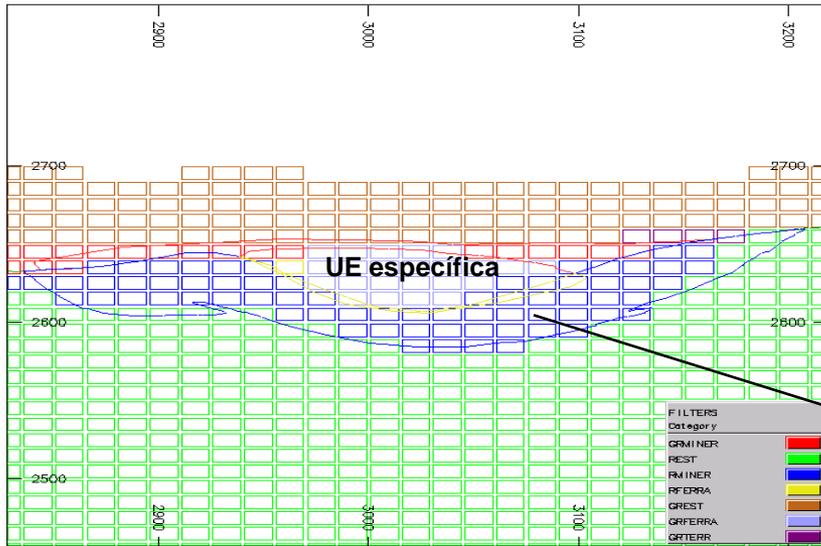
Hole	From	To	Sample	Type	QAQC	Downhole Survey	Recovery	Wet?	Code
AA01	0	10	aa003	DDH	Yes	Yes	93.5	No	A
RR01	0	10	aa003	RC	Yes	Yes	-	No	B
DD01	0	10	aa003	DDH	No	Yes	93.5	No	B
CC01	0	10	aa003	DDH	Yes	Yes	35	No	B

A.- Buena; DDH, suficiente chequeos QA/QC, buena recuperación, suficiente control de trayectorias

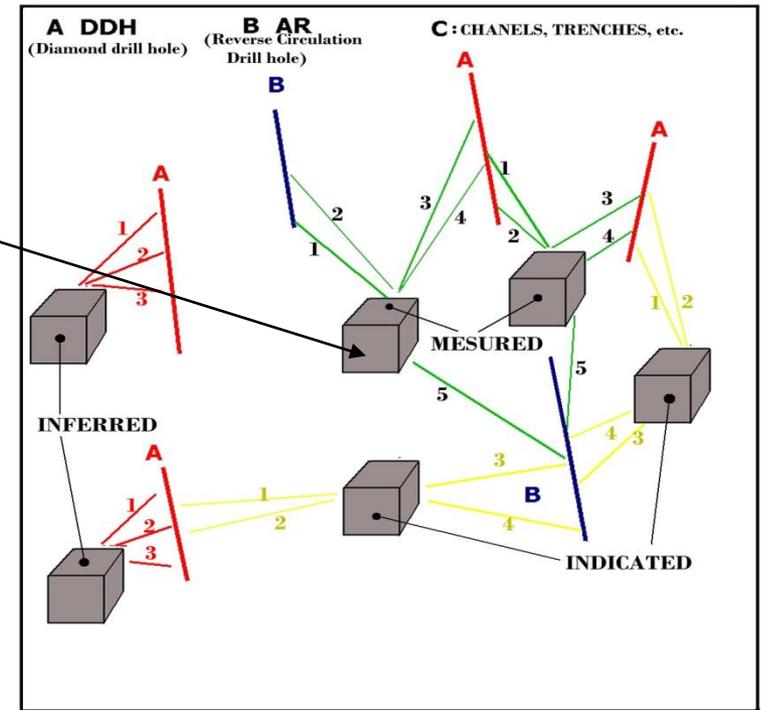
B.- Suficiente; AR secos, diámetros DDH pequeños, algunos chequeos QAQC, algunos controles de trayectorias, buena recuperación

C.- Pobre; muestras húmedas, pozos de tiro, muestras chip, muestras canales, baja recuperación, sin control de trayectorias

3.- Continuidad Geológica de Leyes



Criterio de Categorización
(Aplicado sobre cada bloque individual)



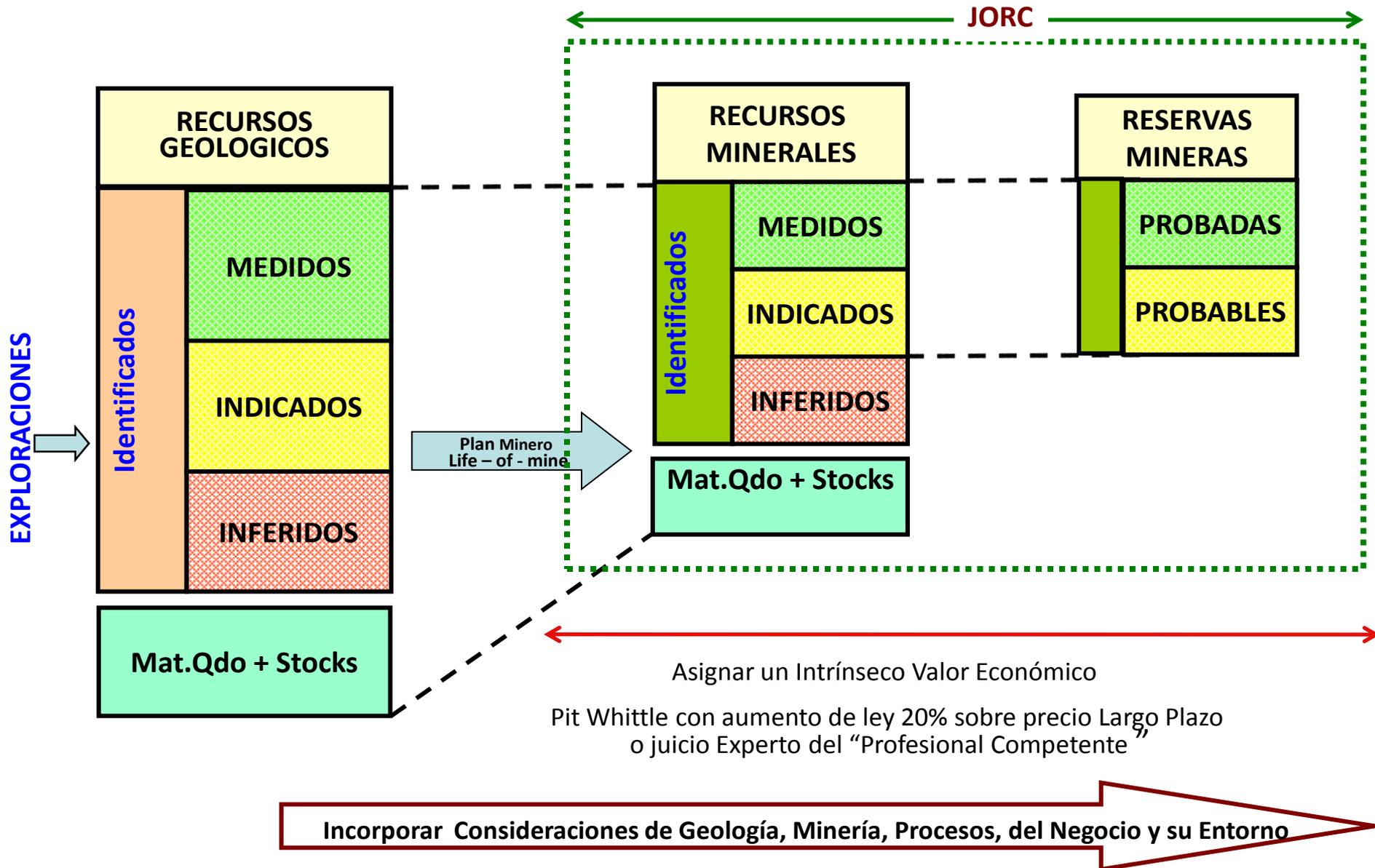
2D Sección Representativa

(Definición de la Unidad Básica de Cubicación-
Estimación Tamaño de Bloque (Ej.:20*20*20 o10*10*10))

Search Condition	# Samples	# Octants	# drill holes
Measured	5	3	3
Indicated	4	3	2
Inferred	3	1	1

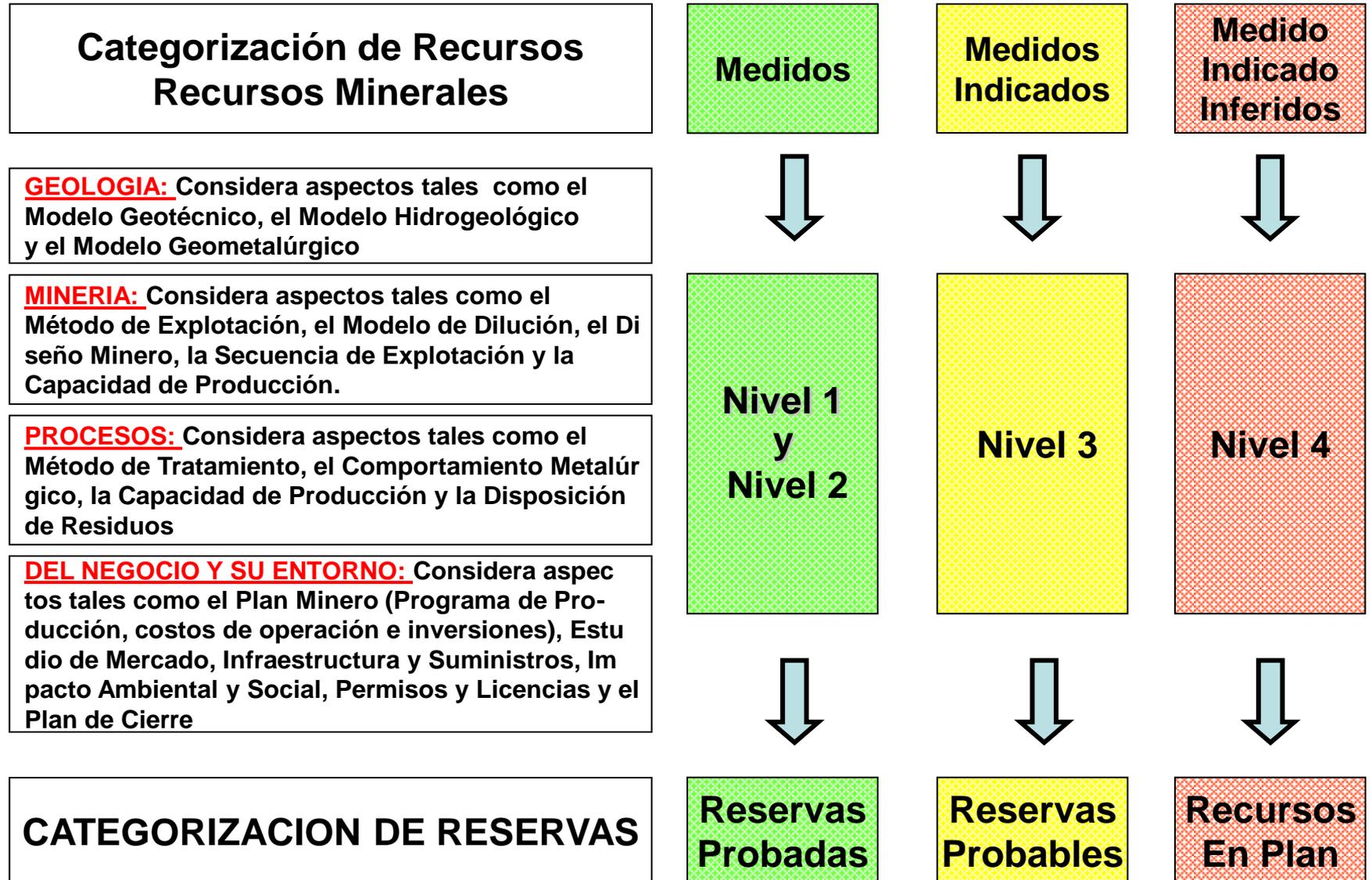
Dependiendo de la complejidad-
variabilidad de cada depósito

Reporte de Recursos y Reservas



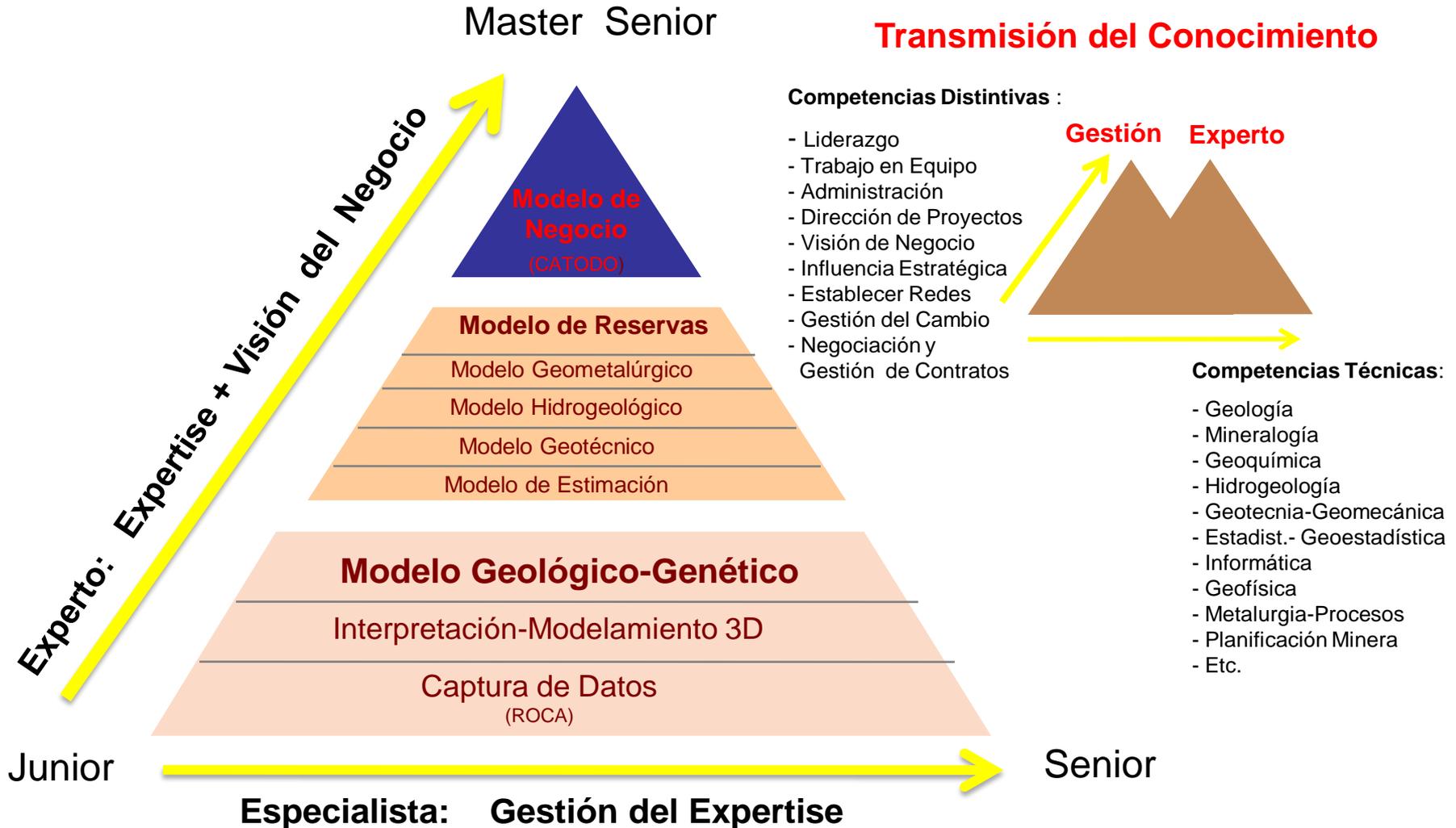
Nota: Material Quebrado y Stocks se deben reportar en tablas separadas (JORC)

Categorización de Reservas Mineras



RECURSOS Y RESERVAS VALIDADOS POR LOS PROFESIONALES RESPONSABLES

EJES CONCEPTUALES LIDERAZGO EXPERTO



Experto: **Agrega valor** a la empresa a través de la integración de su **expertise*** en un determinado campo o área técnica con la **visión del negocio**.

Expertise : conocimiento técnico – experiencia - sentido común – prestigio

- **Muchas Gracias**