



# MODELAMIENTO GEOLOGICO PASADO, PRESENTE y FUTURO

Alejandro Cáceres , Junio 2015



Geoinnova

Geoinnova Consultores Ltda.

- Modelos geológicos
- Etapas modelamiento
- Posibles caminos para el modelamiento
- Conclusiones

- Un modelo es una representación de un objeto o fenómeno en el mundo real. El modelo recoge la estructura y características esenciales del objeto o fenómeno a estudiar.
- El modelo se utiliza para explorar, entender, predecir o simular el fenómeno modelado.

Un modelo geológico es una representación de la distribución espacial de atributos geológicos y petrofísicos basado en información fragmentaria.

- Requiere información de entrada
- Conceptualización geológica
- Construcción
  - Interpretativo

# Necesidades actuales de modelamiento

- Estimación de **recursos** y contaminantes:
  - Modelos de Multivariables, CuT, CuS, Mo, Au, Ag, As, FeT, Fes....etc

Tabla periódica de los elementos con anotaciones de Galileo Galilei y Niels Bohr. Galileo Galilei es mencionado en el grupo 13 (Bor) y Niels Bohr en el grupo 18 (Gases nobles). La tabla muestra los elementos con sus símbolos, números atómicos y nombres.

- Modelamiento de factores modificantes
  - Modelos geometalúrgicos de Dureza,
  - Recuperación
  - Mineralogía de ganga
  - Ley de concentrado, etc.
  - Modelo geotécnicos

Generar un **modelo predictivo** del comportamiento de atributos geológicos/petrofísicos de interés económico o para el proceso minero.

**MODELOS**

**≠**

**REALIDAD**

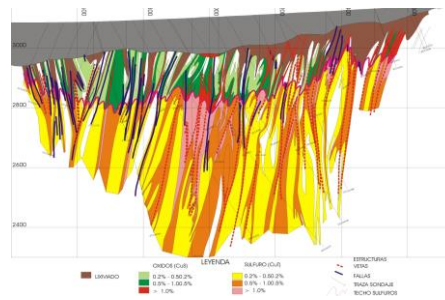


# Etapas asociadas a modelo geológico

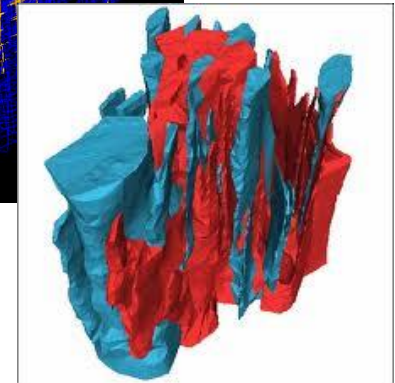
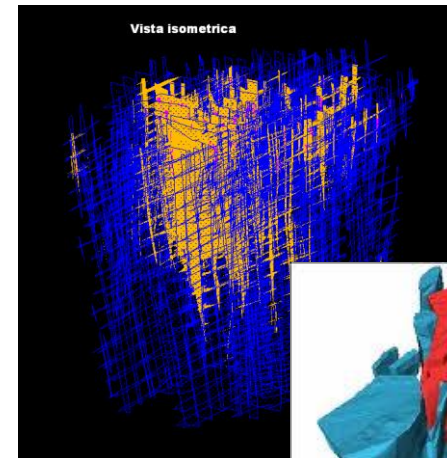
## Mapeo



## Conceptualización geológica



## Construcción de modelos





## Mapeo



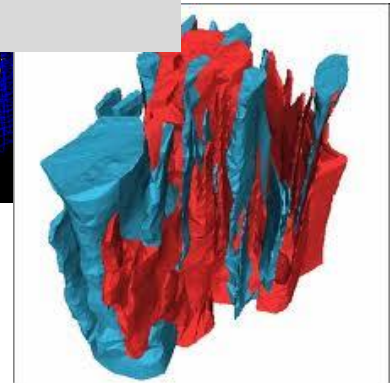
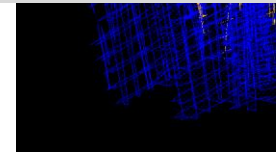
## Conceptualización geológica

**Ojo:**

**Se tiende a pensar que las etapas son  
secuenciales**

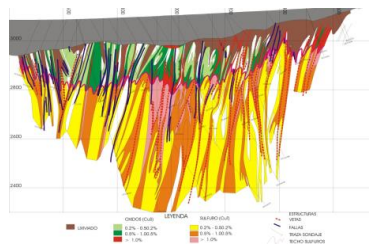
**Se confunde modelamiento geológico con  
construcción de modelos geológicos**

modelos

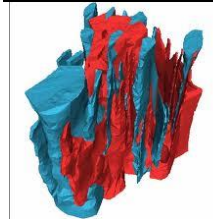
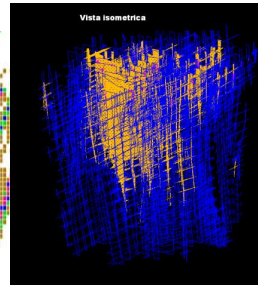
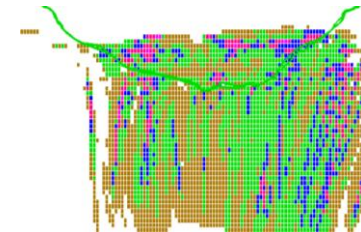


# Proceso integrativo → mejores resultados

## Conceptualización geológica



## Construcción de modelos

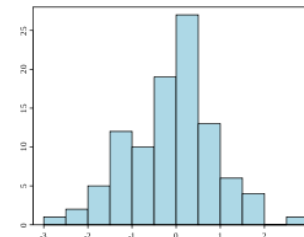


## Mapeo/Manejo



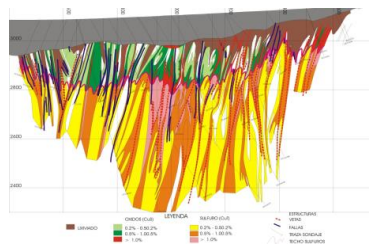
+

## análisis de datos geológicos

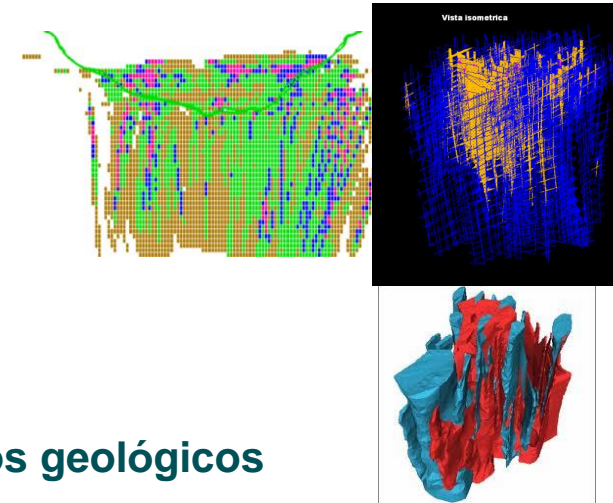


# Proceso integrativo → mejores resultados

## Conceptualización geológica



## Construcción de modelos

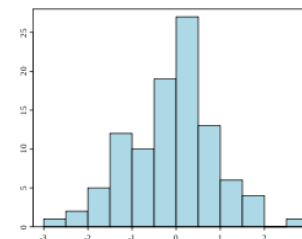


## Mapeo/Manejo

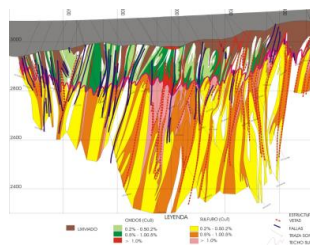


+

## análisis de datos geológicos



## Conceptualización geológica

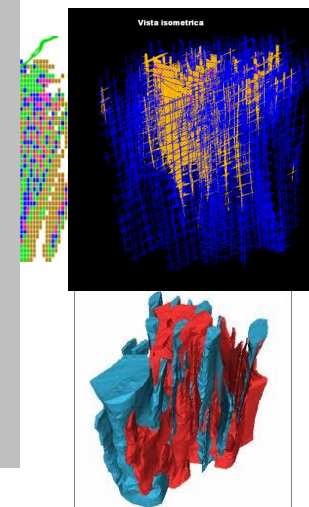


**Romper método Taylorismo**

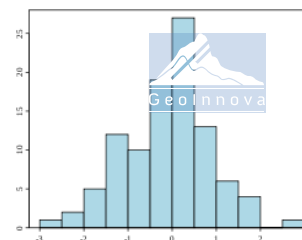
**Evitar “línea de producción” geológica.**

**Capacitación, discusión e interacción de personas es fundamental**

## Construcción de los



+



1. Mapeo, captura y manejo de información
2. Conceptualización
3. Construcción
4. Validaciones

# **1.-Mapeo-captura de información**

- El mapeo geológico de sondajes → clasificación visual de atributos geológicos



- Mapeo **cuantitativo** y **sujeto a ciertas dificultades**



# Dificultades en el mapeo

- Dificultad de **estimar** los porcentajes de especies minerales y umbrales de definición
- Dificultad de **distinguir** entre tipos de litología o alteraciones.
- Baja recuperación de testigos
- Mapeo de **patinas** más que de los minerales subyacentes
- Alta rotación de personal
- Múltiples personas mapeando una depósito con distintos criterios
- Personal no instruido en el depósito
- No uso de los análisis químicos al momento de mapear
- No corrección de mapeos con información de leyes



## Análisis químicos


1. Leyes de cobre altas
2. Solubilidad baja
3. Leyes de cobre bajas
4. Leyes altas de Molibdeno
5. Bajo consumo de acido



## Mapeo

1. Estéril, Lixiviado
2. En óxidos verdes
3. En enriquecimiento sec.
4. Sin Molibdenita
5. En Rocas calcáreas

## Inconsistencias mapeo traspasadas a:

- 
- Modelamiento geológico
  - Estimación de recursos
    - Recursos
    - Contaminantes
  - Modelos Geometalúrgicos
    - Rec.
    - Dureza
    - Calidad de concentrado

***Distorsión en valorización de proyectos, problemas de producción, falta de predicción, etc.***

## **Necesidad de QAQC de mapeo geológico**

**Se requieren equipos expertos para capacitación, control y supervisión de generación de información básica.**

**Retención de talentos en esta etapa es crítica**

## **2.-Conceptualización**

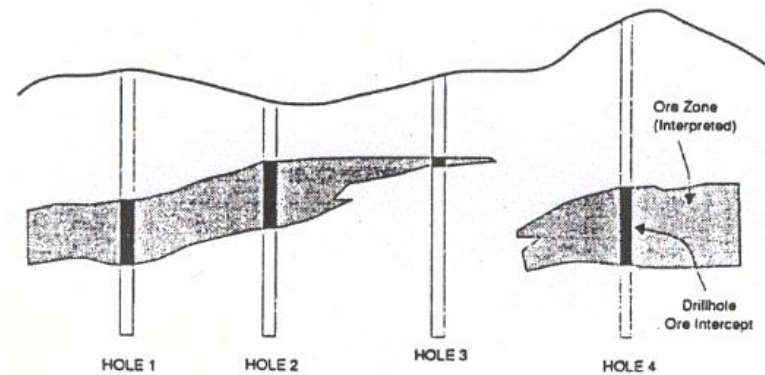
Entender **los procesos** que gobiernan un depósito para generar una conceptualización geológica adecuada a la evidencia que se posee

Entender **los procesos** que gobiernan un depósito para generar una conceptualización geológica adecuada a la evidencia que se posee

**Verificando continuamente las hipótesis asumidas, con nueva información o conocimiento.**

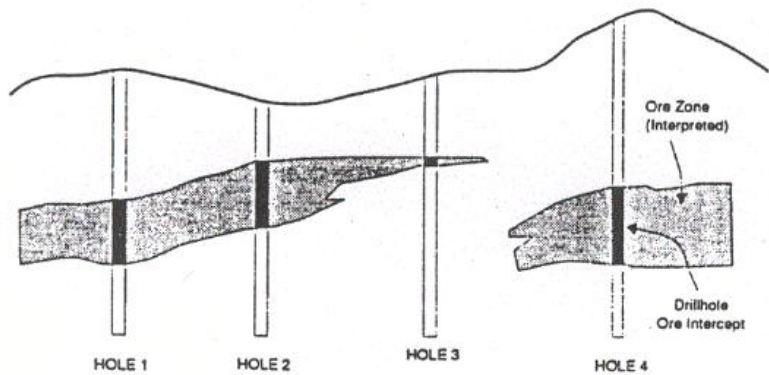


# Ejemplo de desconocimiento del fenómeno

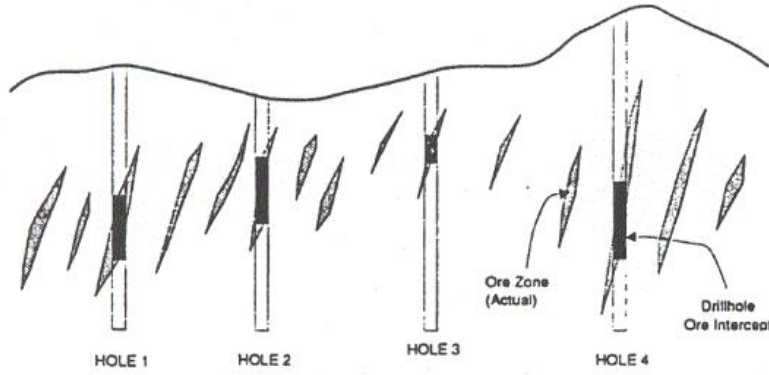


Interpreted Ore Zones

# Ejemplo de desconocimiento del fenómeno



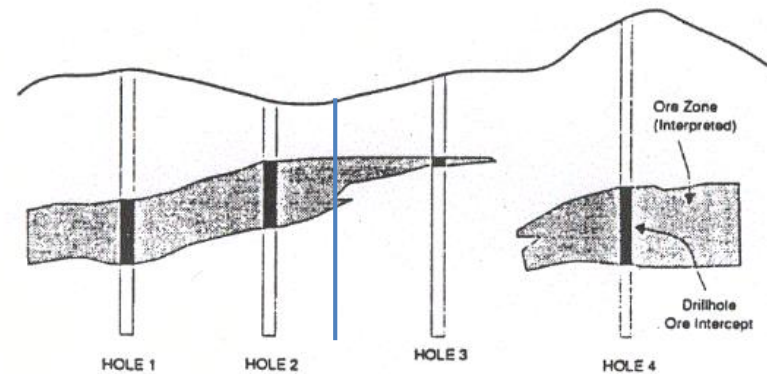
Interpreted Ore Zones



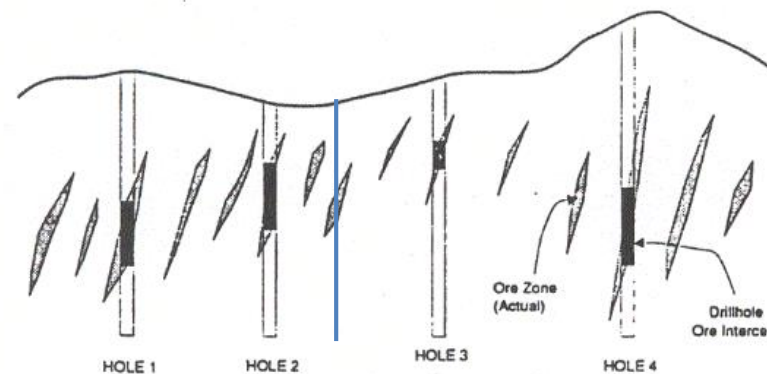
Actual Ore Zones with Less Tonnage and Less Continuous Shapes

from SME Mining & Engineering Handbook

# Desempeño del modelo y Muestras para entenderlo



Interpreted Ore Zones



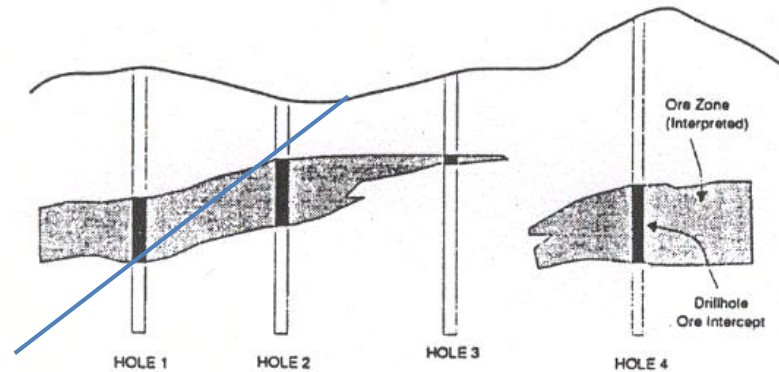
Actual Ore Zones with Less Tonnage and Less Continuous Shapes

from SME Mining & Engineering Handbook

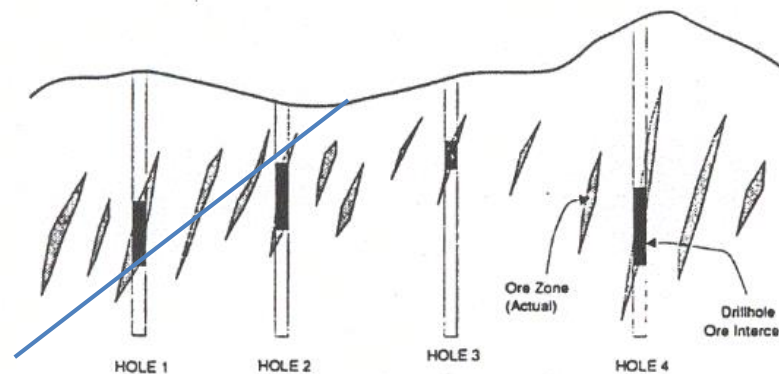
Mala idea

Ambas hipótesis se siguen cumpliendo

# Desempeño del modelo y Muestras para entenderlo



Interpreted Ore Zones



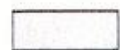
Actual Ore Zones with Less Tonnage and Less Continuous Shapes

from SME Mining & Engineering Handbook

Buena  
idea

Se rechaza  
una idea y  
se confirma  
otra

Censurado



GRE



OXS



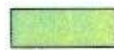
MX



SP



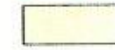
GRX



OXI



SSD



EST



LIX



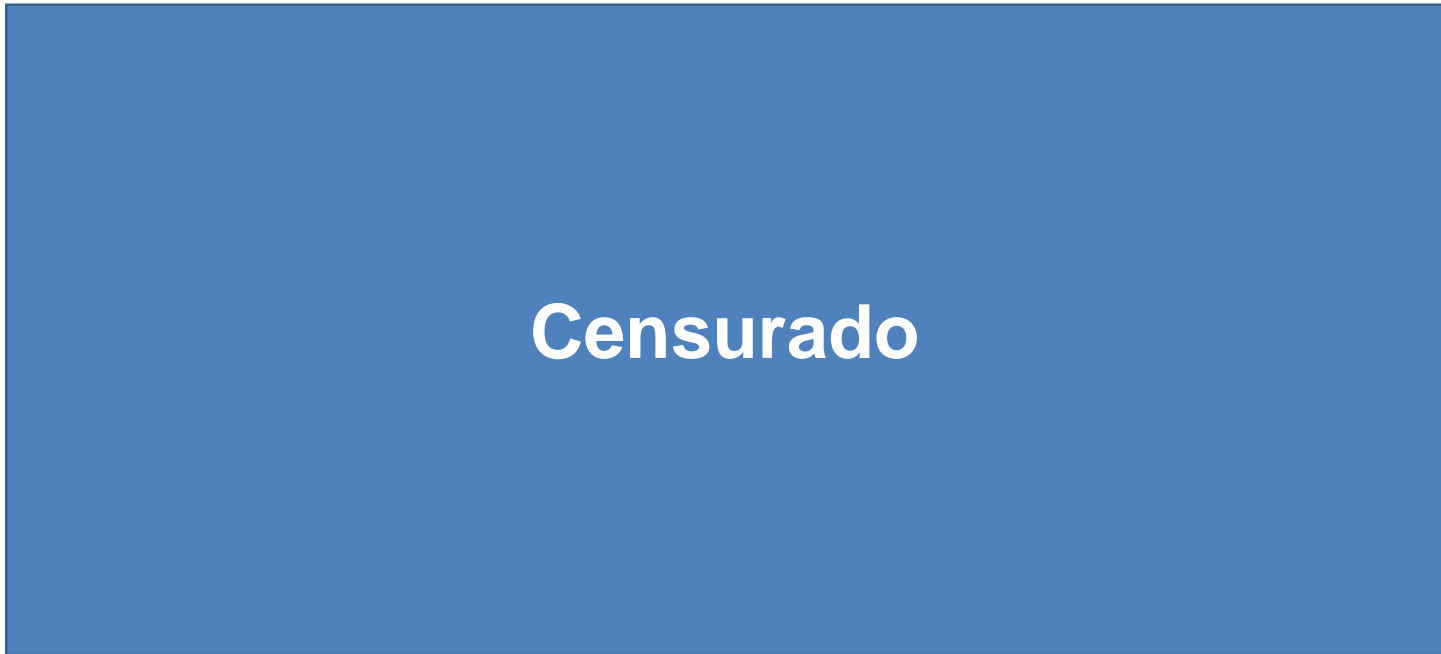
SSF

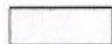





Sondajes a Julio 2000




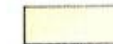
Recomendaciones Sondajes



 GRE  
 LIX

 OXIDOS  
 OX/CARBONATO

 MX  
 SSD  
 SSF

 SP  
 EST



Sondajes a Abril 2002

**Censurado**



**Censurado**

- Depende de la información disponible y conocimiento actual
- **Evitar un solo “conceptualizador” en depósito**
  - Preferir equipo → discusión constructiva evitar el “todo lo anterior está malo”
  - Mantener mente abierta
  - No hacer calzar datos a modelo preconcebido
- **Validar continua y adecuadamente las hipótesis de la conceptualización con nuevos datos**
- Definir criterios claros de interpretación
  - Unidad mínima de modelamiento
  - Continuidades de cuerpos
  - Orientaciones
  - Relaciones de contacto
  - Geometrías de cuerpos

# **3.-Construcción de modelos**

## Tradicional

- Interpretación en papel
- Interpretación en plantas y secciones digital
- Extrusión de polígonos
- Triangulaciones

## Numérico

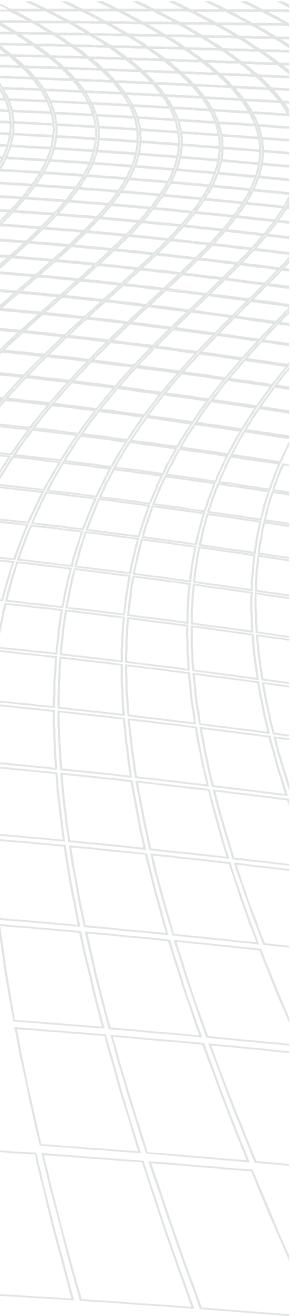
### Determinístico

- Kriging indicadores
- *Modelamiento implícito*

- Interpretación + Modelamiento implícito

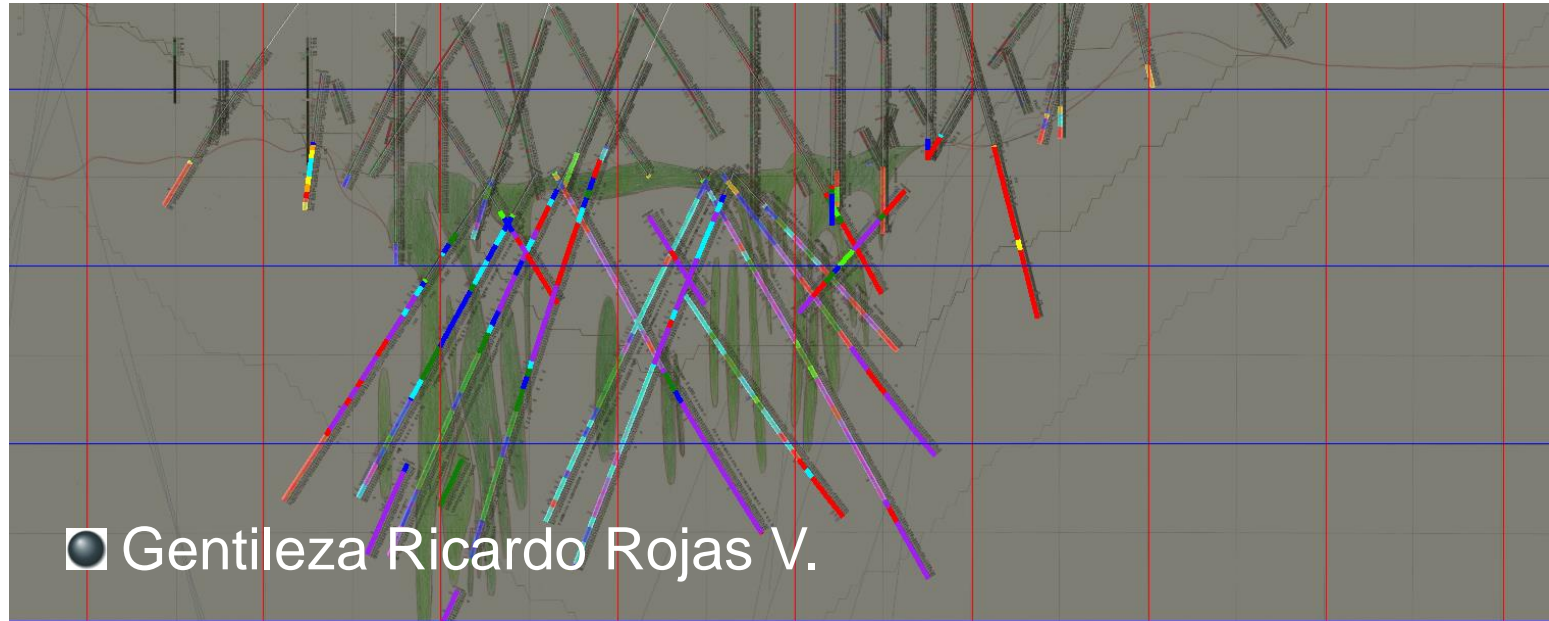
### Estocástico

- Simulación de variables categóricas (sisim, pluri, etc)
- *Simulación implícita*



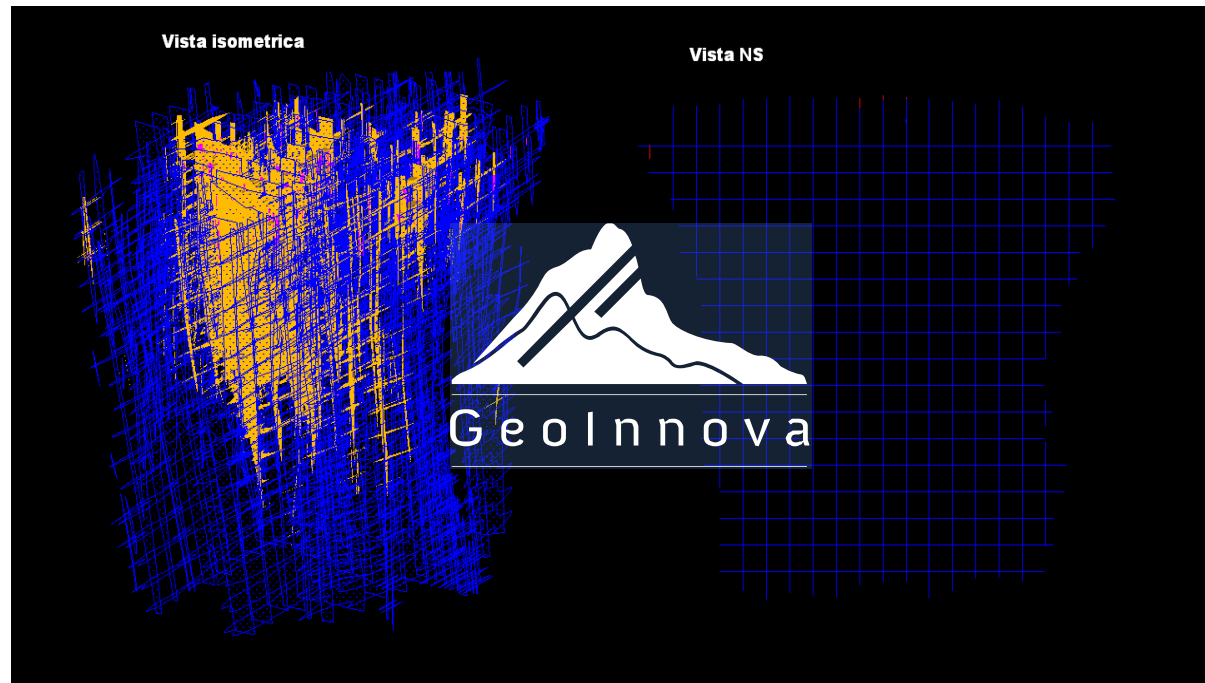
## **TECNICA DE MODELAMIENTO-TRADICIONAL**

# Interpretación en papel en sección

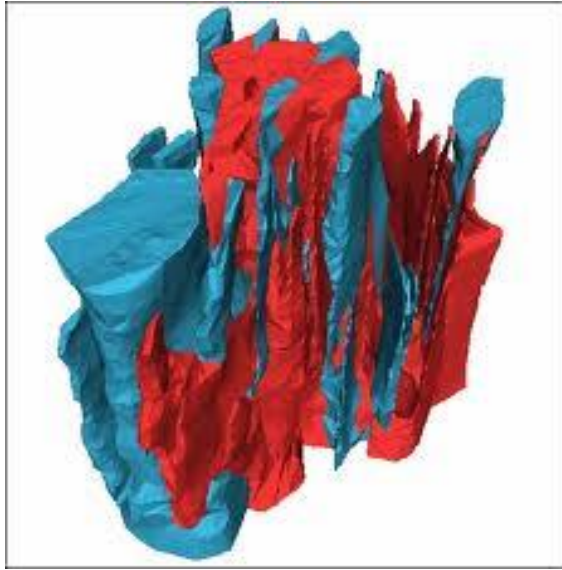


- Interpretación en Papel útil para generar secciones de control de colegas con mayor experiencia.

# Interpretación en plantas y secciones

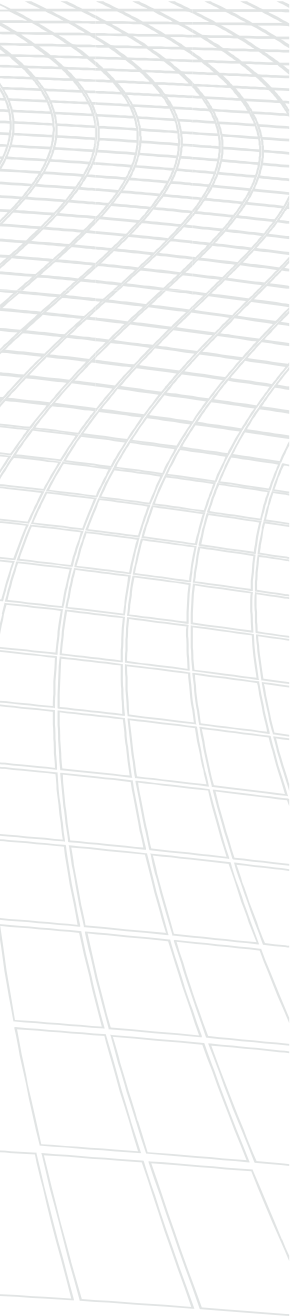


- Lento y agotador
- Desarrolla real capacidad de pensamiento 3d
- El paso de una sección a planta y secciones siguientes permite confirmar o rechazar morfología asumida
- Permite generar morfología deseada (vetas, diques, etc)



- Actualización compleja (Snapping)
- Errores, crossing, flaps, paredes compartidas
- Entrega una representación más precisa de los tonelajes... “slogan venta”





## **TECNICA DE MODELAMIENTO-IMPLICITO**

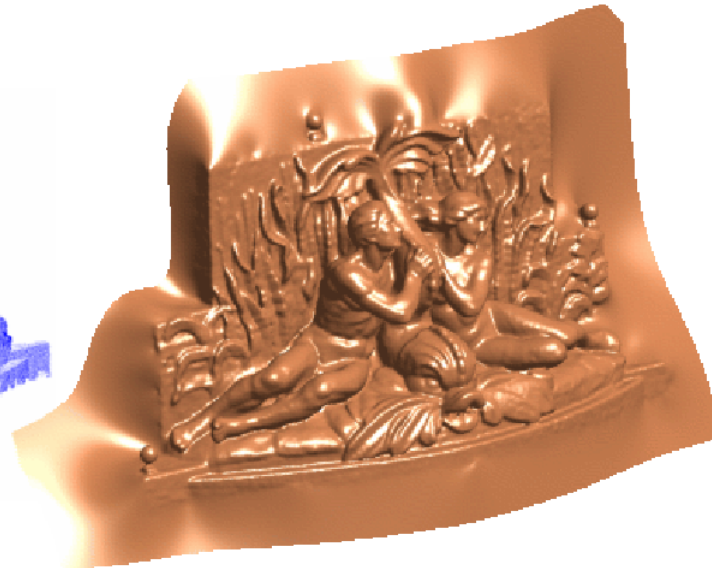
# Modelamiento implícito

- Técnica importada de computación gráfica
- Objetivo: generar una representación de superficies de datos 3D dispersos de Scan de estatuas

Nube de puntos  
(scan)



Triangulación resultante



Los colores grises del corte muestran el campo de distancias interpoladas

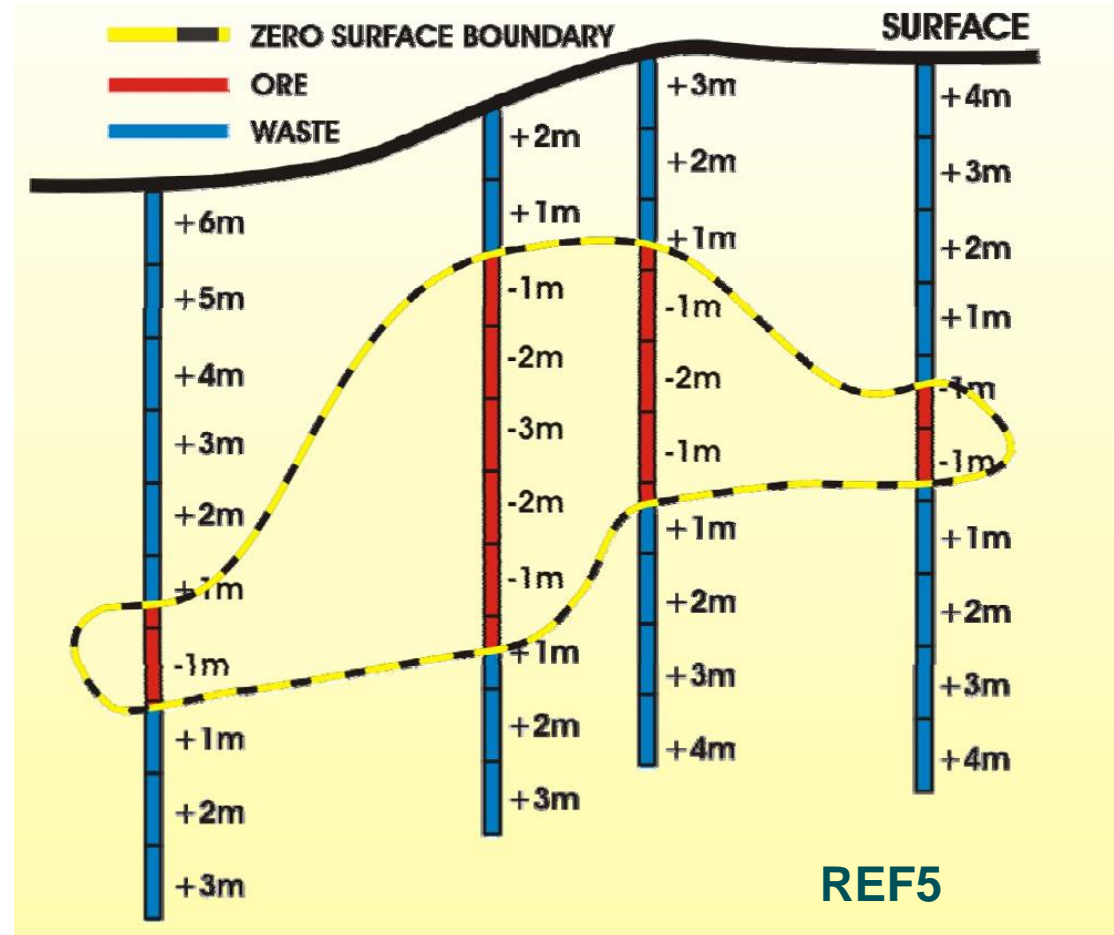


**REF2**

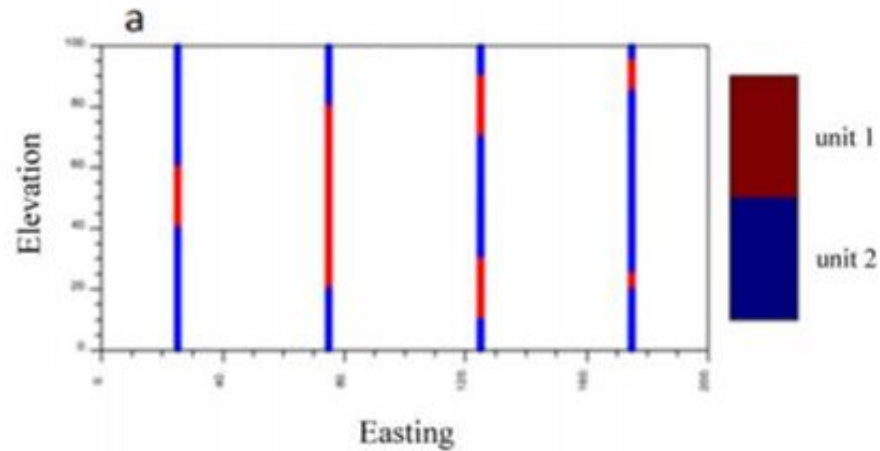
Es un problema de representación de una buena cantidad de información a modo de triangulación válida

## ● Modelamiento implícito de superficies o contactos en el espacio 3D

- Calcular distancia “distancia al contacto más cercano”
- Asignar signo + - dependiendo si el sondaje pertenece o no, a la unidad objetivo a modelar

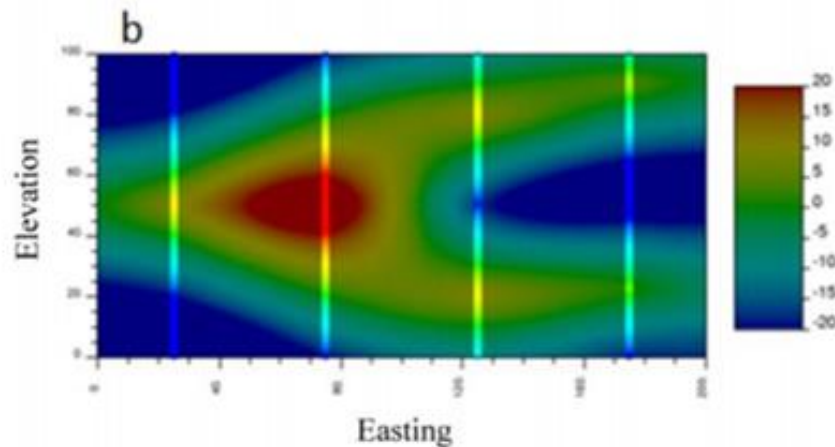


- Paso 1 codificación en indicadores de dos unidades

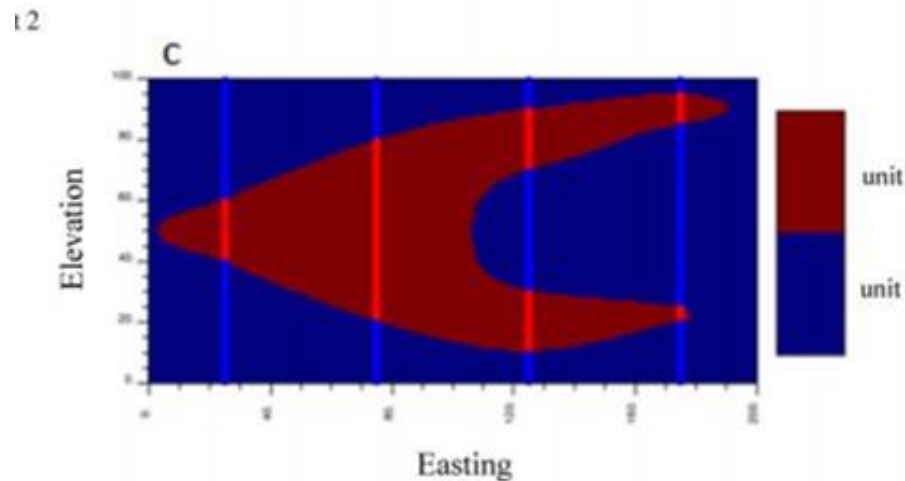


## Ejemplo en 2d

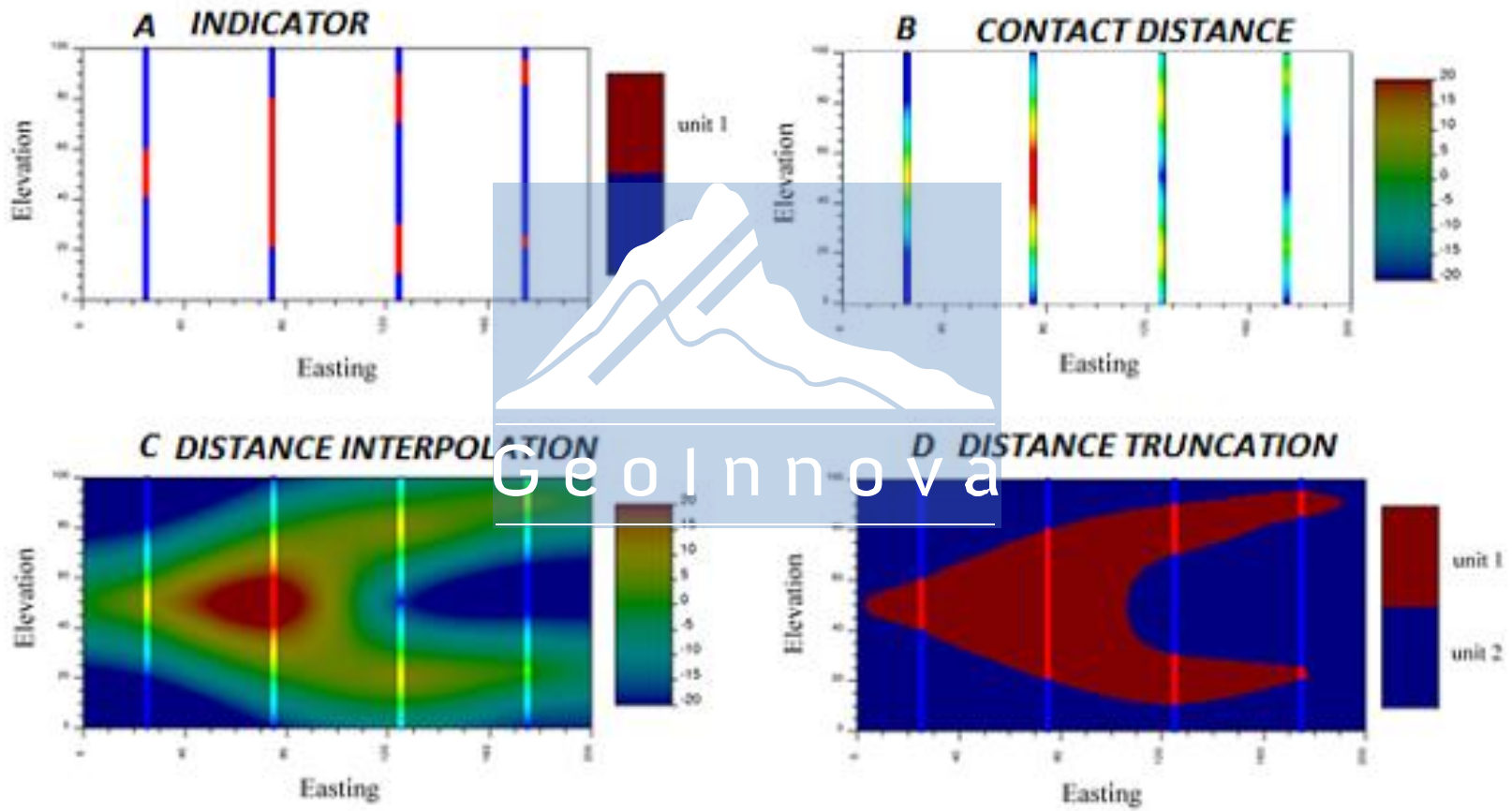
- Paso 2 codificación en indicadores de dos unidades cálculo de las distancias con signo positivo y negativo al contacto más cercano (colores en los sondajes)
- Paso 3 interpolación en el resto del espacio (colores en el fondo)



- Paso 4 Obtención del borde estimado (cuando la interpolación es cero)
- Extracción de la triangulación borde (en este caso polígono)



# Resumen implícito



REF1

## Tradicional

- No requiere codificación a priori
  - Codificación en la pantalla/papel
- Difícil reproducción
- Lento y laborioso
- Se requiere concentrar en triángulos, errores, etc.
- Actualización igual de compleja que construcción
- Difícil evaluar conceptualizaciones distintas

## Implícito

- Requiere codificación a priori
- Reproducible
- Disminución de tiempos de modelamiento
- Permite concentrarse más en la geología – tiempo + variables
- Actualización rápida
- Sencillo para probar conceptualizaciones distintas



## Tradicional

- No requiere codificación a priori
  - Codificación en la pantalla/papel
- Difícil reproducción
- Lento y laborioso
- Se requiere concentrar en triángulos, errores, etc.
- Actualización igual de compleja que construcción
- Difícil evaluar conceptualizaciones distintas



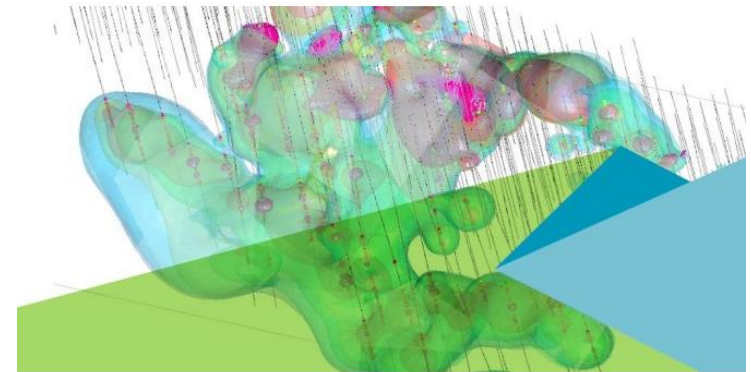
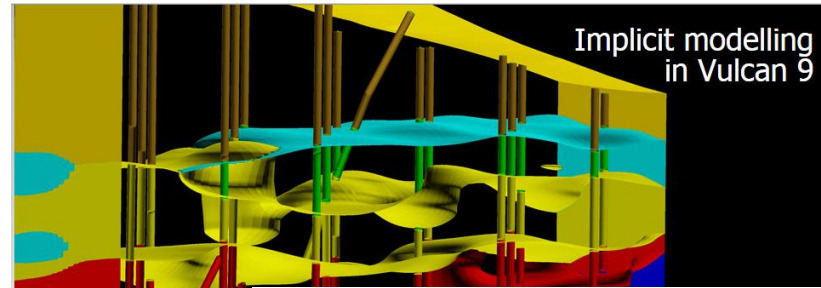
## Implícito

- Requiere codificación a priori
- Reproducible
- Disminución de tiempos de modelamiento
- Permite concentrarse más en la geología – tiempo + variables
- Actualización rápida
- Sencillo para probar conceptualizaciones distintas
- Genera geometrías redondas
- Conecta interceptos de manera forzada e improbable (a veces)
- Tentadoramente rápida (riesgoso)

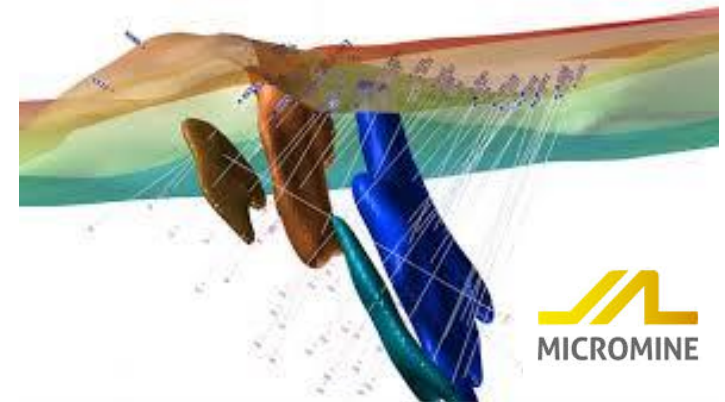


# Quienes lo venden (software con engine implícito)

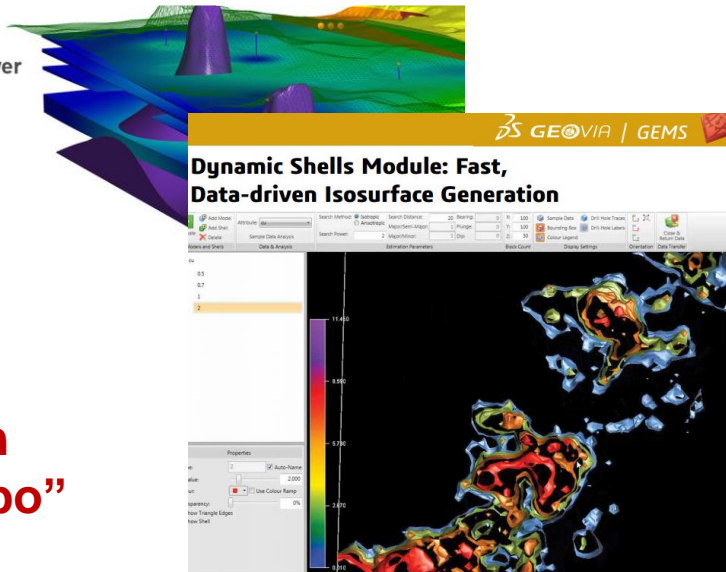
- Leapfrog Mining
- Leapfrog Geo
- Vulcan
- Minesight
- Micromine
- Gems (gemcom)



| Spend More Time Being a Geologist with MineSight Implicit



ARANZ Geo is the power behind Leapfrog 3D geological modelling software.



Slogan  
"Tiempo"

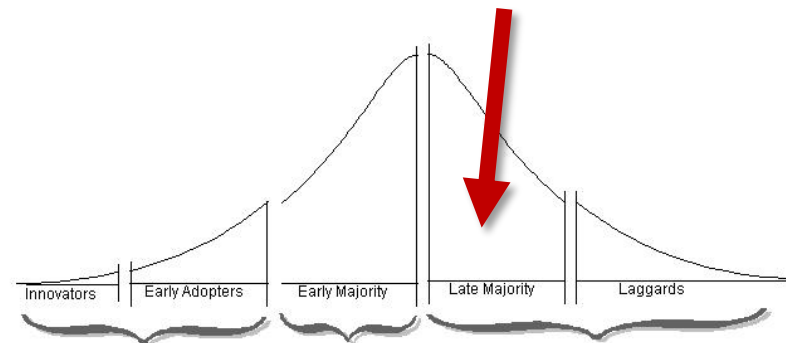
## Compañías mineras

- Antofagasta Minerals
- Pelambres
- Collahuasi
- BHP pampa Norte
- Anglo American
- Teck
- Codelco RT
- Codeldo DMH
- Codelco-EMSA
- Codelco-VP

## Consultoras

- Amec
- Geoinnova
- Golder
- SRK
- Atticus
- Aranz Geo

***El modelamiento Implícito ya es parte de la industria y está aquí para quedarse***



|                           |                                     |  |                              |
|---------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------|
| <b>Primary Drivers:</b>   | Hedonic outcomes<br>Social outcomes | Utilitarian outcome<br>Social influences | Fear of obsolescence         |
| <b>Secondary Drivers:</b> |                                     | Difficulty of use                        | Lack of utilitarian outcomes |

- Siempre incorporar **conocimiento geológico** a través de:
  - Líneas auxiliares
  - Tendencias estructurales
  - Escoger parámetros variogramas “Leapfrog” a partir de las muestras y considerando el espaciamiento de la malla
  - Evaluar la consistencia en proporciones en muestras vs sólidos generados.
  - Evaluar **predictibilidad** de los modelos planteados.

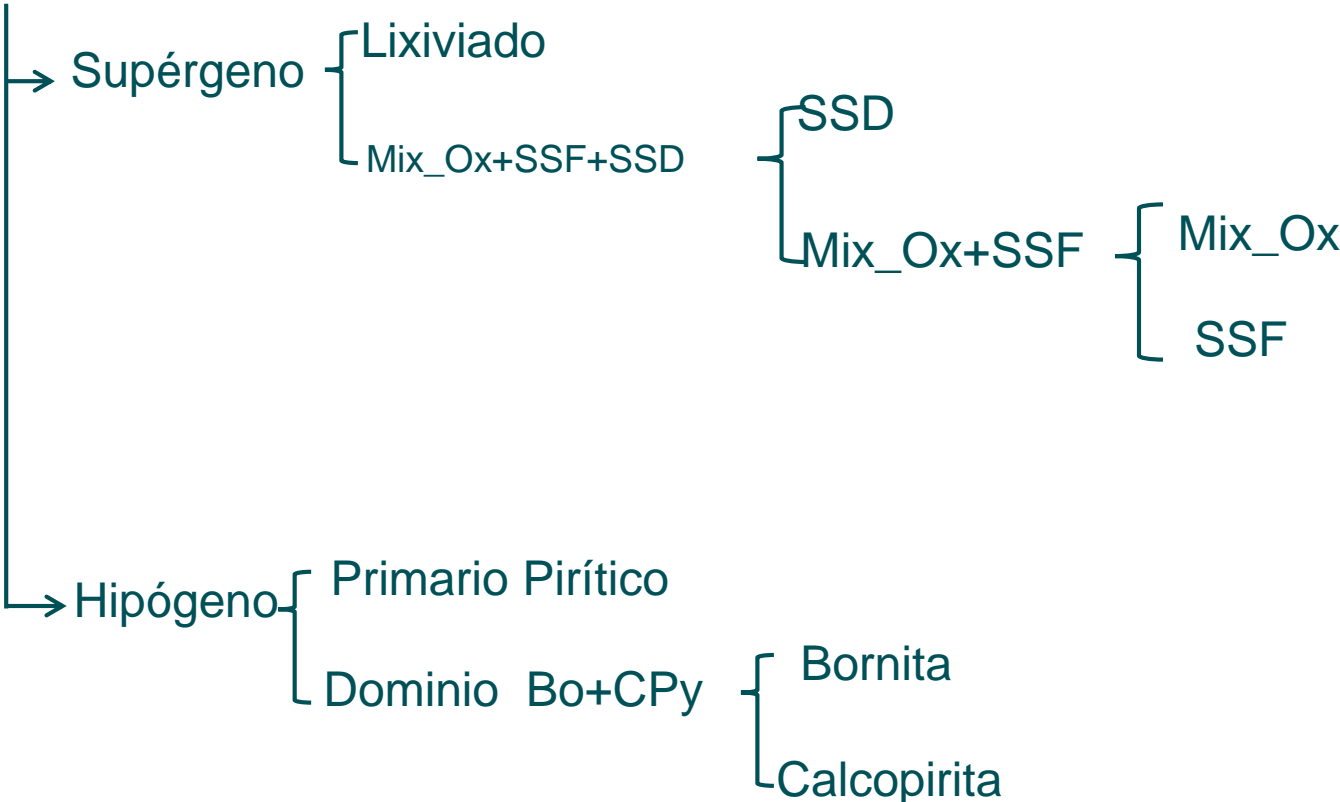
***No engañarse por lo lindo de los sólidos o el backflag perfecto, el modelo que predice mejor gana.***

# **Ejemplo modelamiento**

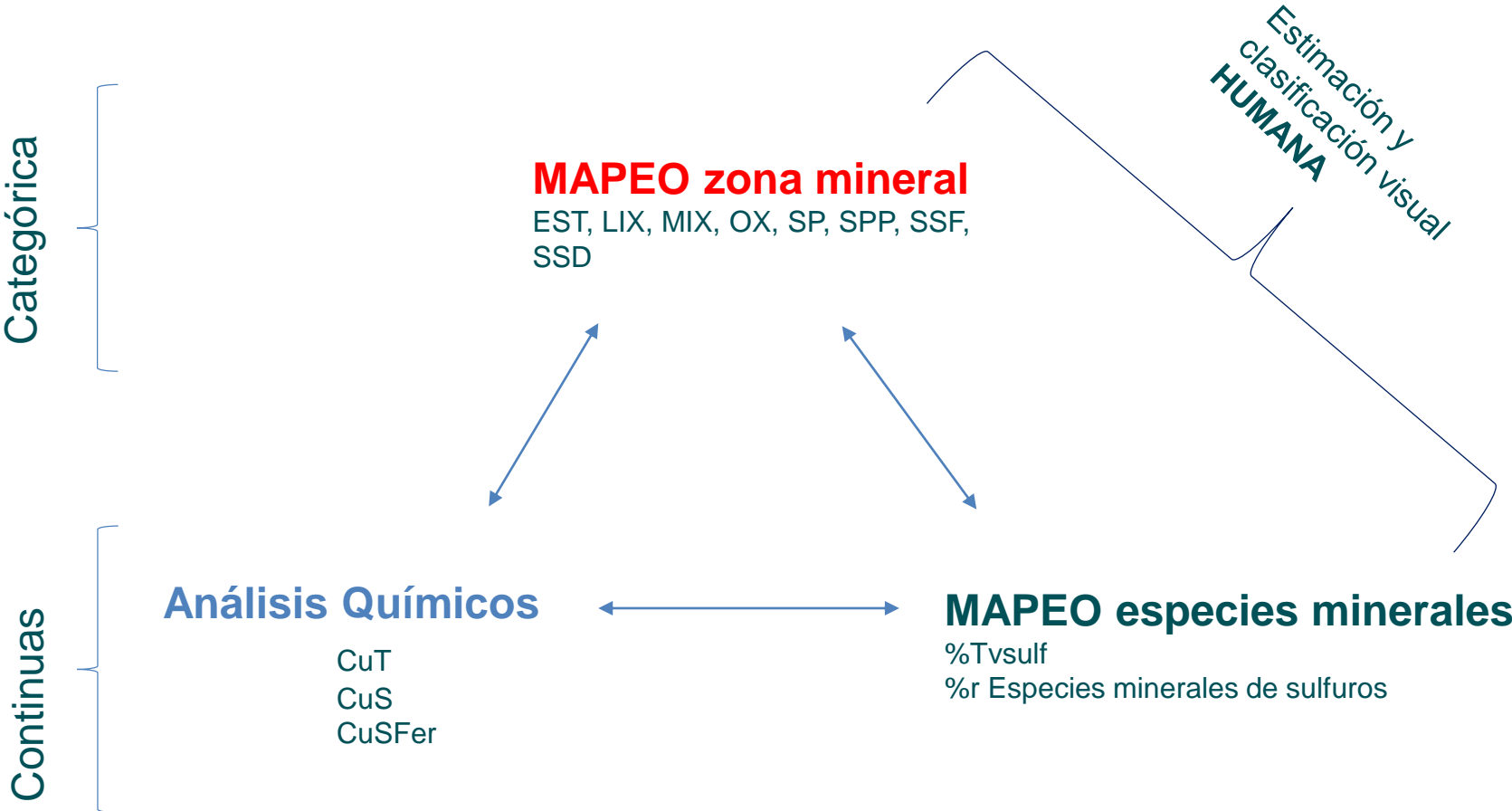
# Ejemplo modelo de subzonas minerales

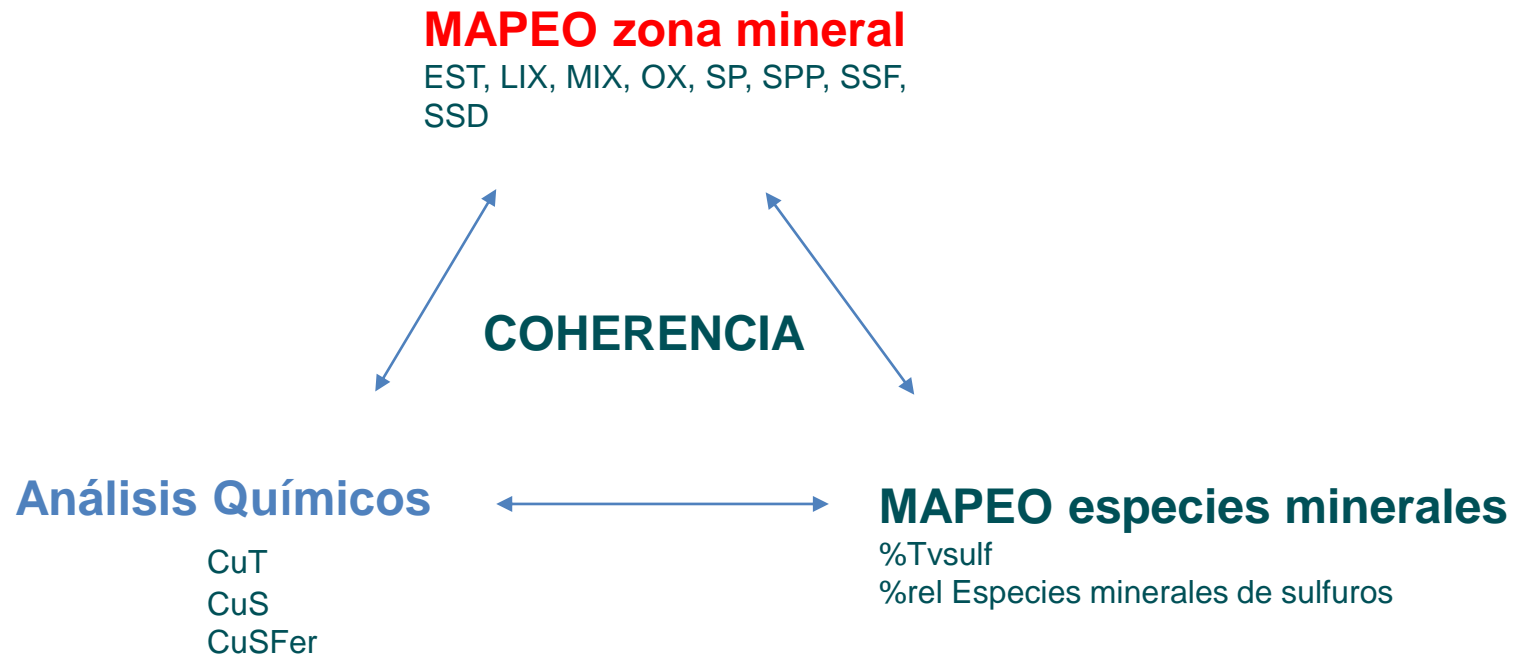
Techo de Roca

Techo de Sulfuros



# Esquema de información de datos







# Codificación a priori: Geología +Química

| QUIMICA |            |       |            |       |             | Geología |         |      |          |       |              |
|---------|------------|-------|------------|-------|-------------|----------|---------|------|----------|-------|--------------|
| ICUT    |            | IRSOL |            | IRSOF |             | MAPOR    |         | ICCV |          | IBOCP |              |
| -99     | <=0        | -99   | <=0        | -99   | <=0         | 0        | SMAP    | -99  | <0       | -99   | Bo y CP <=0  |
| 1       | >0-<0.1    | 1     | >0-<0.2    | 1     | >0-<0.2     | 1        | LIX     | 1    | <25      | 1     | BO>CPY       |
| 2       | >=0.1-<0.2 | 2     | >=0.2->0.6 | 2     | >=0.2-<0.35 | 2        | MIX     | 2    | >=25-<65 | 2     | BO==CPY(50%) |
| 3       | >=0.2      | 3     | >=0.6      | 3     | >=0.35-<0.4 | 3        | OX      | 3    | >=65     | 3     | CPY>BO       |
|         |            |       |            | 4     | >=0.4-<0.5  | 5        | EST/PPY |      |          |       |              |
|         |            |       |            | 5     | >=0.5       | 6        | PRIM    |      |          |       |              |
|         |            |       |            |       |             | 7        | SSD     |      |          |       |              |
|         |            |       |            |       |             | 8        | SSF     |      |          |       |              |

# Matriz de codificación

| QUIMICA |            |       |            |      |             | Geología |         |      |          |       |              |
|---------|------------|-------|------------|------|-------------|----------|---------|------|----------|-------|--------------|
| ICUT    |            | IRSOL |            | IRSO |             | MAPOR    |         | ICCV |          | IBOCP |              |
| -99     | <=0        | -99   | <=0        | -99  | <=0         | 0        | SMAP    | -99  | <0       | -99   | Bo y CP <=0  |
| 1       | >0-<0.1    | 1     | >0-<0.2    | 1    | >0-<0.2     | 1        | LIX     | 1    | <25      | 1     | BO>CPY       |
| 2       | >=0.1-<0.2 | 2     | >=0.2->0.6 | 2    | >=0.2-<0.35 | 2        | MIX     | 2    | >=25-<65 | 2     | BO==CPY(50%) |
| 3       | >=0.2      | 3     | >=0.6      | 3    | >=0.35-<0.4 | 3        | OX      | 3    | >=65     | 3     | CPY>BO       |
|         |            |       |            | 4    | >=0.4-<0.5  | 5        | EST/PPY |      |          |       |              |
|         |            |       |            | 5    | >=0.5       | 6        | PRIM    |      |          |       |              |
|         |            |       |            |      |             | 7        | SSD     |      |          |       |              |
|         |            |       |            |      |             | 8        | SSF     |      |          |       |              |

| %BD | %BDCM | NCASO | MAPOR | ICUT | IRSOL | IRSO | ICCV | IBOCP | COD2014 | COD2014V | QQCORT | DECIS |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|---------|----------|--------|-------|
| 10% | 10%   | 10011 | 6     | 3    | 1     | 1    | 1    | 3     | 61      | 61       | 1      | 1     |
| 6%  | 16%   | 6036  | 6     | 3    | 1     | 2    | 1    | 1     | 62      | 62       | 1      | 1     |
| 5%  | 21%   | 4721  | 6     | 3    | 1     | -99  | 1    | 1     | 62      | 62       | 1      | 4     |
| 5%  | 26%   | 4688  | 6     | 3    | 1     | -99  | 1    | 3     | 61      | 61       | 1      | 4     |
| 4%  | 30%   | 3776  | 0     | 3    | 1     | -99  | -99  | -99   | 0       | 0        | 1      | 5     |
| 3%  | 33%   | 2962  | 6     | 2    | 1     | 1    | 1    | 3     | 61      | 61       | 1      | 1     |
| 3%  | 36%   | 2547  | 6     | 3    | -99   | 2    | 1    | 1     | 62      | 62       | 1      | 1     |
| 3%  | 38%   | 2451  | 0     | 3    | -99   | -99  | -99  | -99   | 0       | 0        | 1      | 5     |
| 2%  | 41%   | 2379  | 6     | 3    | 1     | 2    | 1    | 3     | 61      | 61       | 1      | 1     |
| 2%  | 43%   | 2005  | 6     | 3    | -99   | 1    | 1    | 3     | 61      | 61       | 1      | 4     |
| 2%  | 44%   | 1658  | 6     | 1    | 1     | 1    | 1    | 3     | 5       | 5        | 1      | 2     |
| 1%  | 46%   | 1294  | 8     | 3    | 1     | 4    | 3    | -99   | 8       | 8        | 1      | 1     |
| 1%  | 47%   | 1269  | 7     | 3    | 1     | 1    | 2    | 3     | 7       | 7        | 1      | 1     |
| 1%  | 48%   | 1158  | 6     | 3    | 1     | -99  | -99  | -99   | 0       | 0        | 1      | 5     |
| 1%  | 49%   | 1152  | 7     | 3    | 1     | -99  | 2    | 3     | 7       | 0        | 1      | 1     |
| 1%  | 50%   | 1117  | 6     | 3    | -99   | -99  | 1    | 3     | 0       | 0        | 1      | 7     |
| 1%  | 52%   | 1082  | 8     | 3    | 1     | -99  | 3    | -99   | 8       | 8        | 1      | 1     |
| 1%  | 53%   | 1011  | 6     | 3    | 1     | 1    | 1    | 1     | 62      | 62       | 1      | 1     |

- 6 variables de input
- Codificación base → resume todos los casos y se pueden evaluar.
- Se le puede asignar un nivel de decisión o confianza
- Se puede asignar un código de incodificable

# Codificación a priori : Geología +Química y codificación nivel de confianza

| QUIMICA |            |       |            |       |             | Geología |         |      |          |       |              |
|---------|------------|-------|------------|-------|-------------|----------|---------|------|----------|-------|--------------|
| ICUT    |            | IRSOL |            | IRSOF |             | MAPOR    |         | ICCV |          | IBOCP |              |
| -99     | <=0        | -99   | <=0        | -99   | <=0         | 0        | SMAP    | -99  | <0       | -99   | Bo y CP <=0  |
| 1       | >0-<0.1    | 1     | >0-<0.2    | 1     | >0-<0.2     | 1        | LIX     | 1    | <25      | 1     | BO>CPY       |
| 2       | >=0.1-<0.2 | 2     | >=0.2->0.6 | 2     | >=0.2-<0.35 | 2        | MIX     | 2    | >=25-<65 | 2     | BO==CPY(50%) |
| 3       | >=0.2      | 3     | >=0.6      | 3     | >=0.35-<0.4 | 3        | OX      | 3    | >=65     | 3     | CPY>BO       |
|         |            |       |            | 4     | >=0.4-<0.5  | 5        | EST/PPY |      |          |       |              |
|         |            |       |            | 5     | >=0.5       | 6        | PRIM    |      |          |       |              |
|         |            |       |            |       |             | 7        | SSD     |      |          |       |              |
|         |            |       |            |       |             | 8        | SSF     |      |          |       |              |

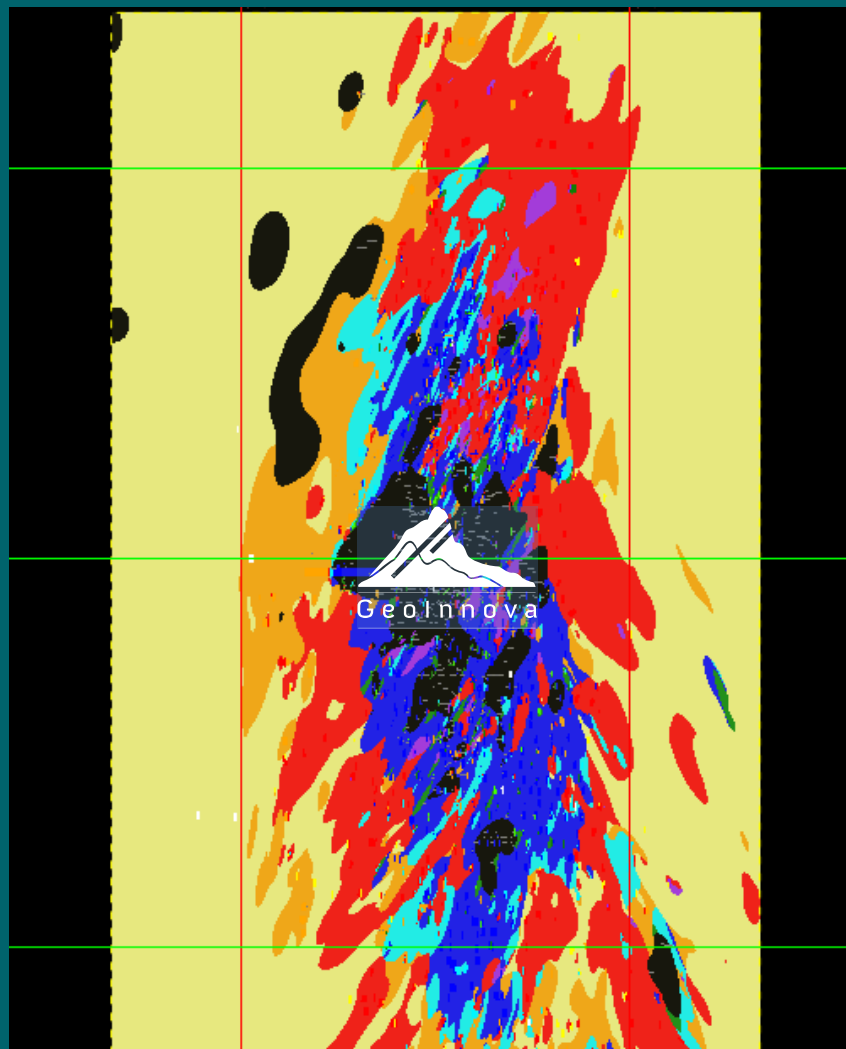
| COD2014 |               |
|---------|---------------|
| 0       | NOSE          |
| 1       | LIX           |
| 2       | MIX           |
| 3       | OX            |
| 5       | EST/PPY       |
| 6       | prim generico |
| 61      | CPY           |
| 62      | BO            |
| 7       | SSD           |
| 8       | SSF           |
| 9       | SS generico   |
| 10      | SULF generico |

| TIPO DECISION |           |
|---------------|-----------|
| 1             | QM/%SP/ZM |
| 2             | QM/ZM     |
| 3             | %SP/ZM    |
| 4             | QM/%SP    |
| 5             | QM        |
| 6             | %SP       |
| 7             | ZM        |

| ASPECTOS DECISION |                        |
|-------------------|------------------------|
| QM                | CUT y/o RSOL y/ o RSOF |
| %SP               | % especies minerales   |
| ZM                | Zona mineral mapeada   |

Entre + variables hacen sentido + confianza

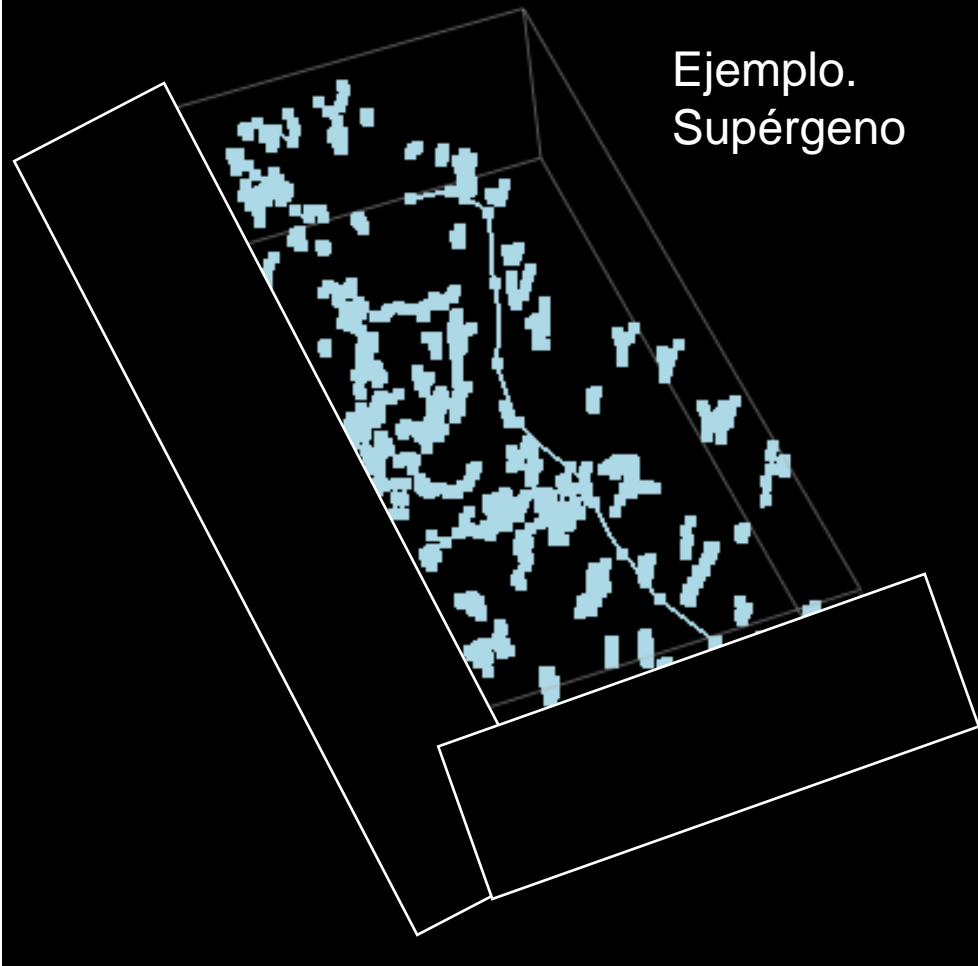
LIX  
OXMIX  
SSD  
SSF  
CPY  
BO  
PY-EST



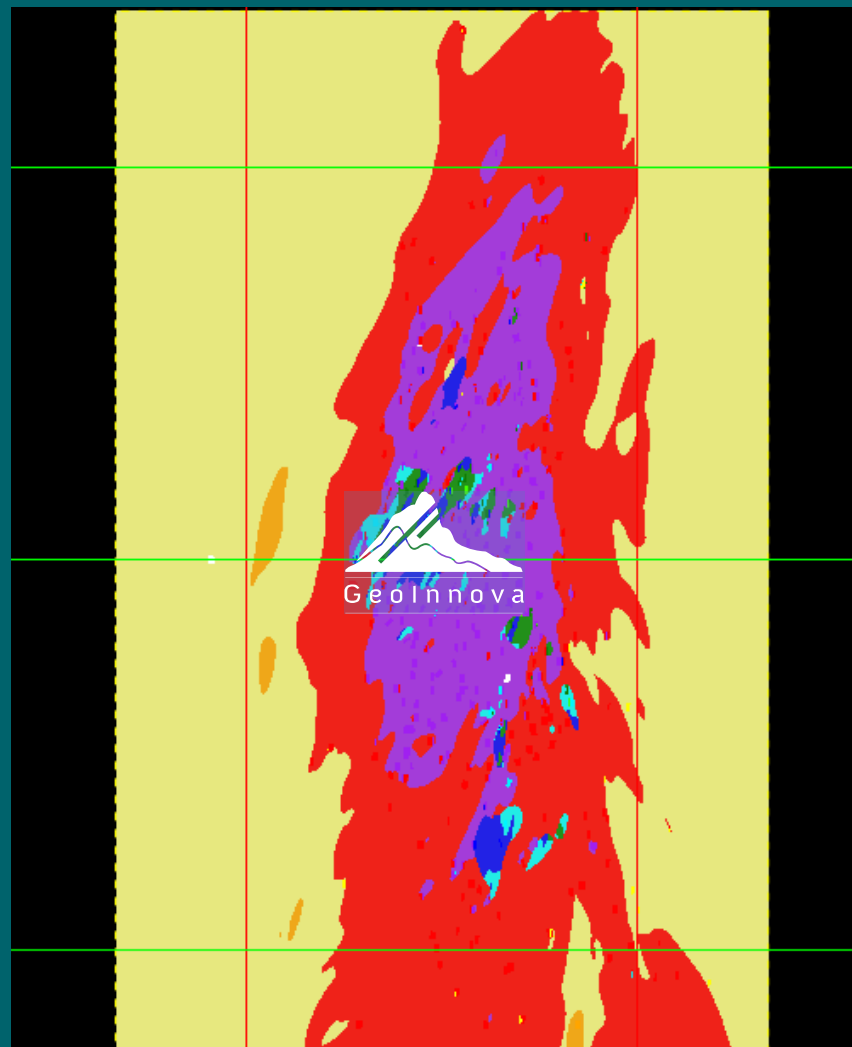
PLANTA 2XXX

Más de 250 líneas de control  
para interpretación

Ejemplo.  
Supérgeo

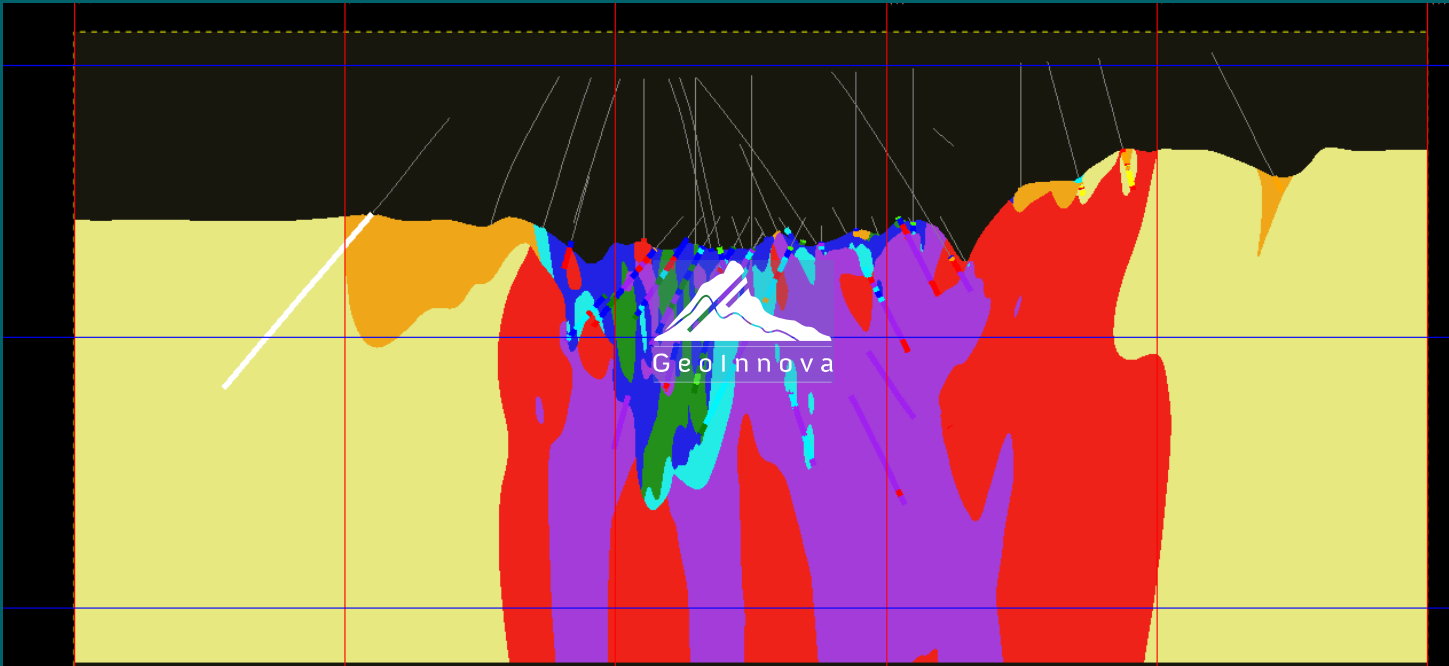


LIX  
OXMIX  
SSD  
SSF  
CPY  
BO  
PY-EST



PLANTA 2XXX-50

- LIX
- OXMIX
- SSD
- SSF
- CPY
- BO
- PY-EST



SECC. YYYN

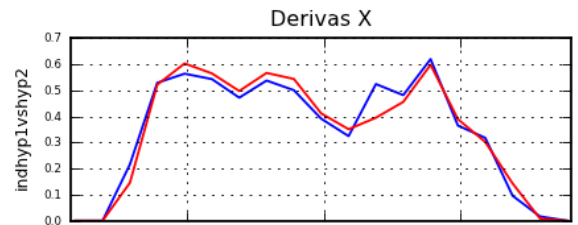
# **Validación de construcción de modelos**



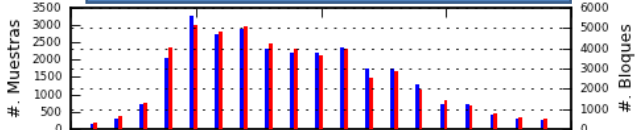
# Validación de construcción de modelos

- Backflag/Snapping
- Proporciones de cada tipo de roca en sólidos vs muestras usadas
  - Nivel de interpretación
- Relaciones de contacto en sondajes se reflejen en modelo de bloques
- Coherencia entre alteración / zona mineral / Litología modelada
- Cotejar con secciones control, ojalá interpretadas por los más experimentados
- Control de cambios con modelo anterior:
  - Donde cambio y porque (información adicional?)
- **Predicción**
  - Comparación con modelo de GC
  - Evaluación de predicción en información nueva (sondajes)
    - Acierto uno a uno
    - Proporciones
    - Por qué falló? Problema construcción o conceptualización o mapeos ?

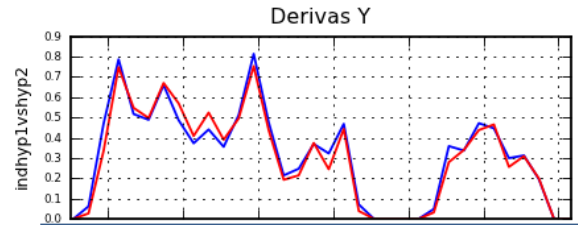
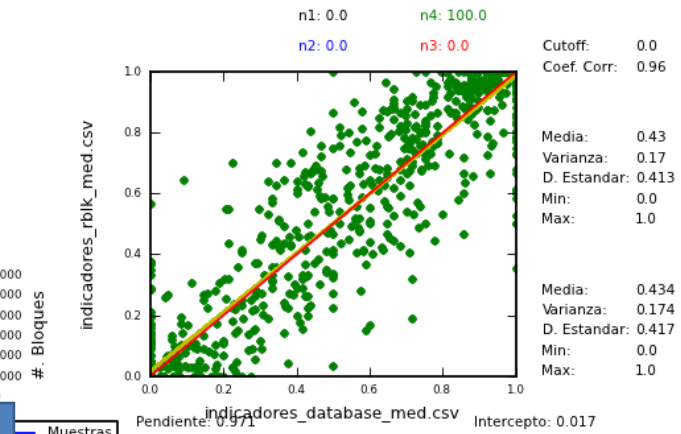
## Censurado



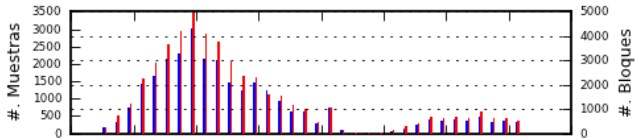
Censurado



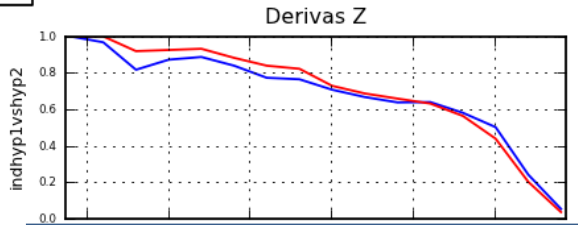
Censurado



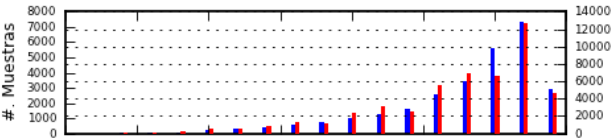
Censurado



Censurado



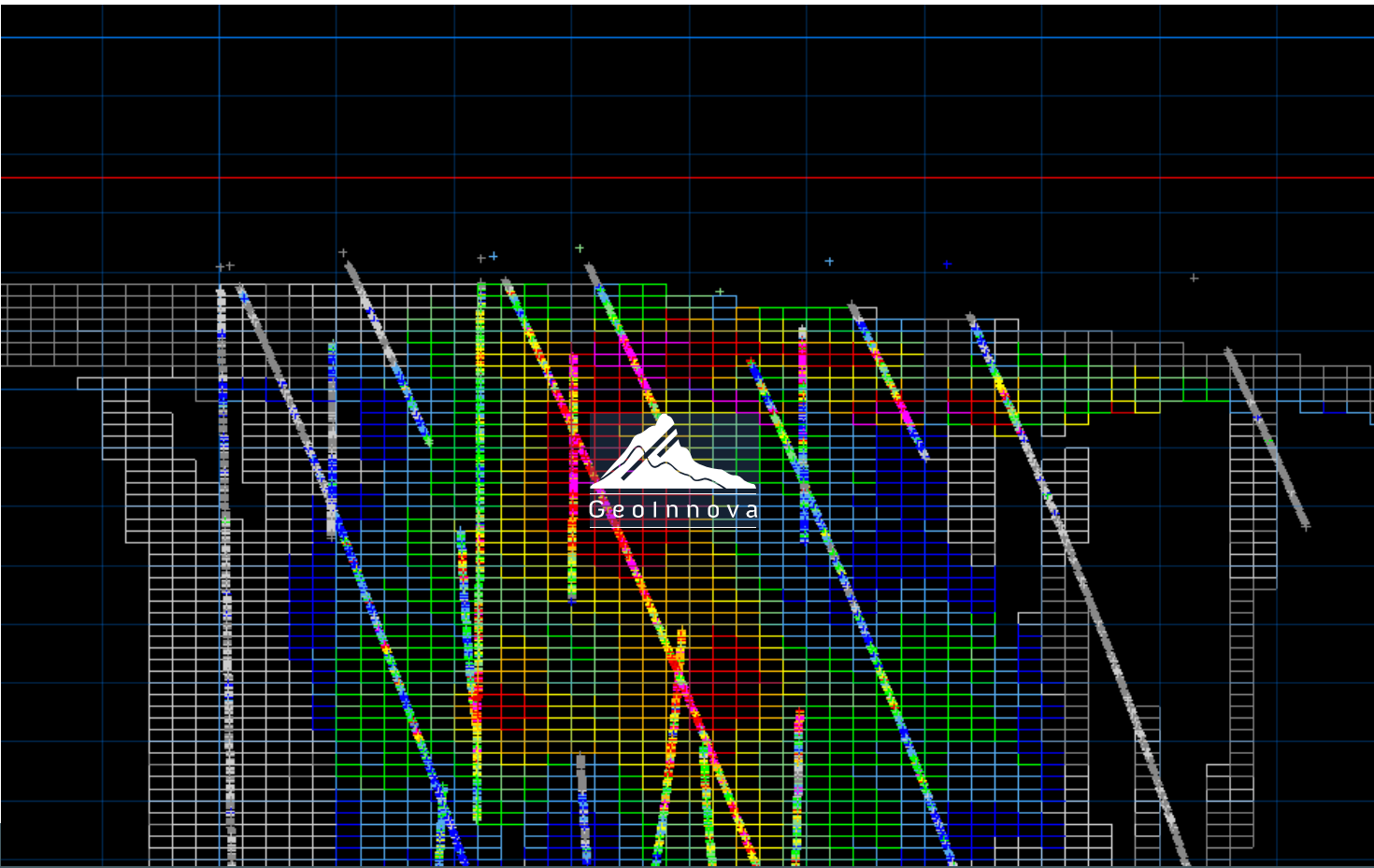
Censurado



Censurado

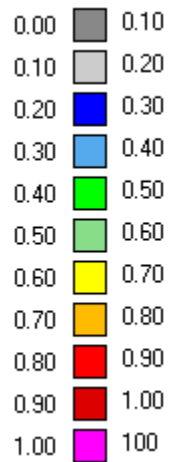
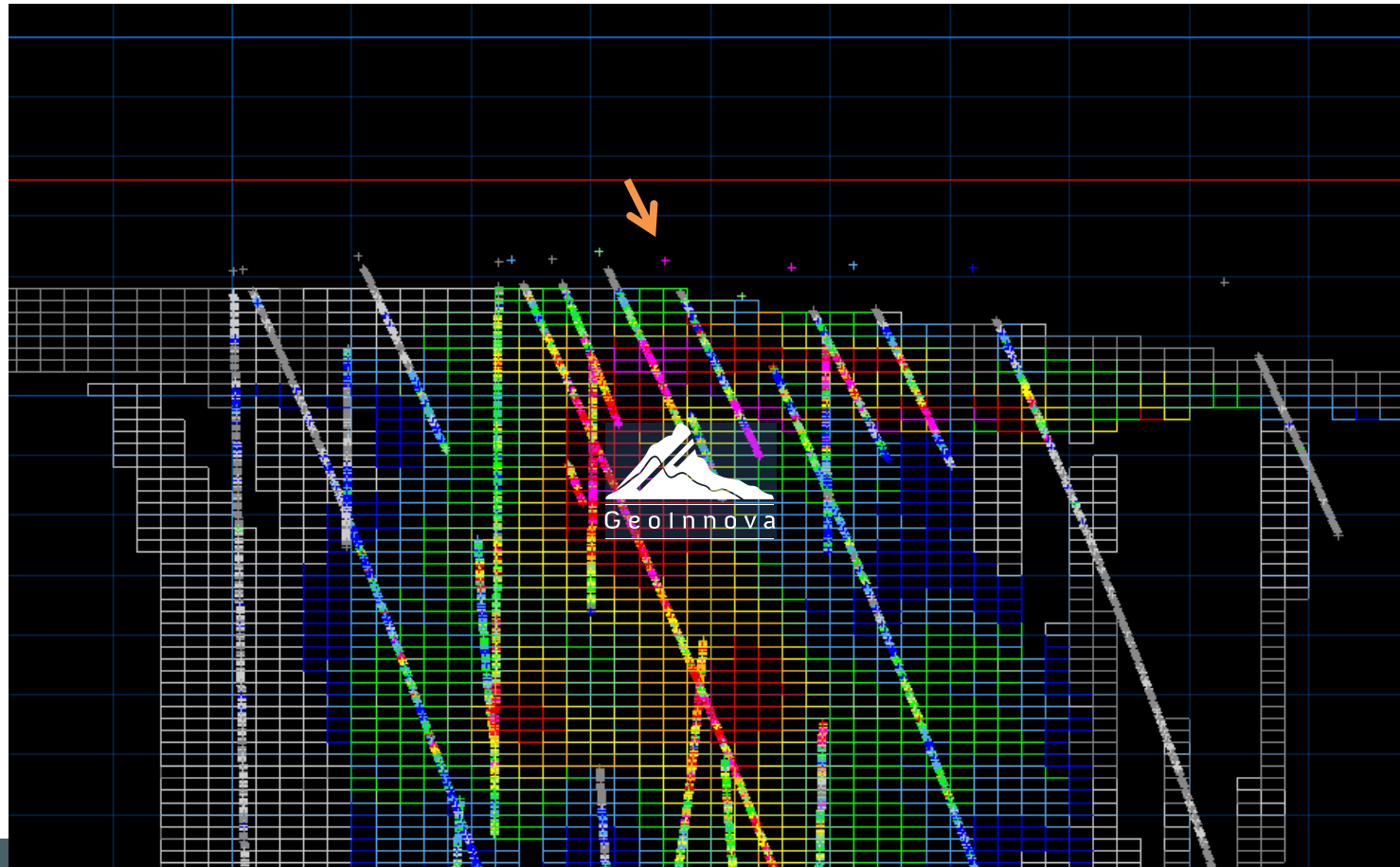
# **Validación predictibilidad**

# Evaluación continuidad horizontal óxidos CuT

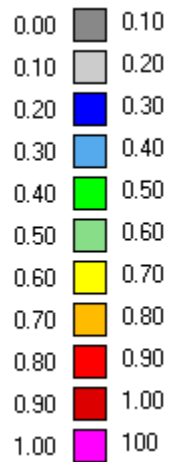
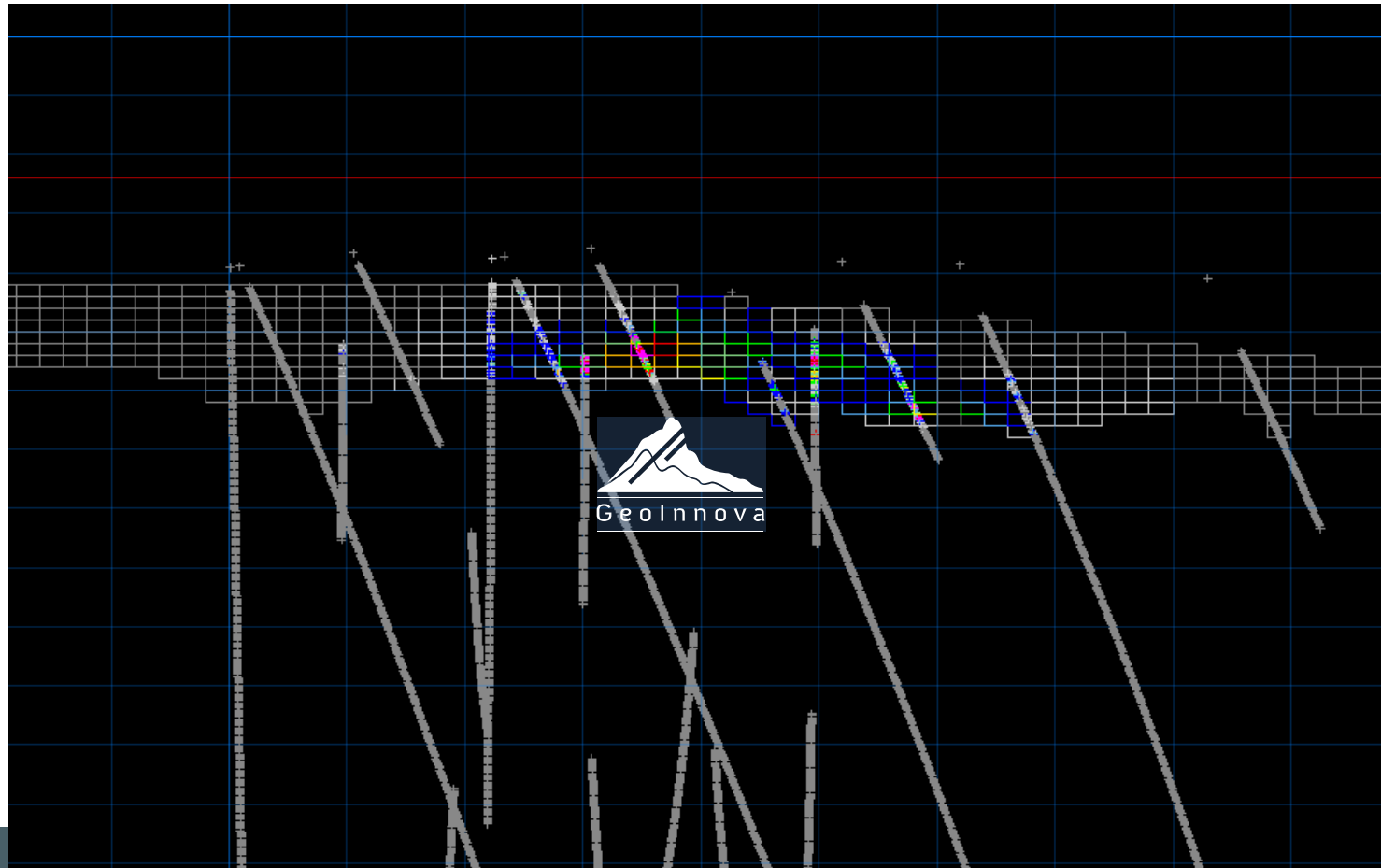


|      |      |
|------|------|
| 0.00 | 0.10 |
| 0.10 | 0.20 |
| 0.20 | 0.30 |
| 0.30 | 0.40 |
| 0.40 | 0.50 |
| 0.50 | 0.60 |
| 0.60 | 0.70 |
| 0.70 | 0.80 |
| 0.80 | 0.90 |
| 0.90 | 1.00 |
| 1.00 | 100  |

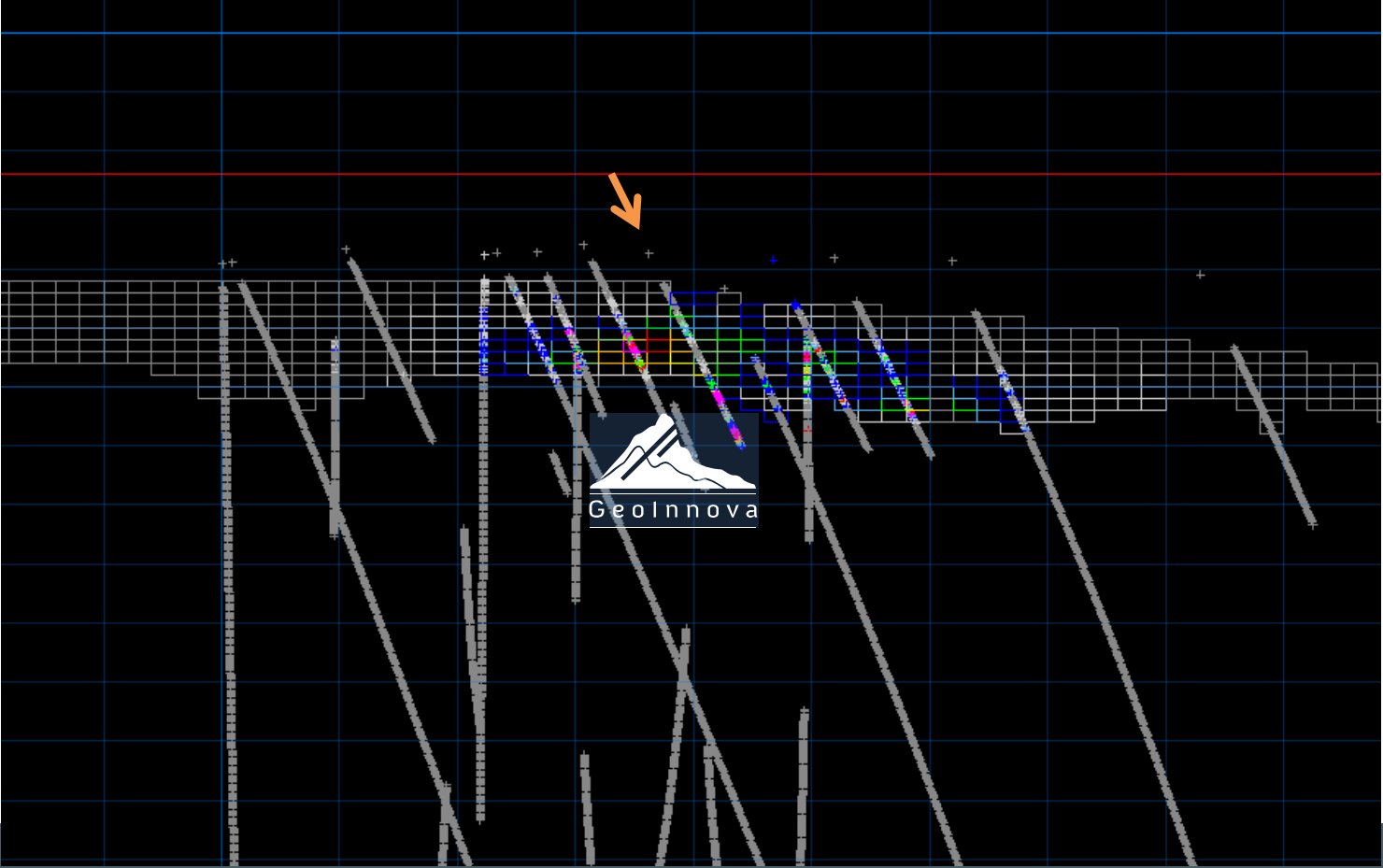
# Evaluación continuidad horizontal óxidos CuT



# Evaluación continuidad horizontal óxidos CuS

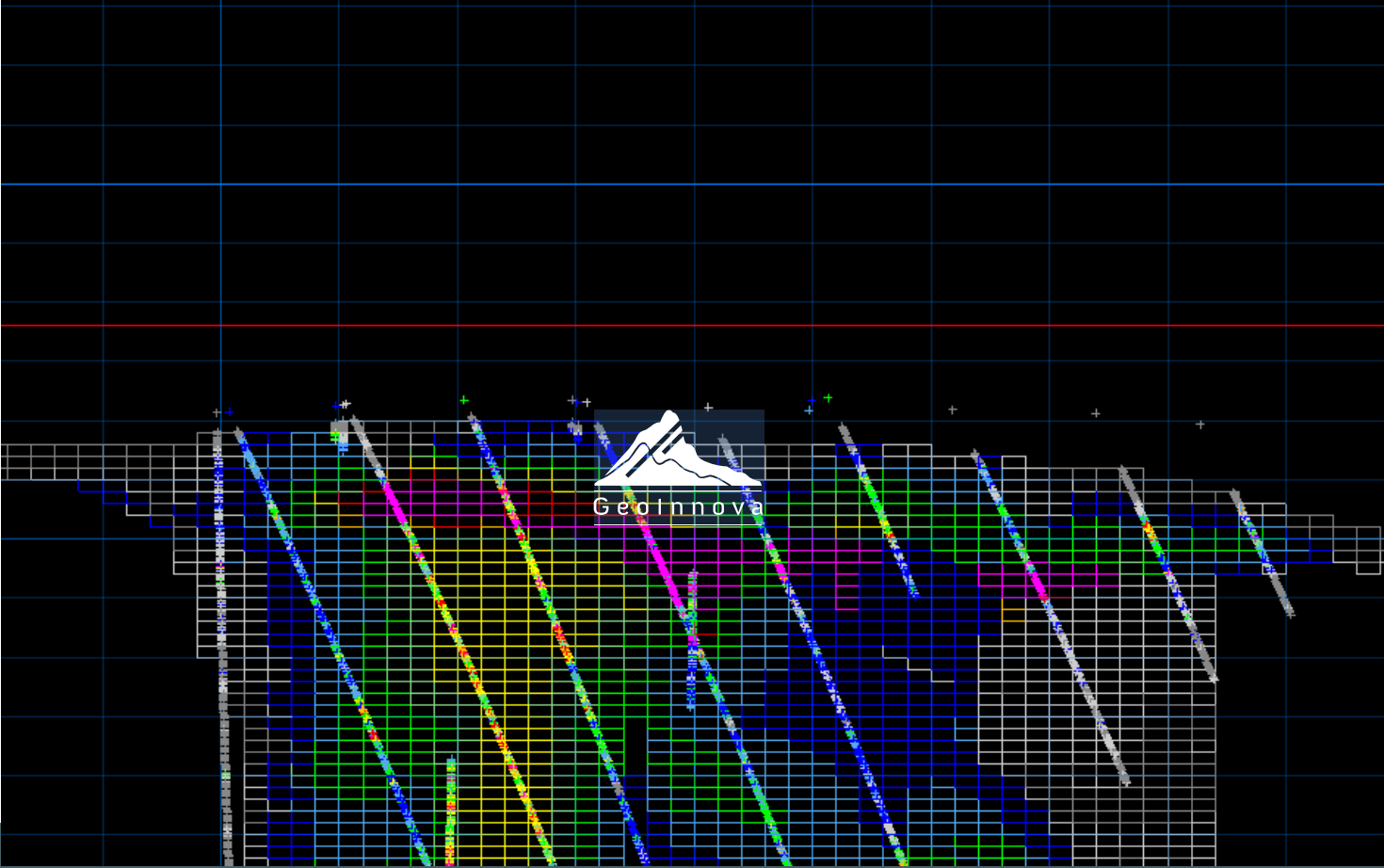


# Evaluación continuidad horizontal óxidos CuS



|      |      |
|------|------|
| 0.00 | 0.10 |
| 0.10 | 0.20 |
| 0.20 | 0.30 |
| 0.30 | 0.40 |
| 0.40 | 0.50 |
| 0.50 | 0.60 |
| 0.60 | 0.70 |
| 0.70 | 0.80 |
| 0.80 | 0.90 |
| 0.90 | 1.00 |
| 1.00 | 100  |

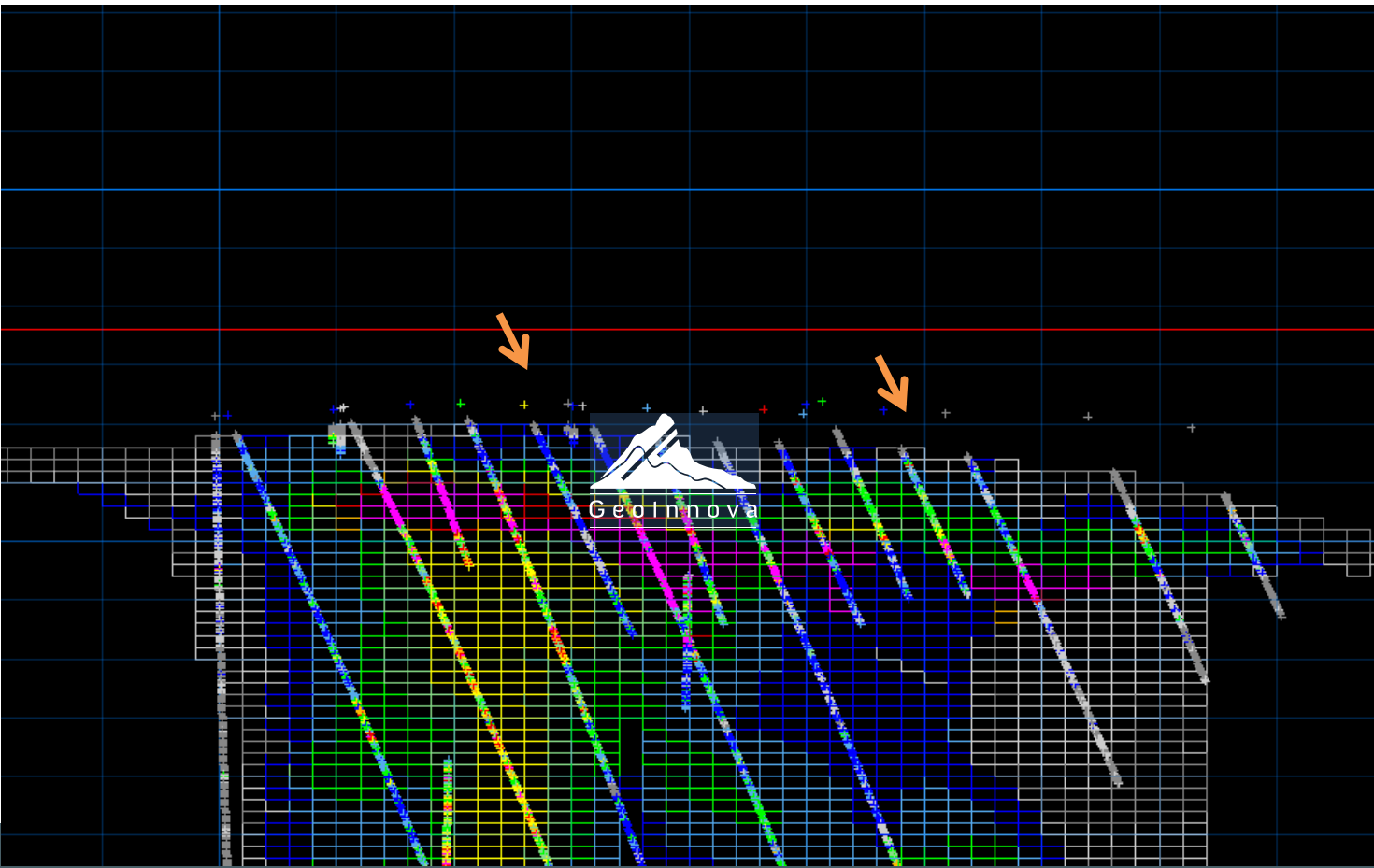
# Evaluación continuidad horizontal óxidos CuT



|      |      |
|------|------|
| 0.00 | 0.10 |
| 0.10 | 0.20 |
| 0.20 | 0.30 |
| 0.30 | 0.40 |
| 0.40 | 0.50 |
| 0.50 | 0.60 |
| 0.60 | 0.70 |
| 0.70 | 0.80 |
| 0.80 | 0.90 |
| 0.90 | 1.00 |
| 1.00 | 100  |

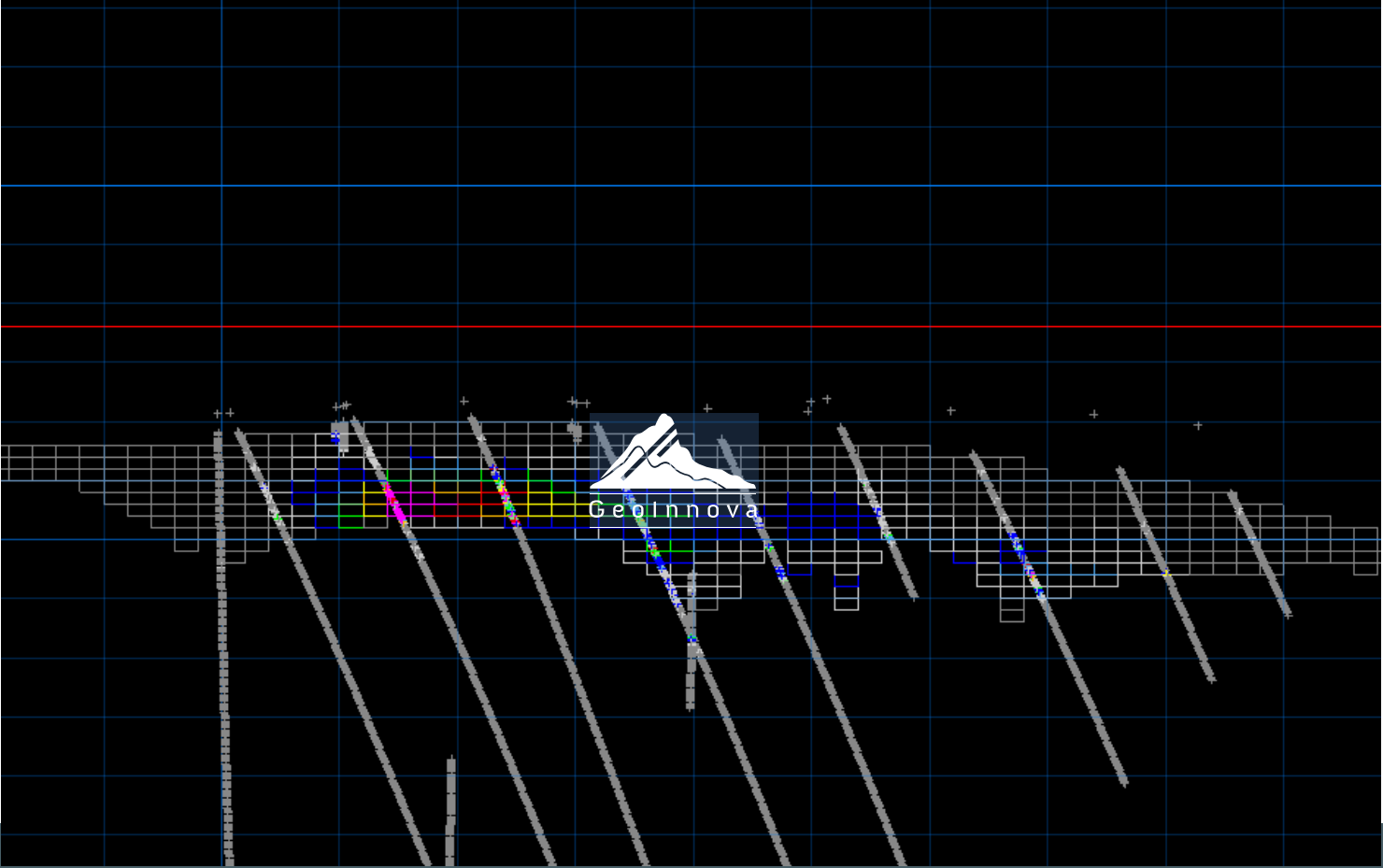


# Evaluación continuidad horizontal óxidos CuT



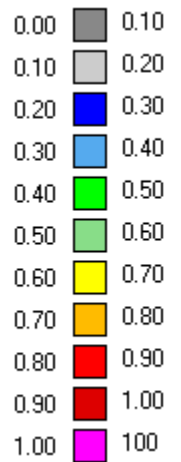
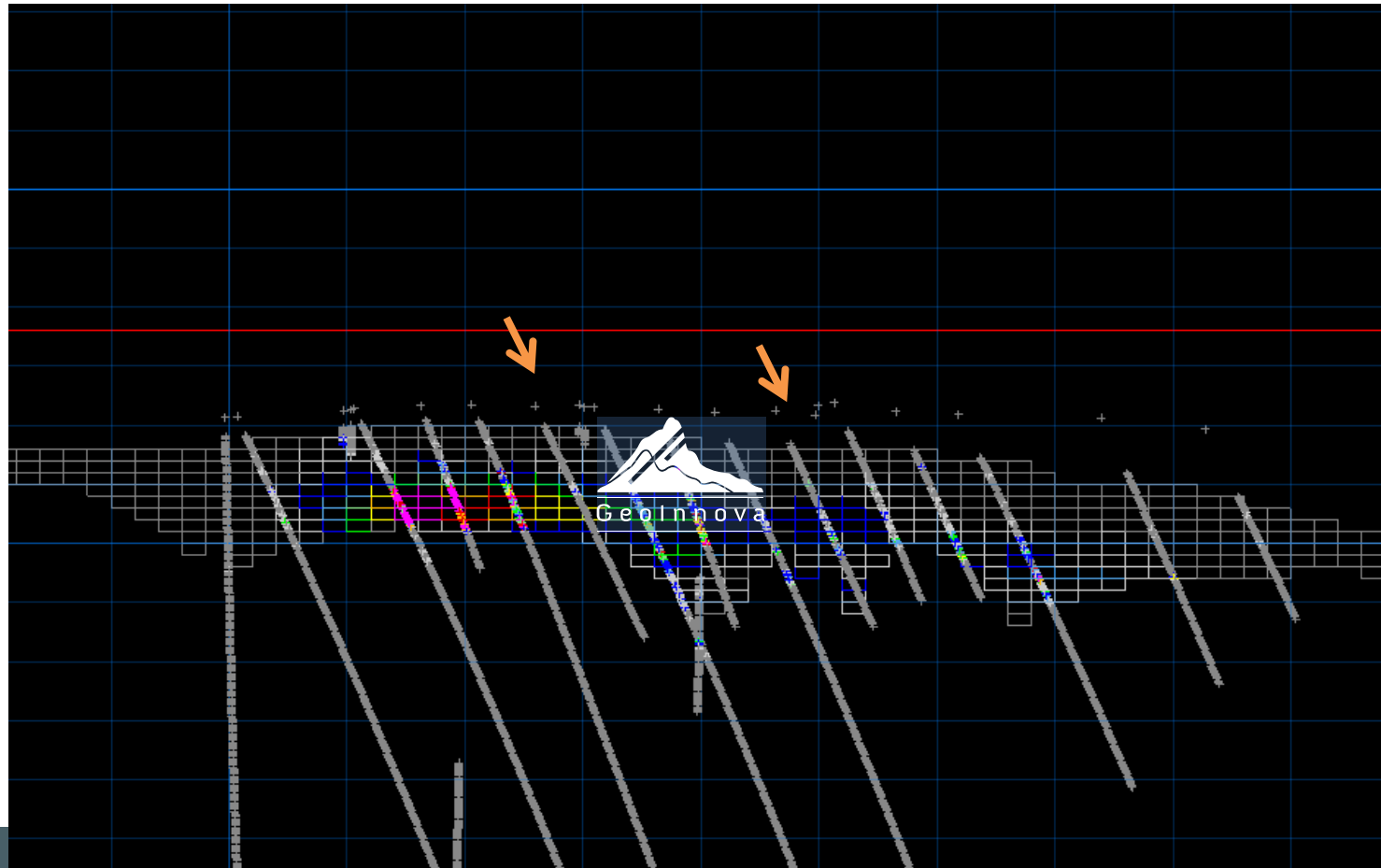
|      |      |
|------|------|
| 0.00 | 0.10 |
| 0.10 | 0.20 |
| 0.20 | 0.30 |
| 0.30 | 0.40 |
| 0.40 | 0.50 |
| 0.50 | 0.60 |
| 0.60 | 0.70 |
| 0.70 | 0.80 |
| 0.80 | 0.90 |
| 0.90 | 1.00 |
| 1.00 | 100  |

# Evaluación continuidad horizontal óxidos CuS



|      |      |
|------|------|
| 0.00 | 0.10 |
| 0.10 | 0.20 |
| 0.20 | 0.30 |
| 0.30 | 0.40 |
| 0.40 | 0.50 |
| 0.50 | 0.60 |
| 0.60 | 0.70 |
| 0.70 | 0.80 |
| 0.80 | 0.90 |
| 0.90 | 1.00 |
| 1.00 | 100  |

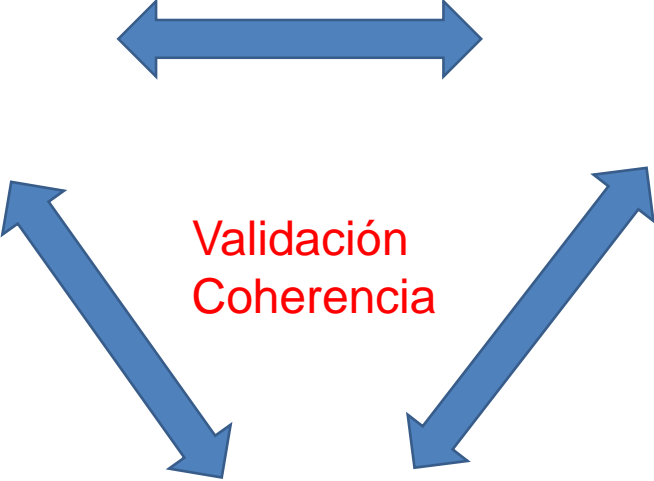
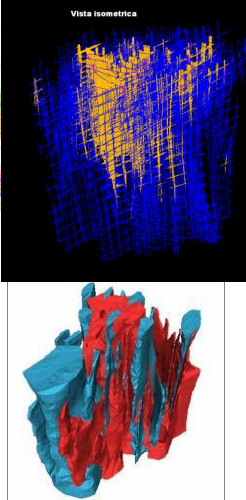
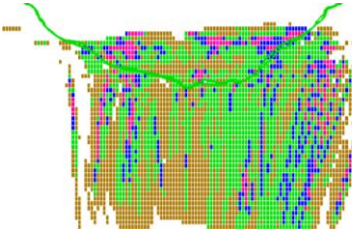
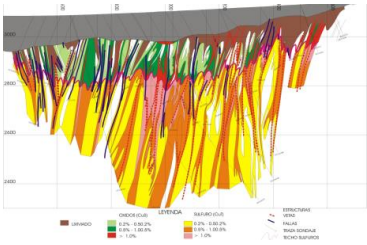
## Error de Construcción o conceptualización o mapeo de sondajes?



# **Posibles caminos para modelamiento geológico**

# Conceptualización geológica

# Construcción de modelos

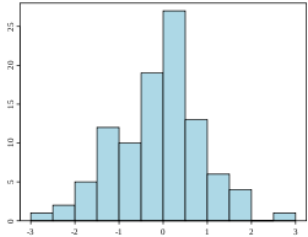


## Mapeo/Manejo

## análisis de datos geológicos



+




## ***Se están generando de modo masivo información complementaria al mapeo geológico:***

- Análisis químicos, test metalúrgicos
- ICP, DRXF, NIR, Extracción parcial
- Fotografías, análisis de hiperspectral de testigos (eg. Corescan)


**→ Necesidad de manejar e integrar información de distinta naturaleza**

**→ Necesidad de analizar y procesar información para complementar/precisar mapeos**

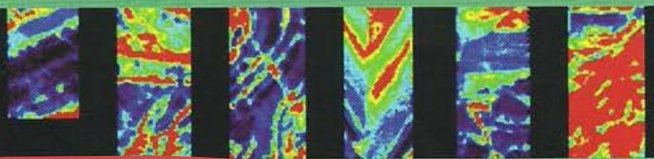
# Herramientas complementarias al mapeo



**GeoSpectral Imaging** [www.geospectral.co.za](http://www.geospectral.co.za)  
[info@geospectral.co.za](mailto:info@geospectral.co.za)  
+27 (0)11 675 7092



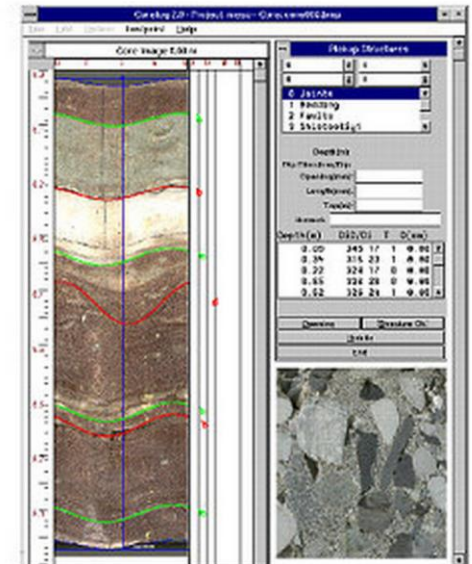
HYPERSPECTRAL CORE IMAGING SOLUTIONS  
DATA ACQUISITION AND PROCESSING SERVICES  
INTERPRETATION AND MODELING CONSULTING SERVICES  
GENERATION OF PROJECT-SCALE MINERALOGY  
GEOLOGICAL, METALLURGICAL AND MINING APPLICATIONS



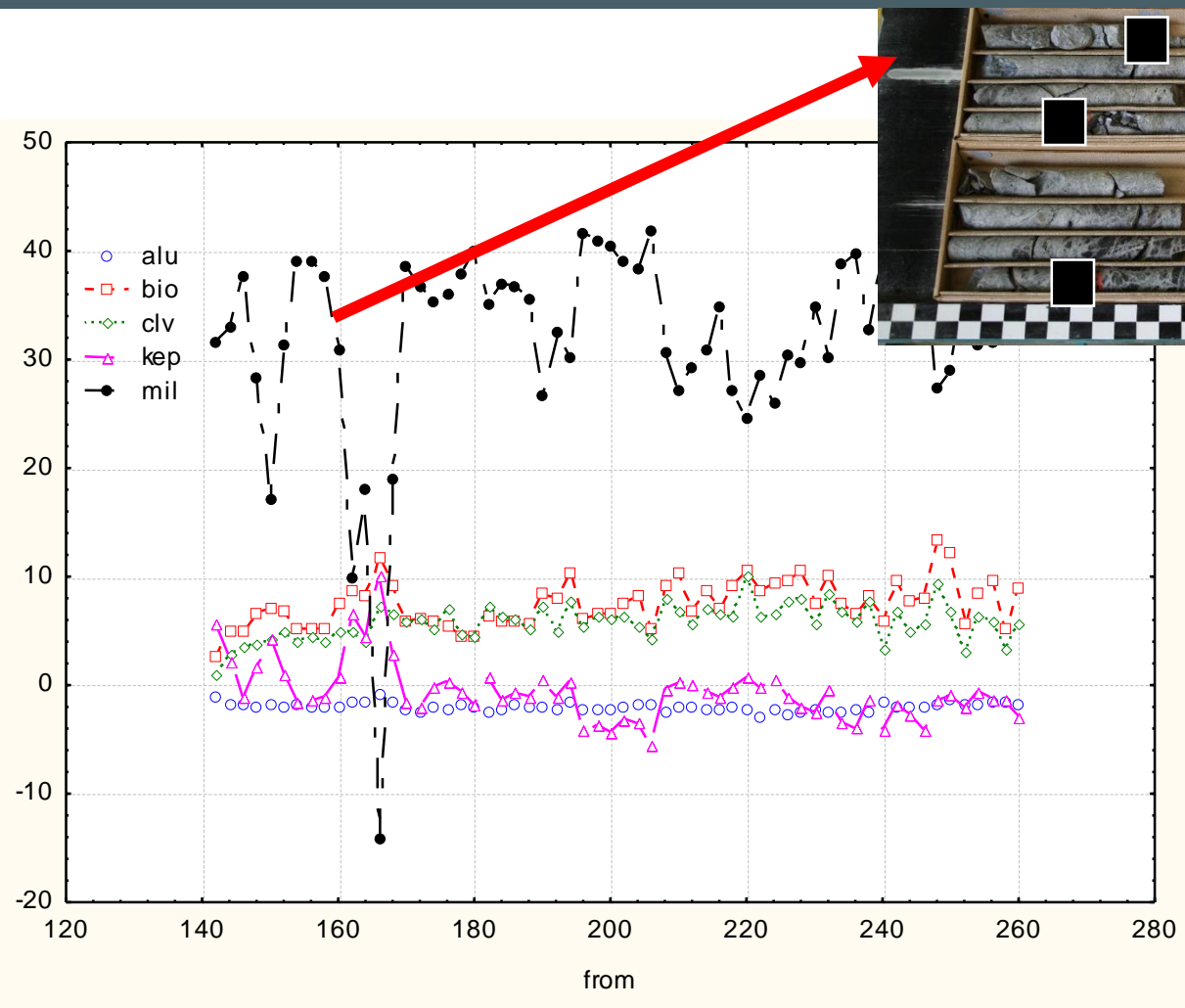
**BRINGING GEOLOGICAL INTELLIGENCE  
TO YOUR DRILLCORE**

## DMT CoreScan® Colour

Digital core imaging

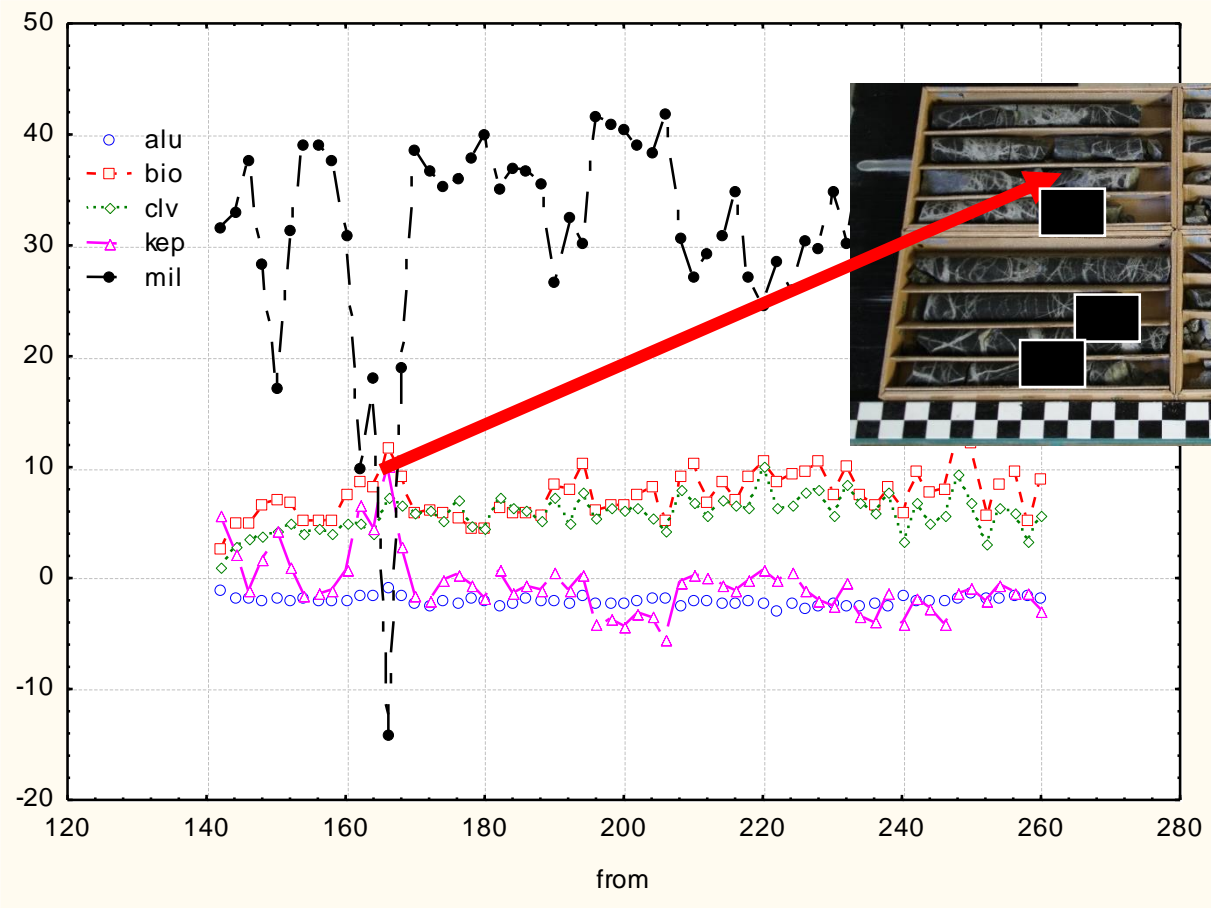


# Ejemplo NIR1 % minerales en un sondaje

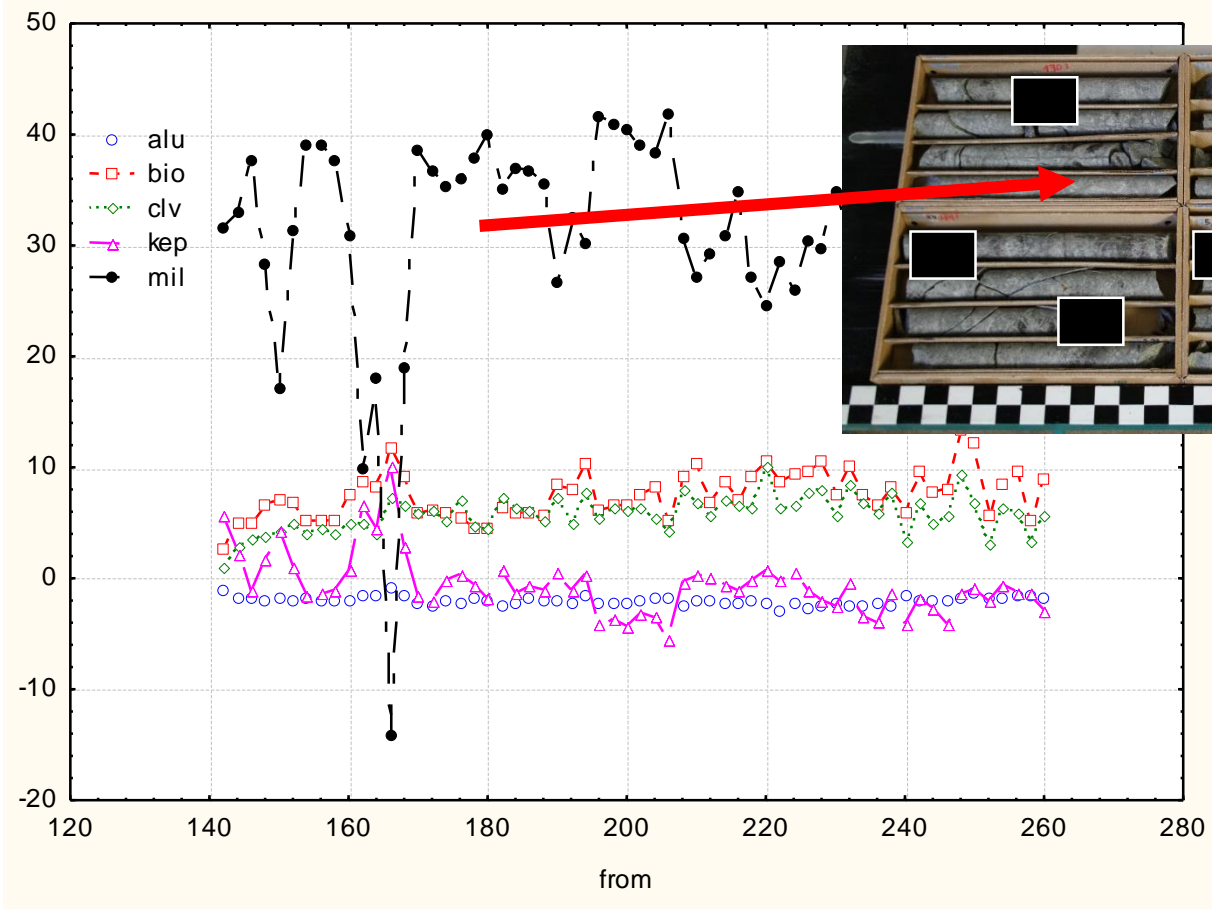


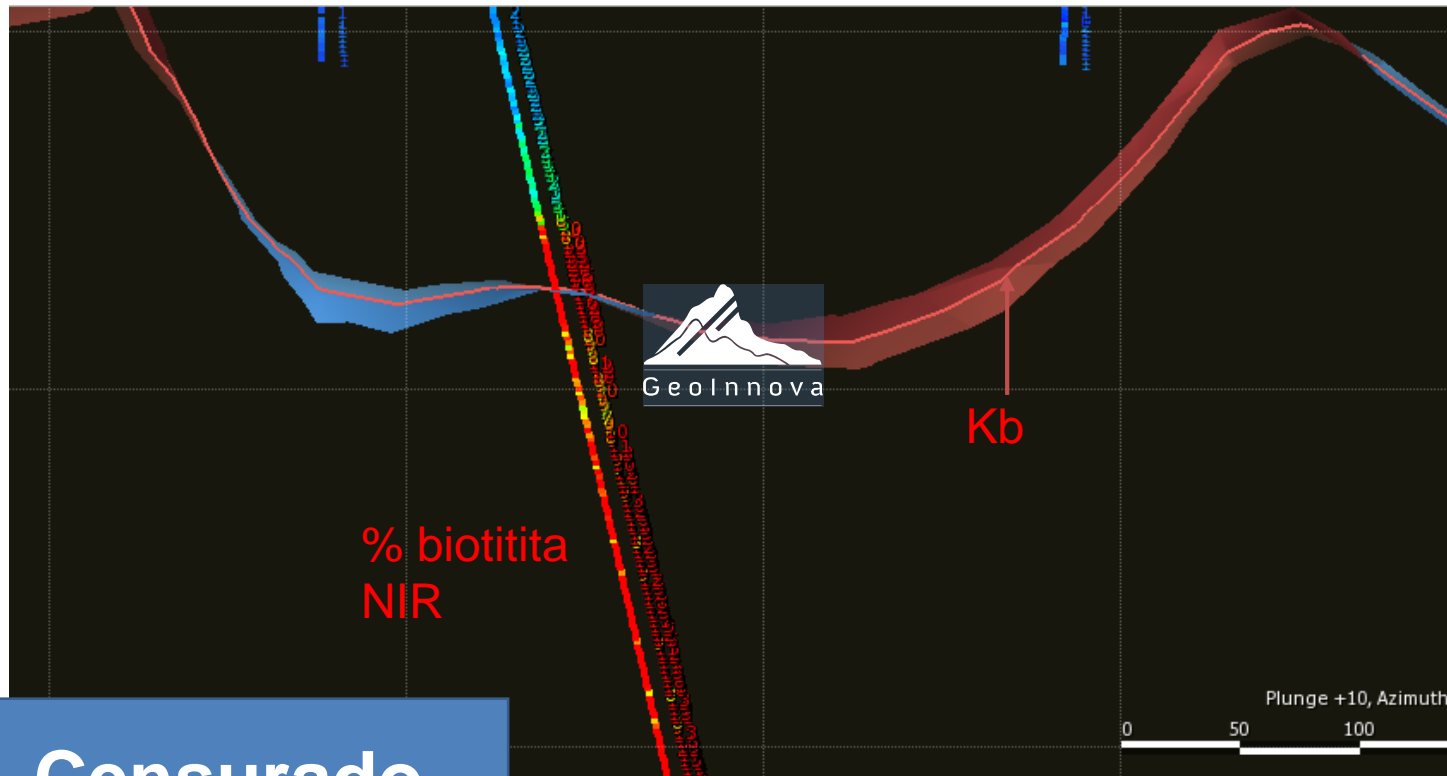


# Ejemplo NIR2 % minerales en un sondaje



# Ejemplo NIR3

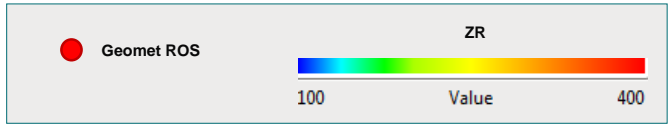
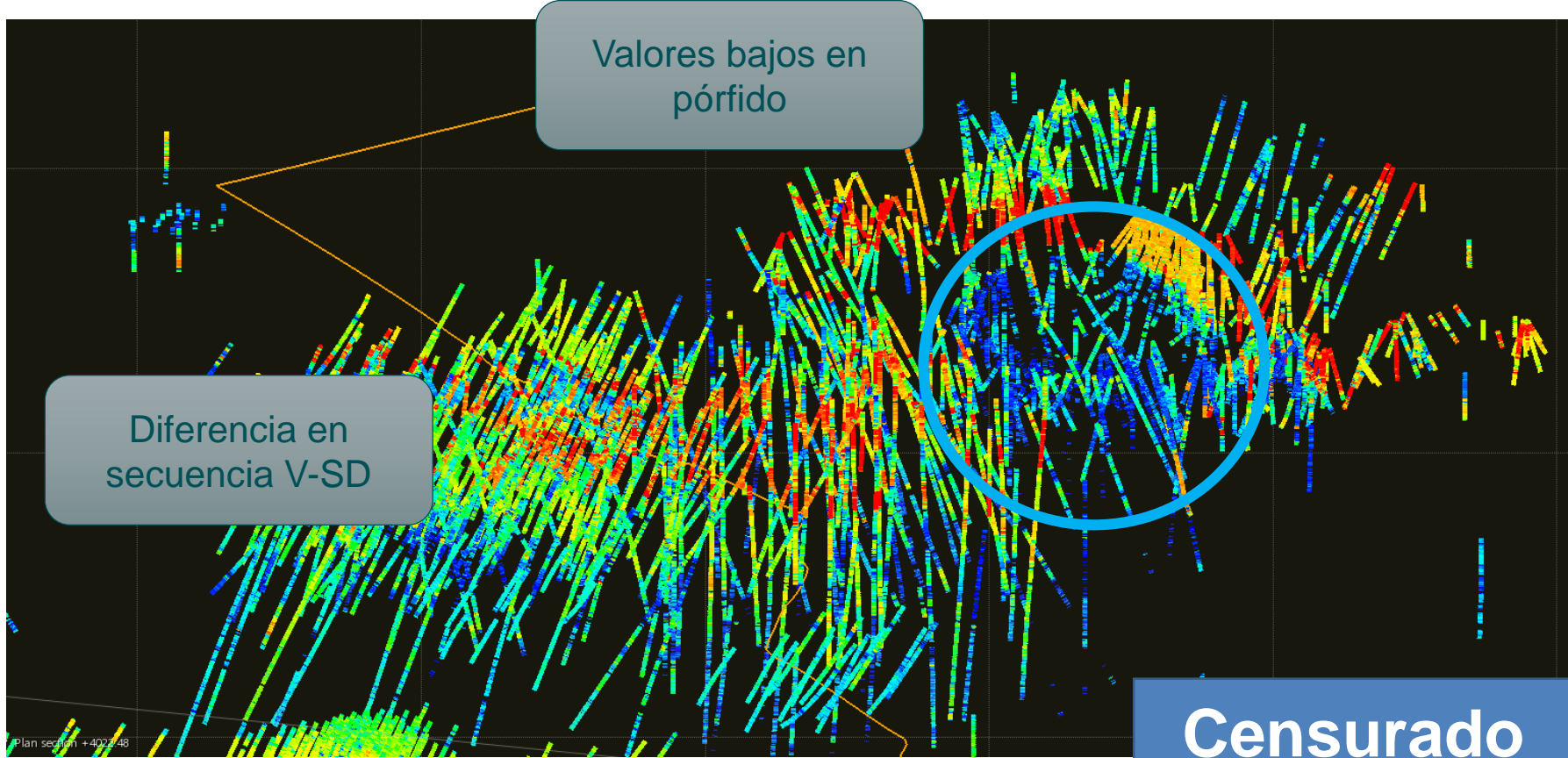




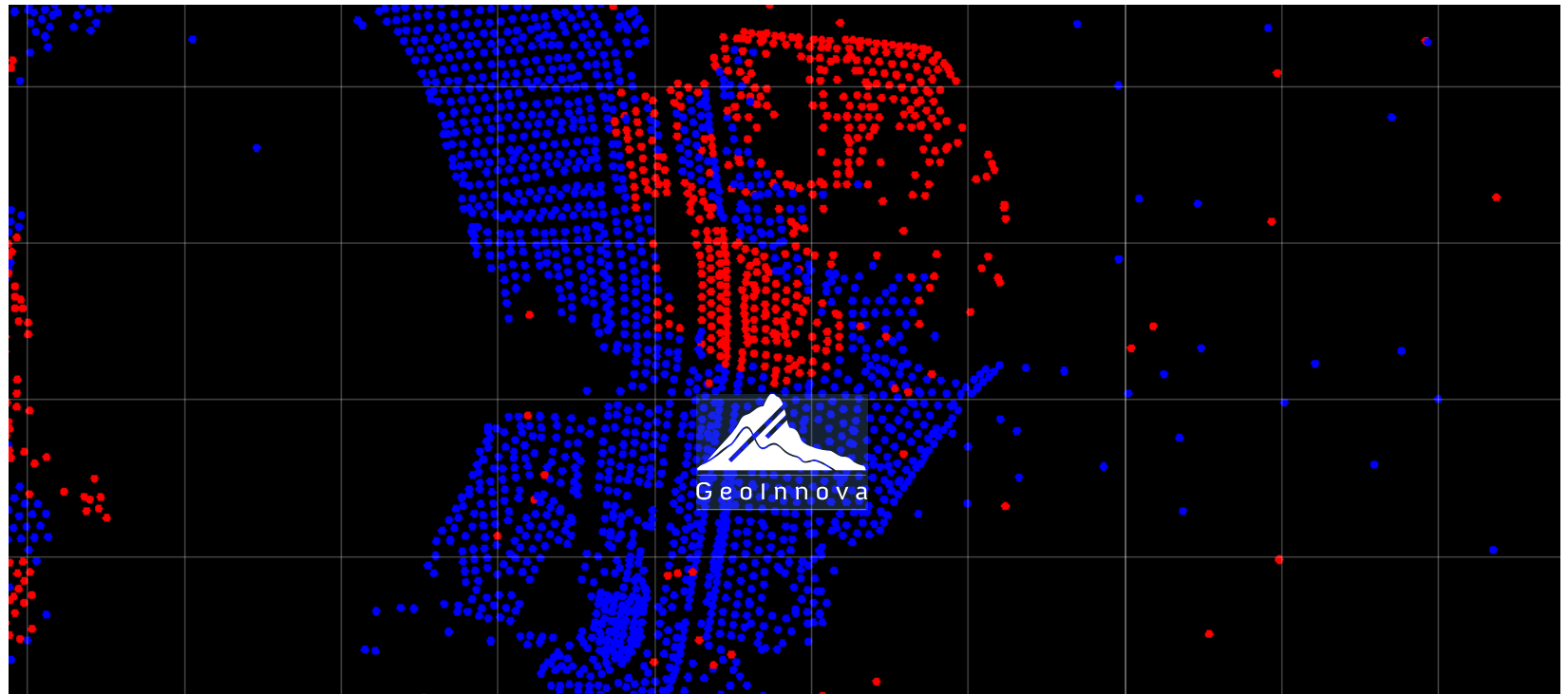
## Censurado

- NIR puede ser usado para definición de contactos de alteraciones

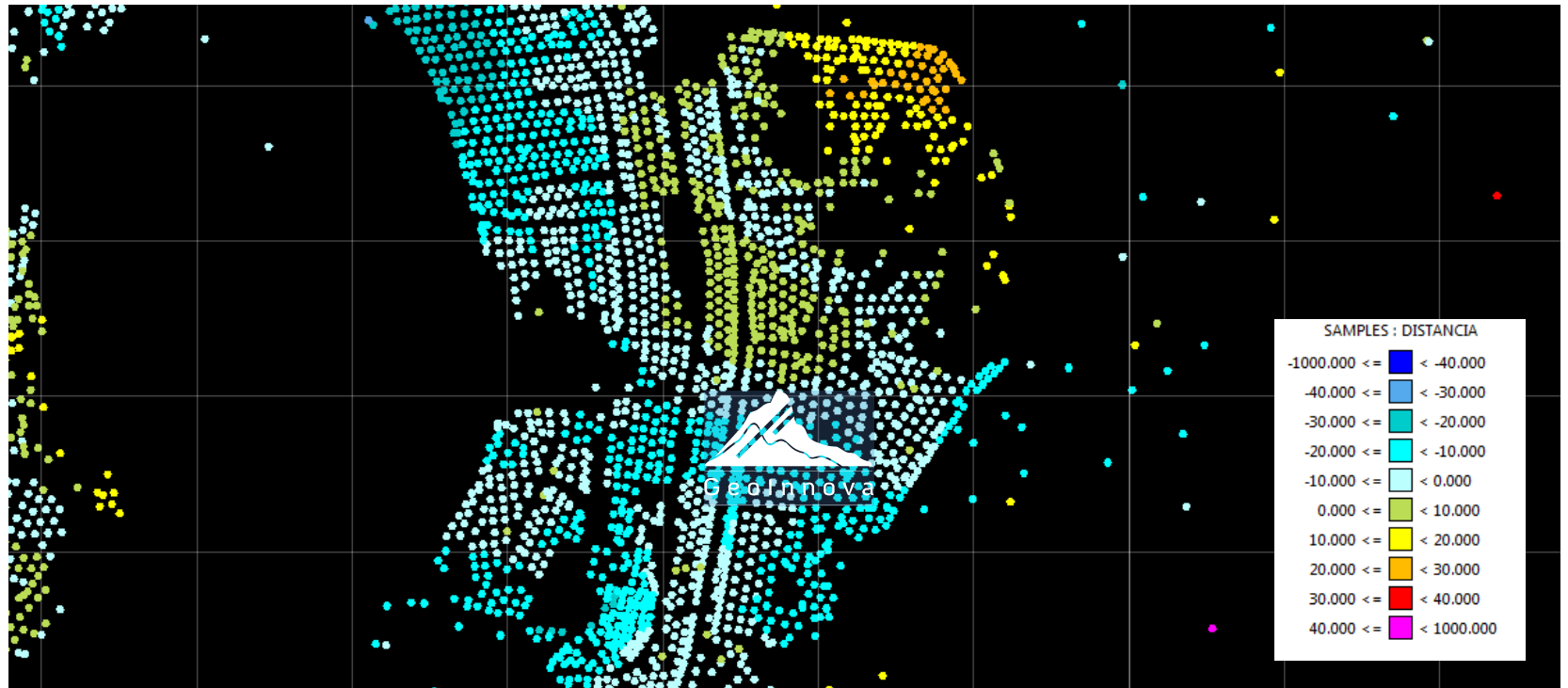
# Distribución espacial ZR (DRXF)



# Distancias al contacto Pozos de tronadura + Sondaje en CP

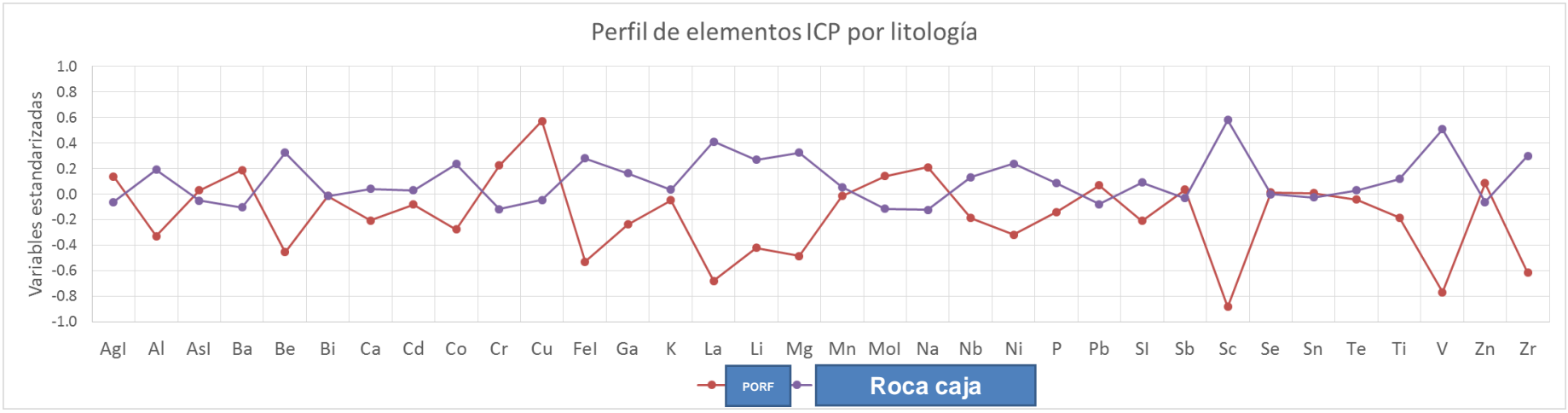
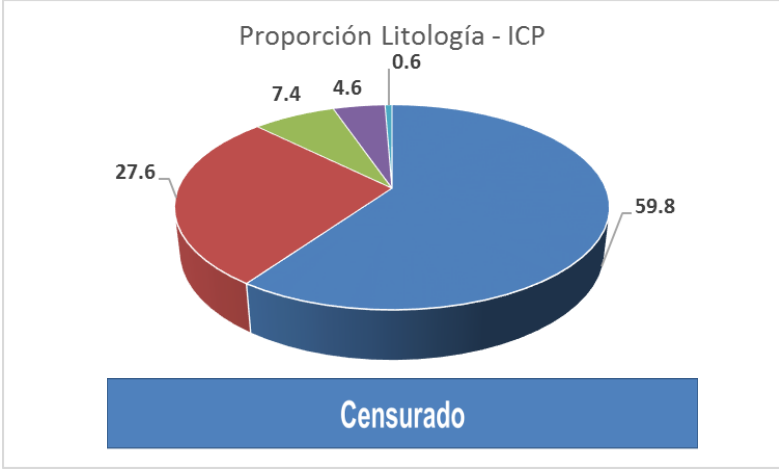


SAMPLES : DIST\_IND  
-10000.000 <= ■ < 0.000  
0.000 <= ■ < 10000.000



**Usado como input para modelamiento implícito**

# Media condicional de variables ICP por litología



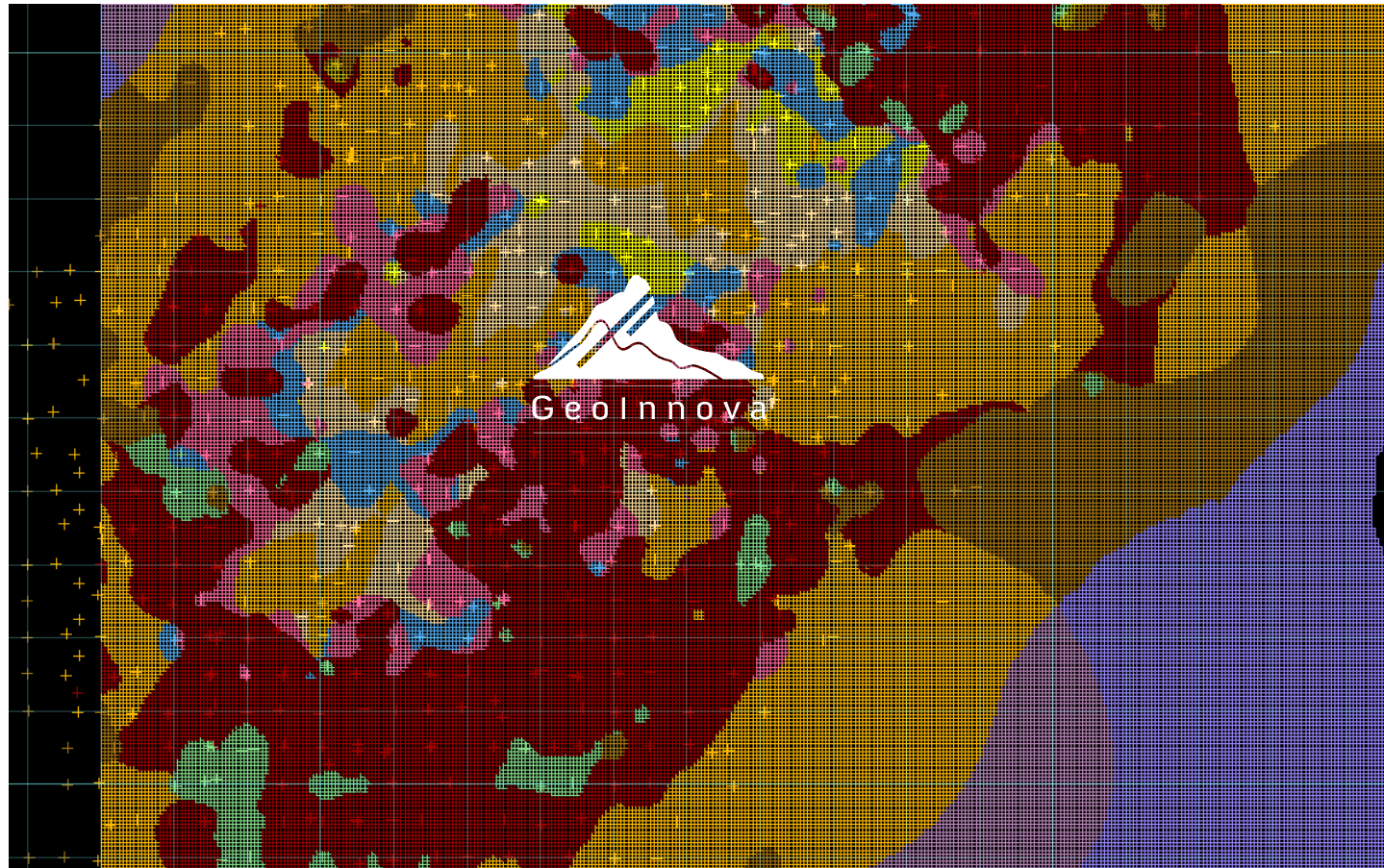
Velocidad de modelamiento implícito invita a:

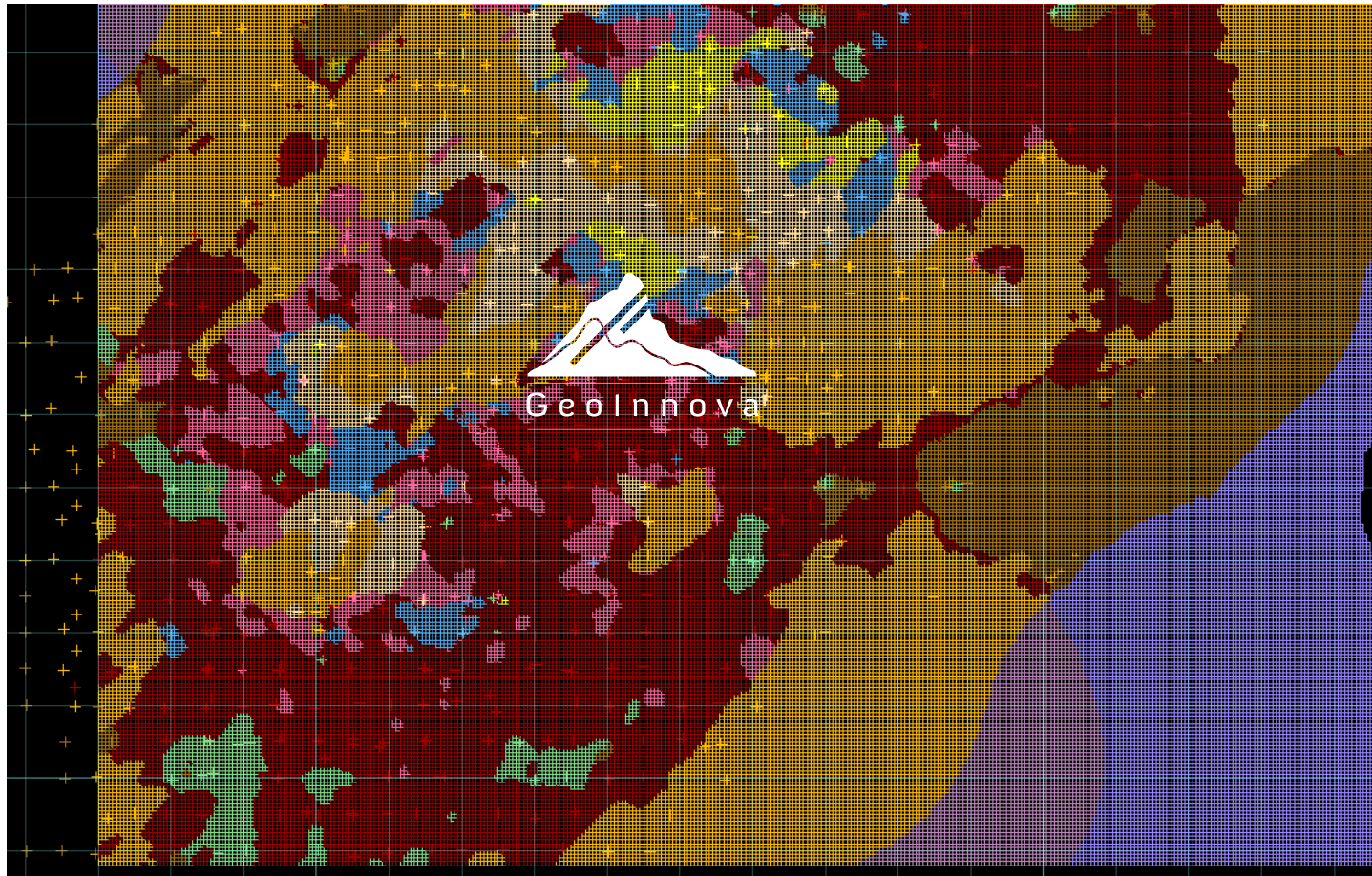
- Generar sensibilizaciones en sus parámetros o similar → Esto tiene un sabor estocástico pero no es realmente un modelo estocástico:
  - Ej. Simulación de variabilidad inherente de cobre soluble vs la sensibilidad a reactivo o al tiempo.
  - Ej. Simulación de leyes de Cut no es lo mismo que sensibilizar el # de muestras para estimar Cut.
- Combinación de simulación geoestadística + mod. Implícito atractiva alternativa para **evaluación de riesgo asociado** a la construcción del modelo geológico.
- → Modelamiento geológico estocástico REF1,



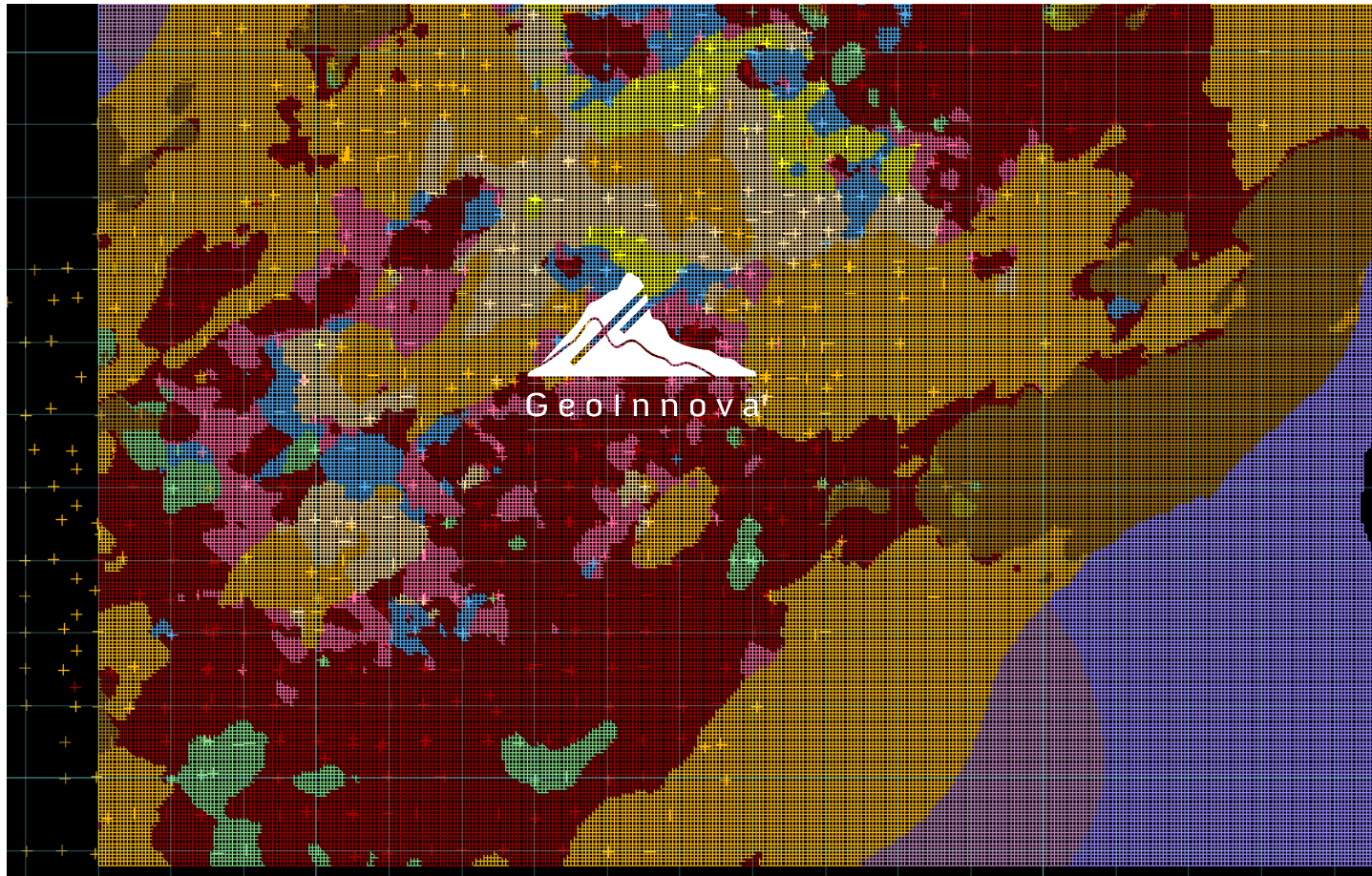
# **Ejemplo modelos geológicos estocásticos**

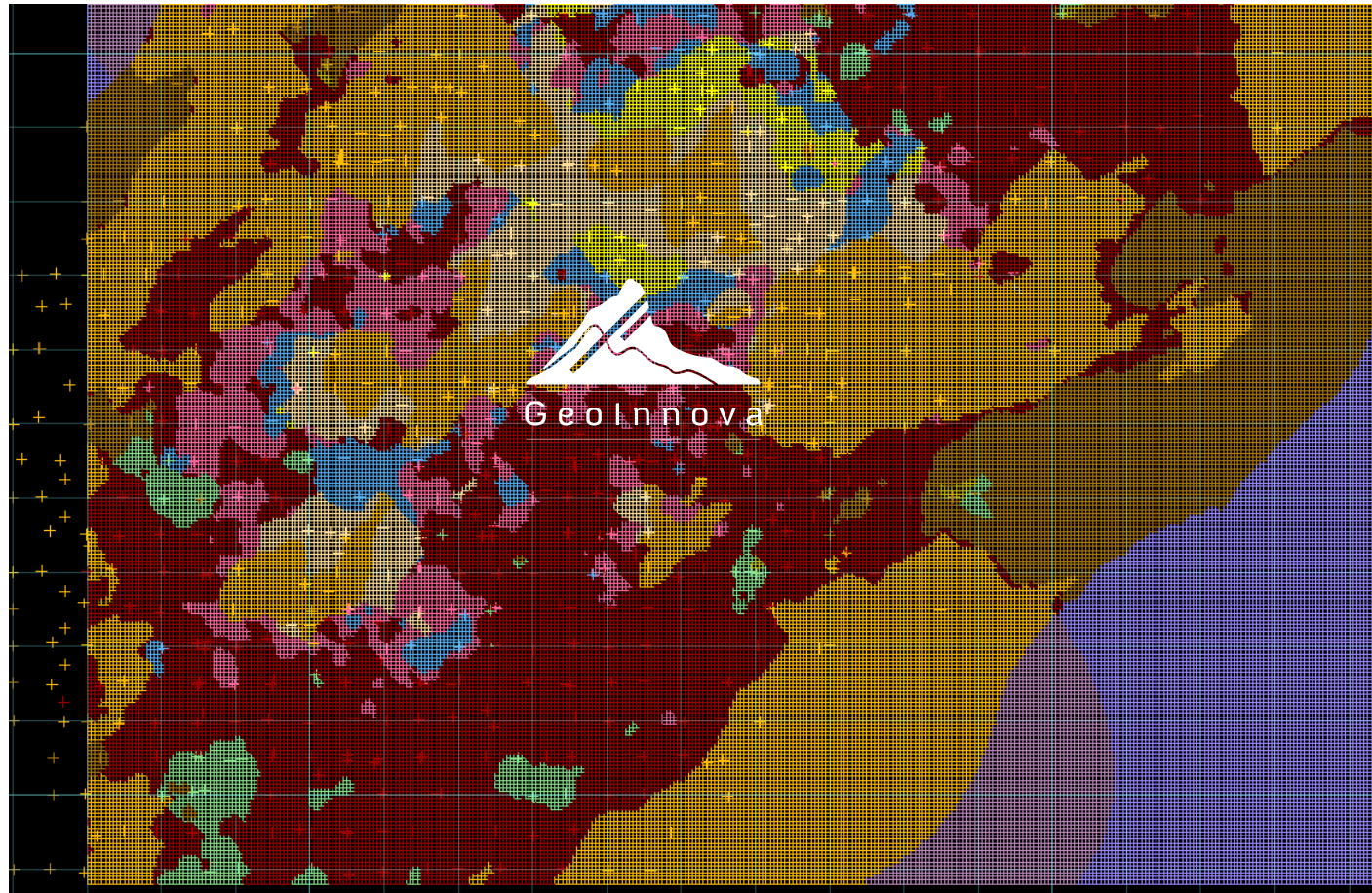
# Minty modelada Z



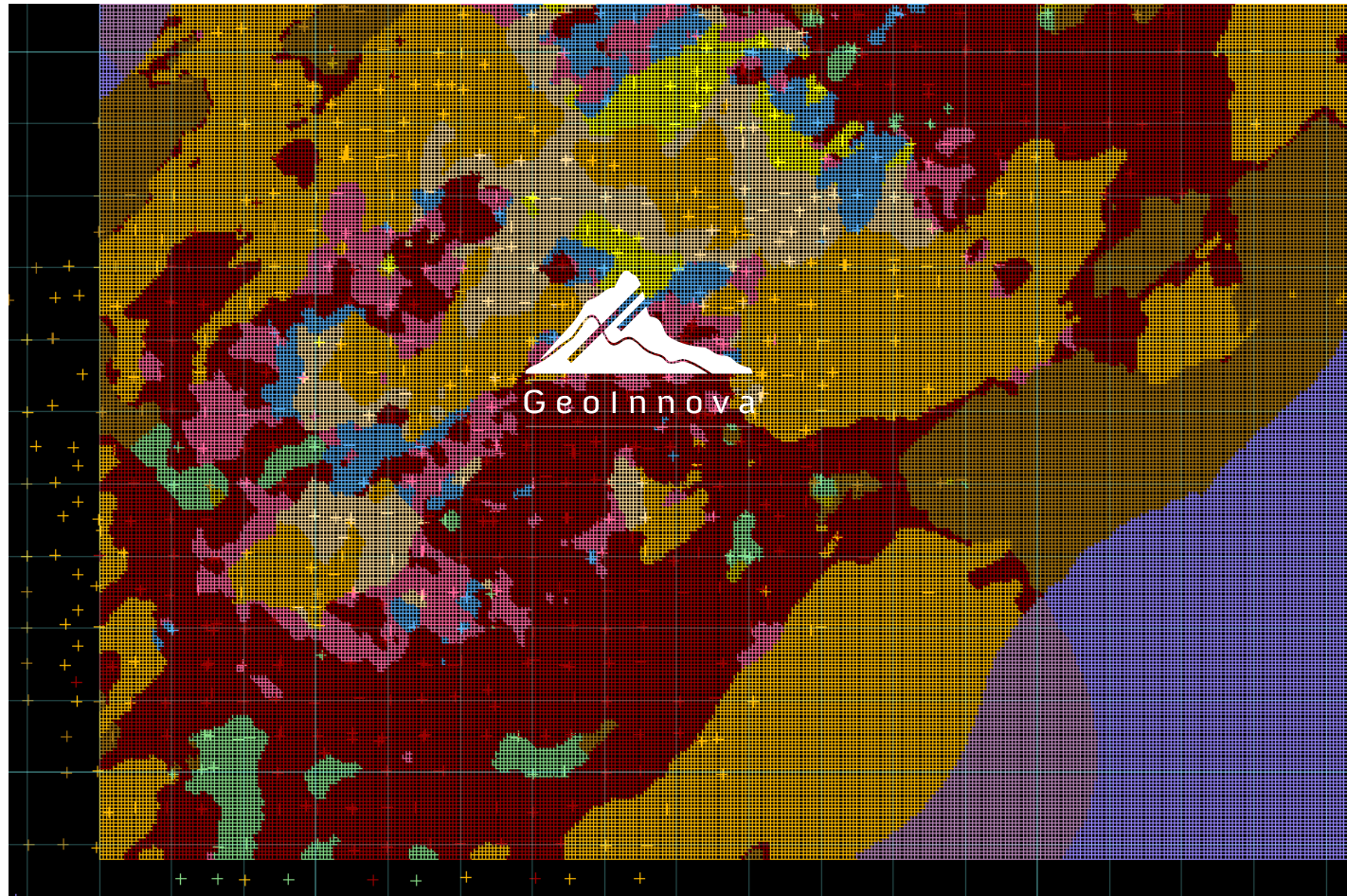


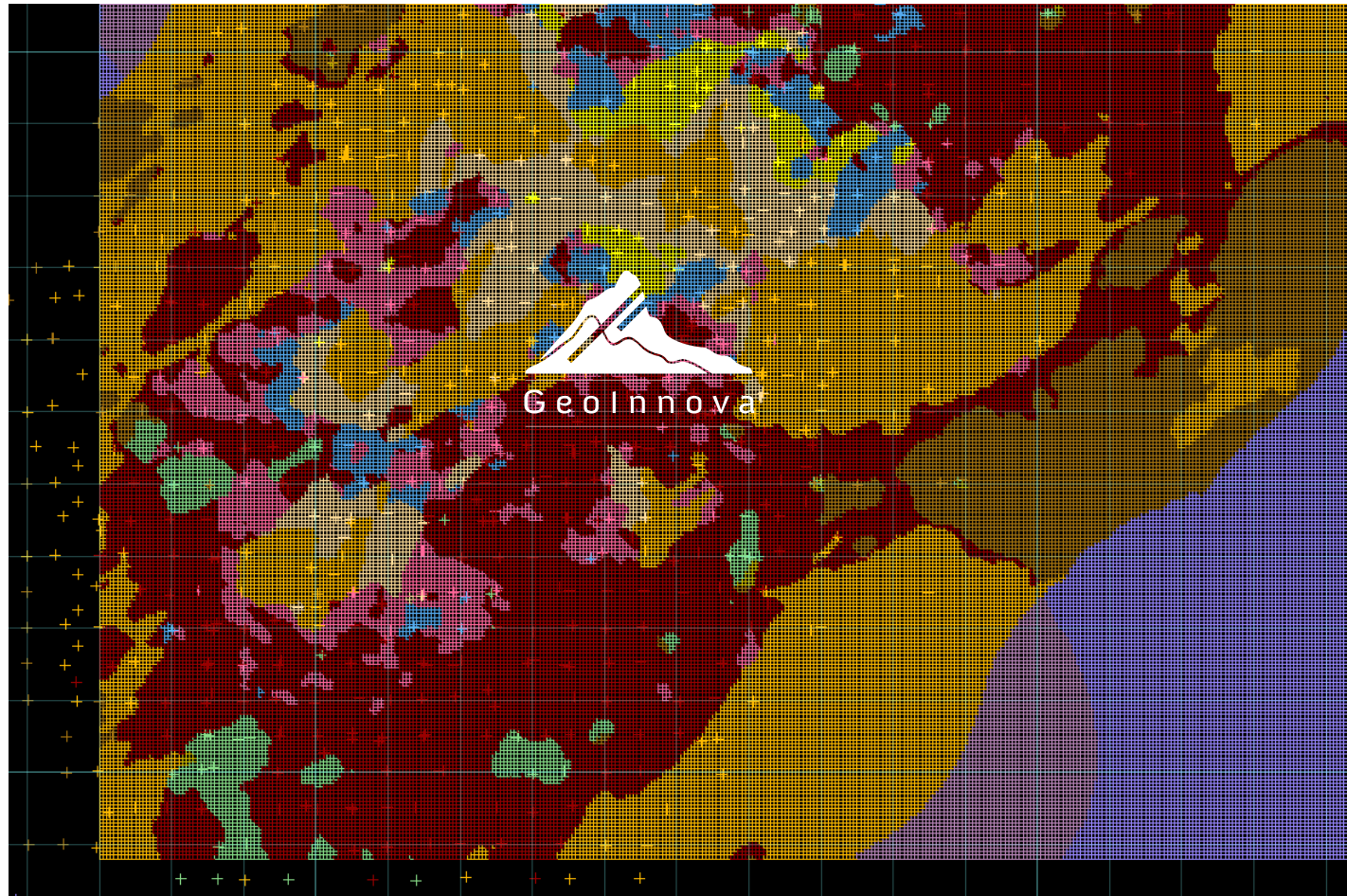




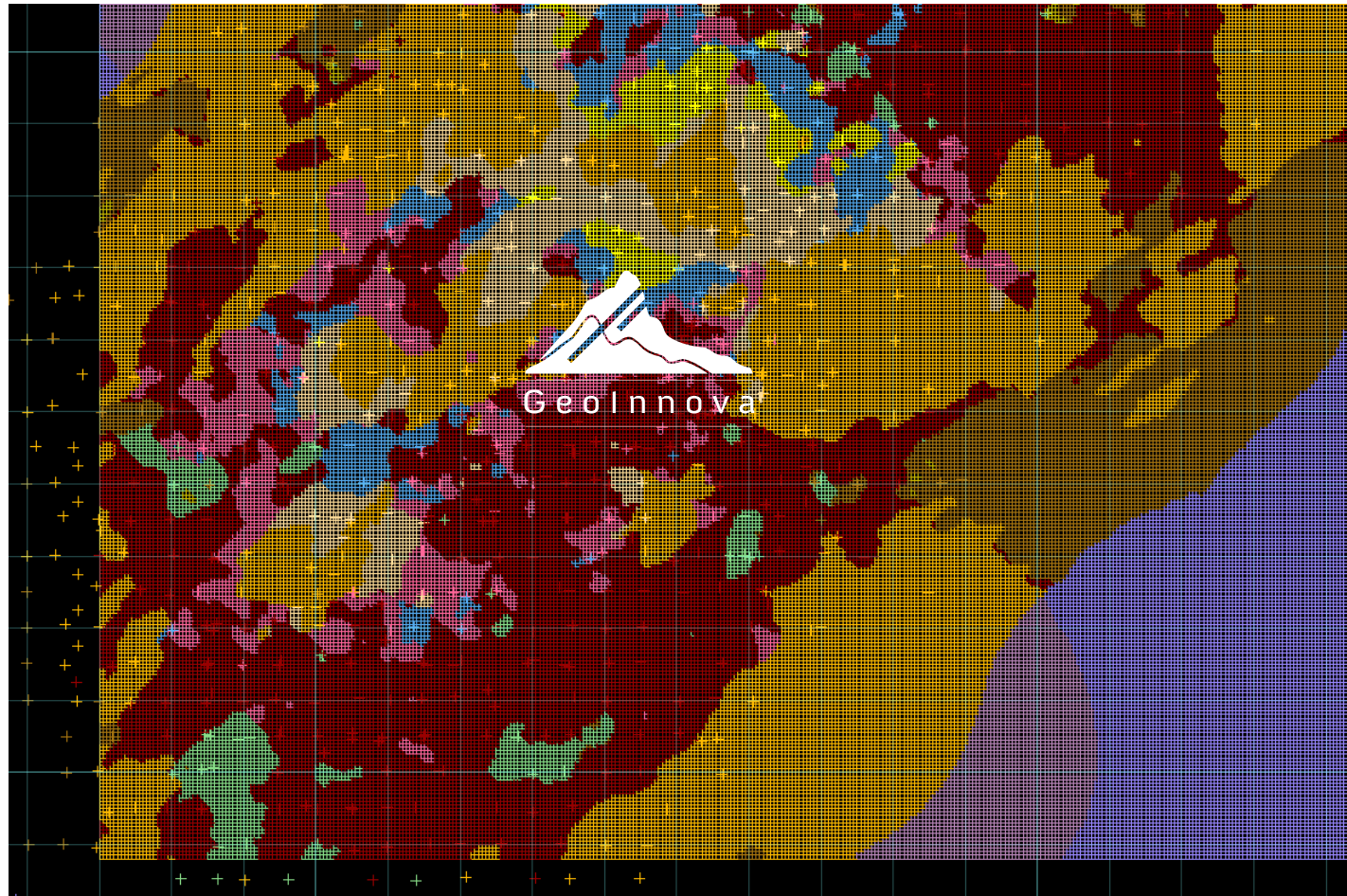






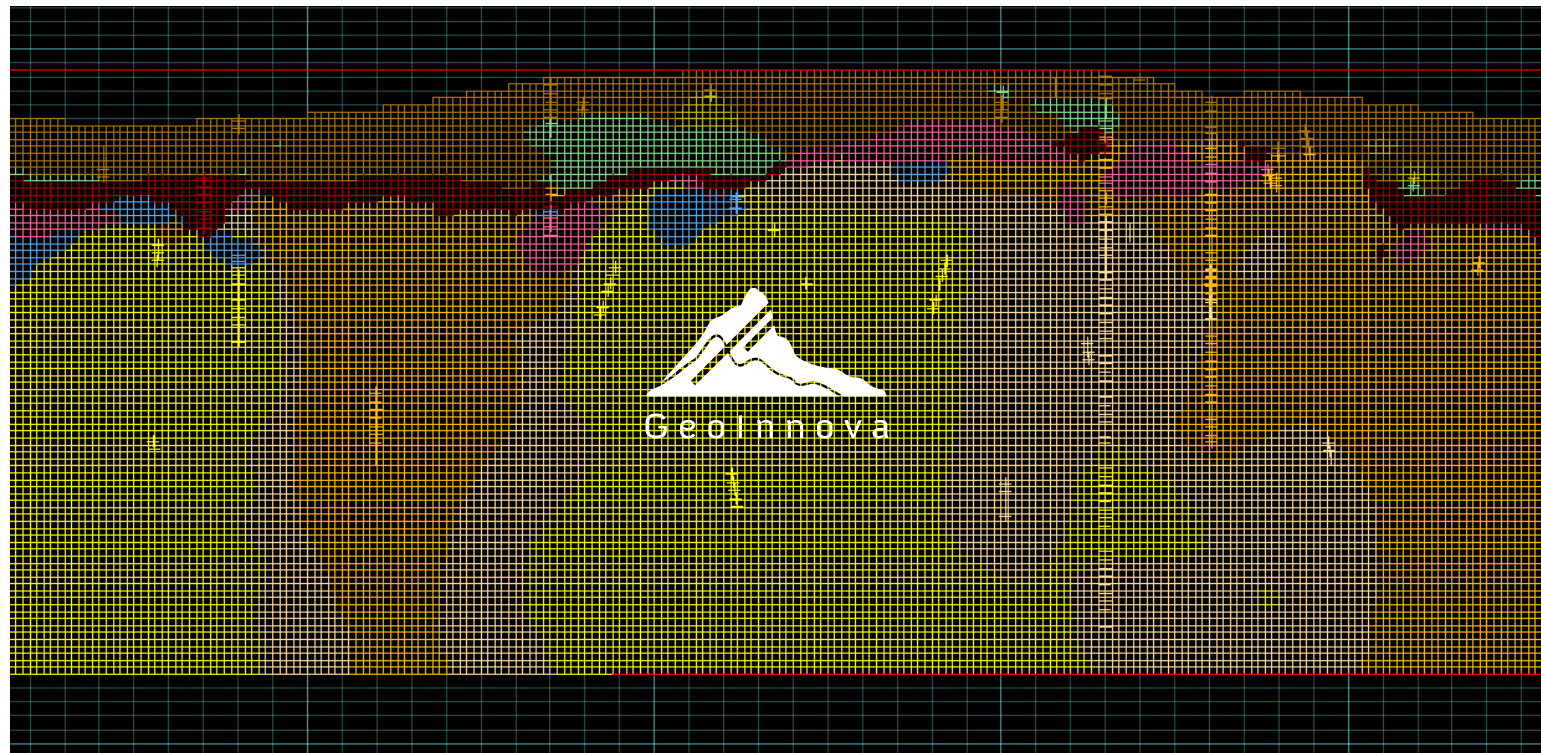


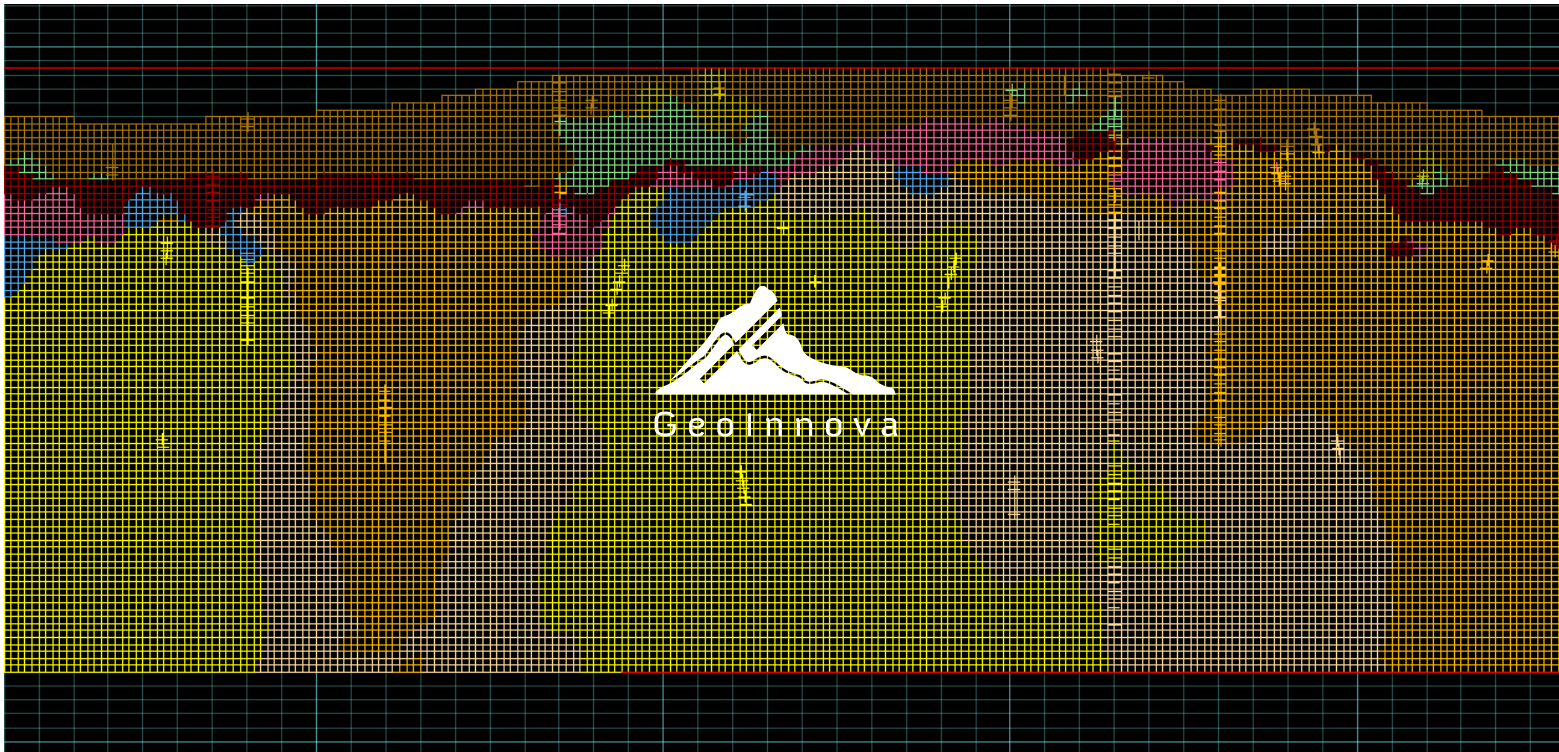


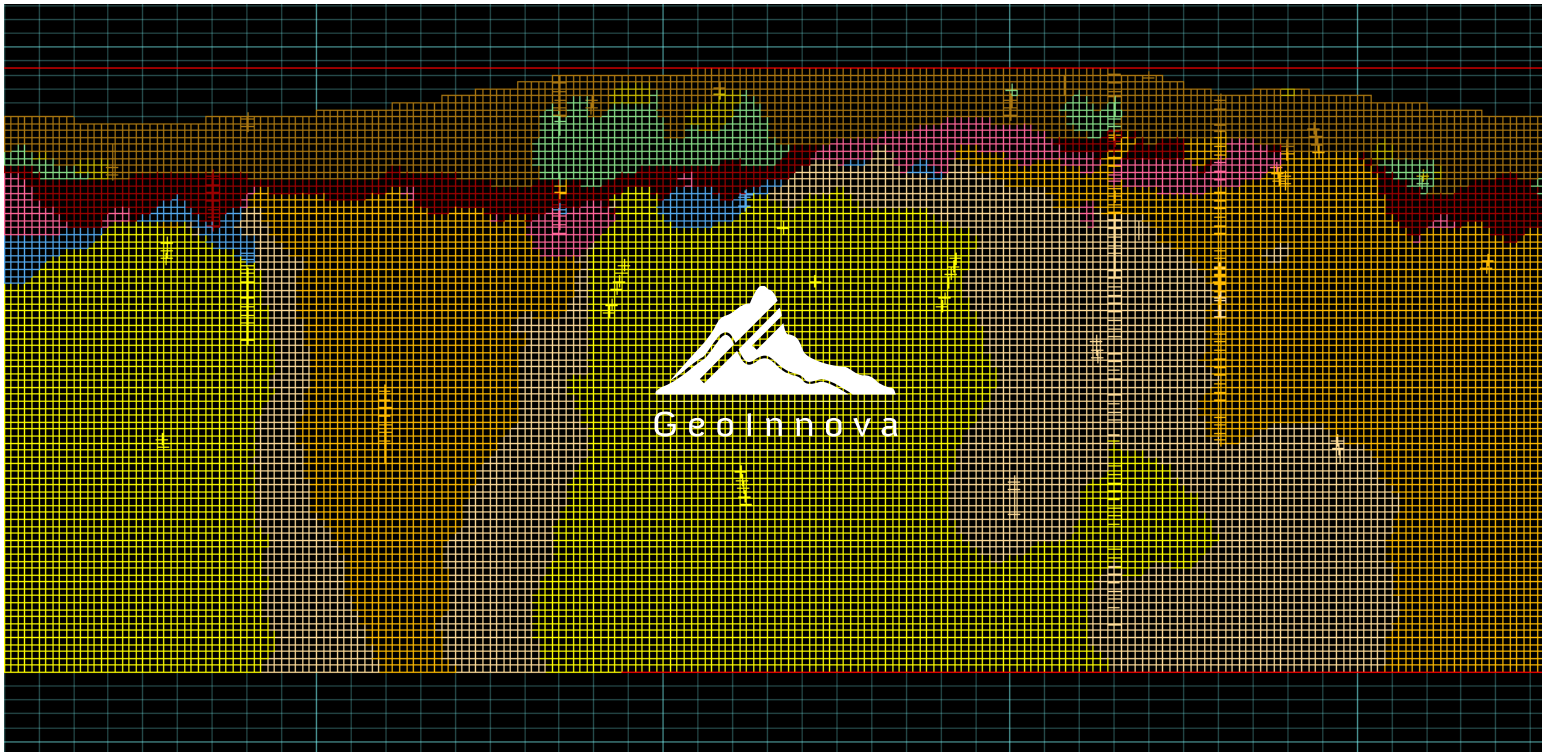


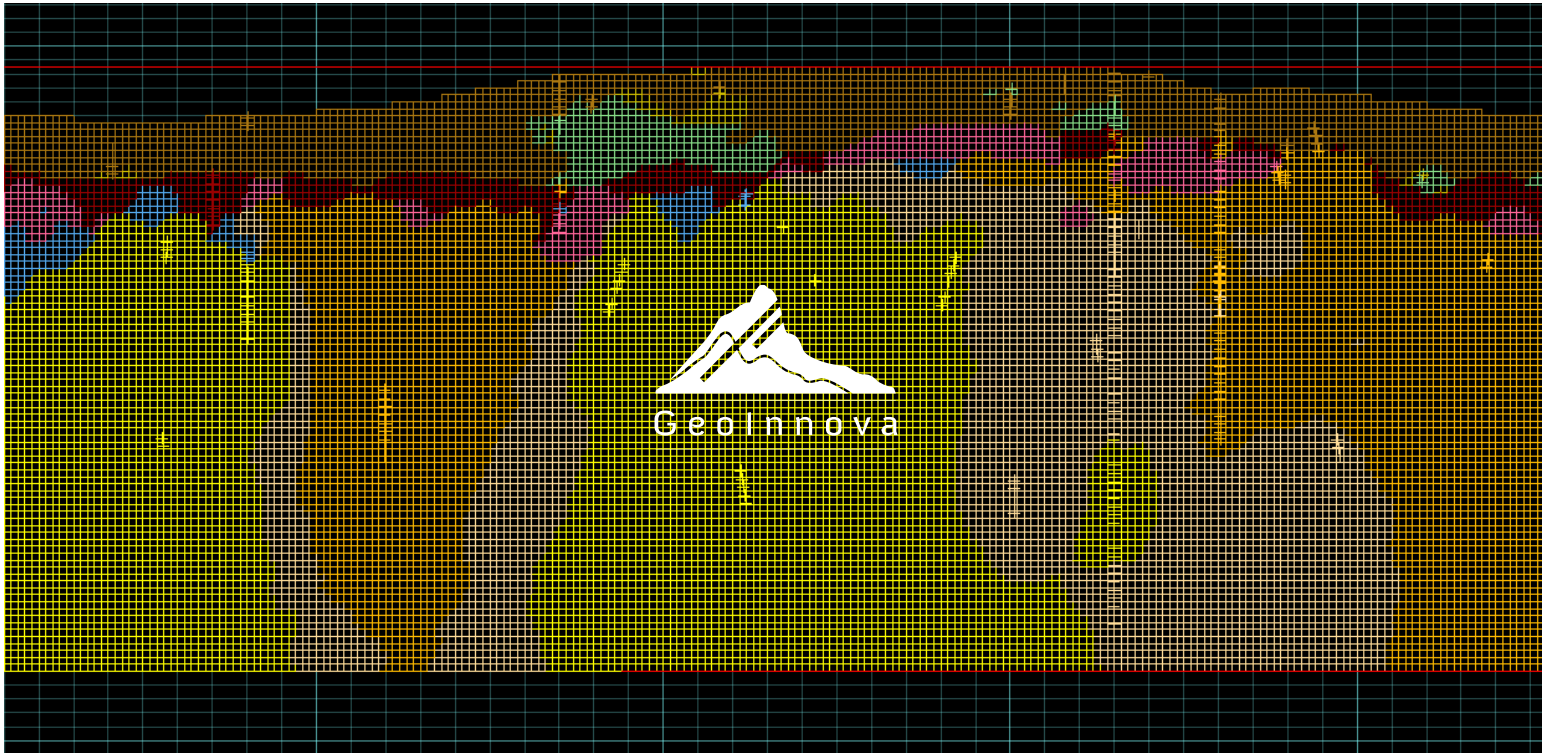


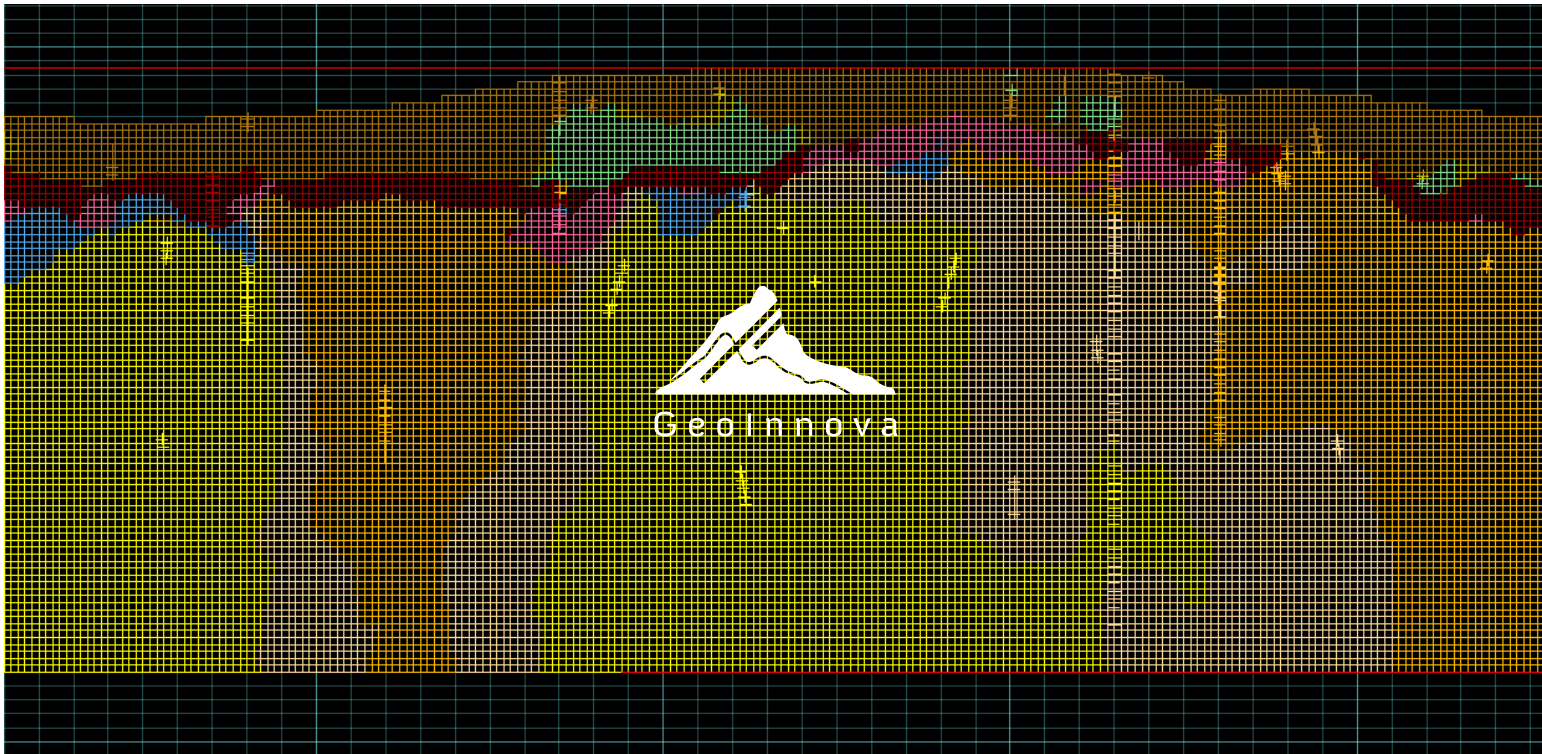
# Minty modelada E474627.5

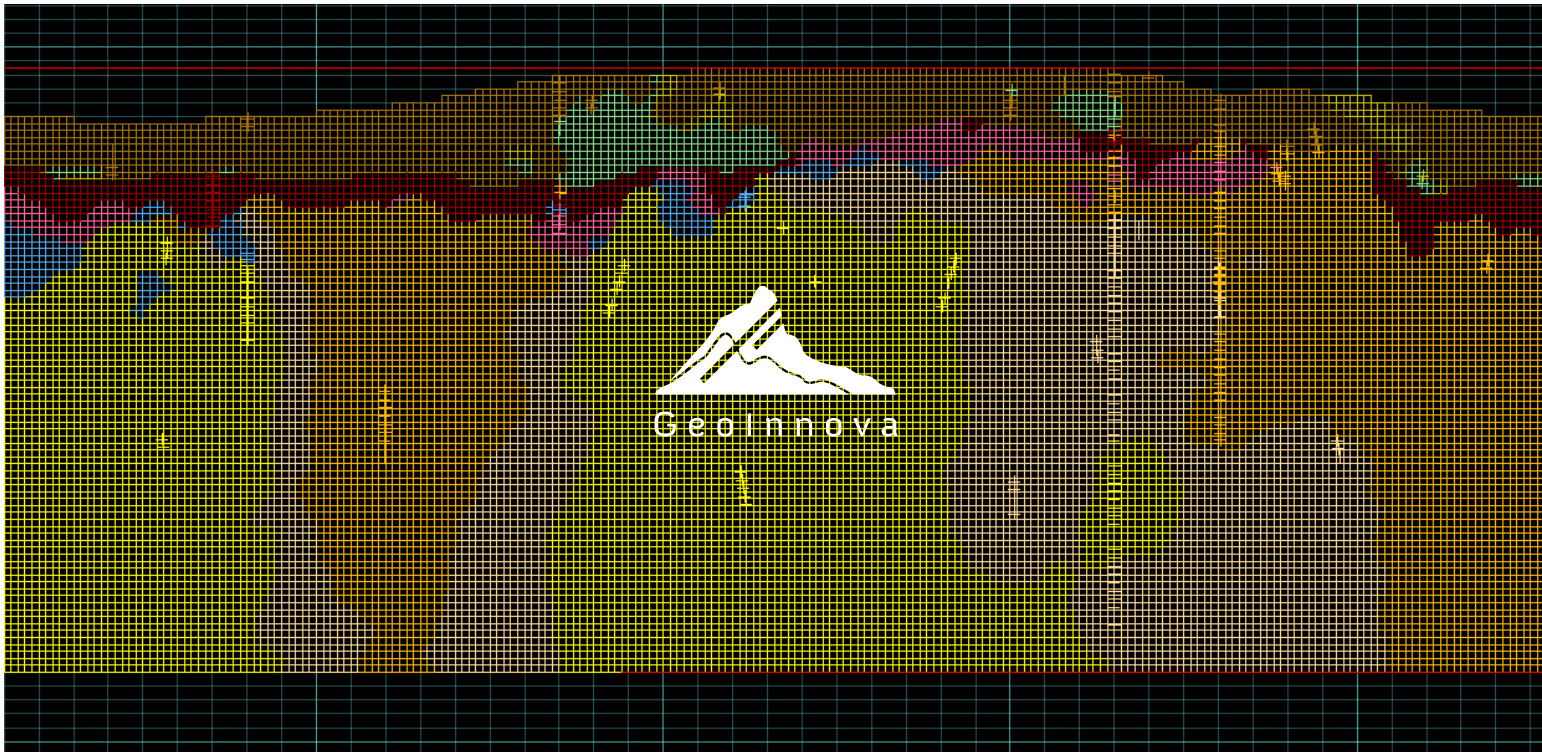




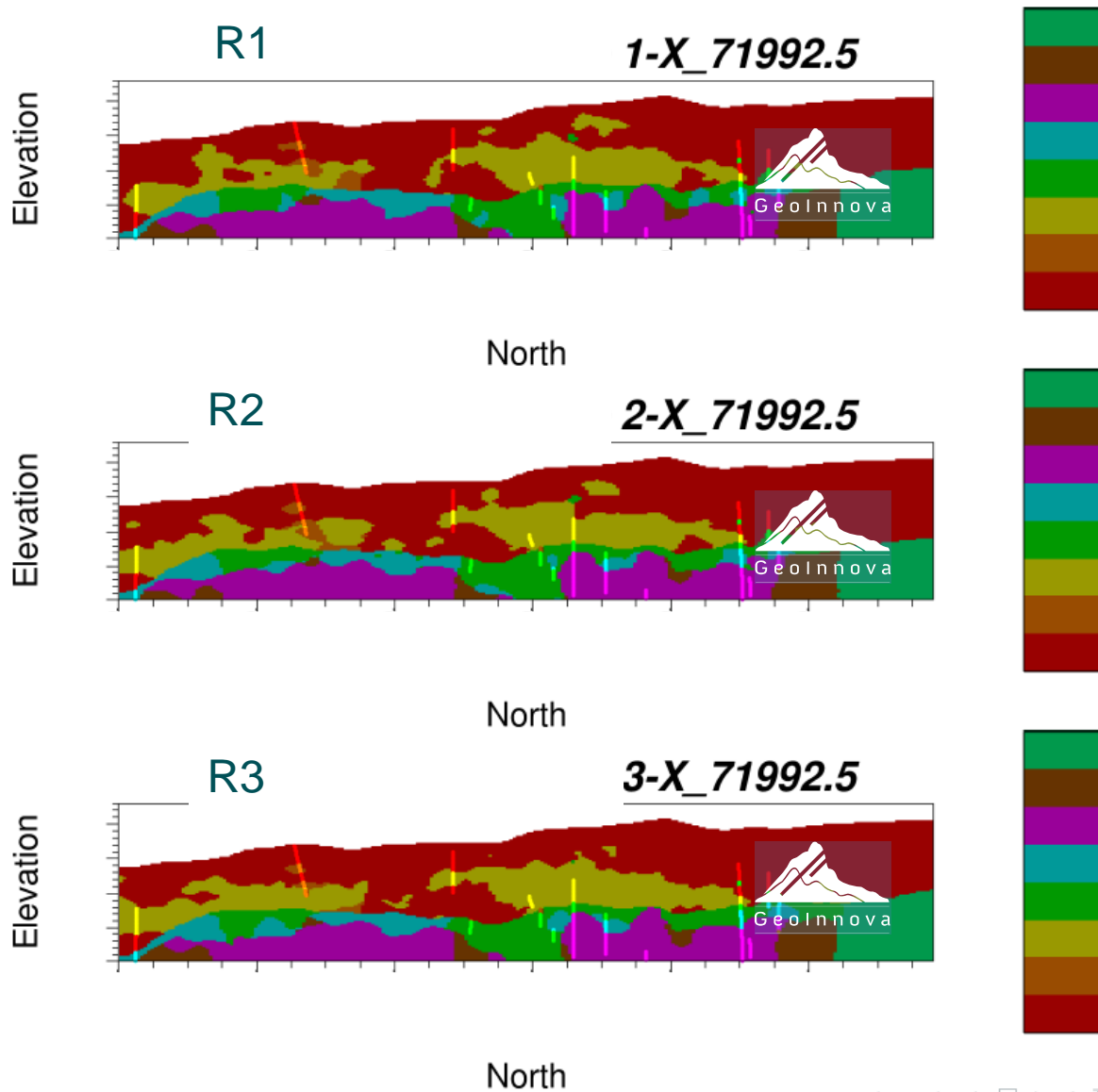








# Tres posibles modelos en una misma sección (realizaciones)



- Información básica ( mapeos + información complementaria)
- Conceptualización
- Manejo/Análisis de información de fuente diversa
- Construcción de modelos considerando interpretación
- Continuamente validar en cada etapa
- Comunicación entre partes, transmisión de conocimiento



- NIR, ICP, DRXF

- **Mapeo**

- HS logging

- Imágenes

**Engine Implícito + Interpretación  
+ modelos estocásticos**

# Agradecimientos

- Codelco Chile, Codelco Norte, Collahuasi, BHP, BHP Pampa Norte, AngloAmerican, Pelambres, Emsa, Amsa.



Pampa Norte  
Cerro Colorado | Spence

- Equipo Geoinnova



- U. Chile



- Comisión Minera



- **Cáceres , A ., Emery , X., Aedo, L. and Gálvez, O (2011)**, *Stochastic Geological Modeling Using Implicit Boundaries Simulation*: Proceeding of the 2nd International Seminar on Geology for the Mining Industry, GEOMIN 2011, Antofagasta, Chile [1]
- **Carr, J., Beatson, R., Cherrie, J., Mitchell, T., Fright W., McCallum, B. & Evans, T. (2001)** *Reconstruction and Representation of 3D Objects with Radial Basis Functions: Proceedings of the 2001 SIGGRAPH Conference*, Los Angeles, California, USA, pp.67-76. [2]
- **Alabert, F. (1987)** *Stochastic Imaging of Spatial Distributions Using Hard and Soft Information*. Master's Thesis, Stanford University, Department of Applied Earth Sciences, 197 pp. [3]
- **Armstrong, M., Galli, A., Le Loc'h, G., Geffroy, F. & Eschard, R. (2003)** *Plurigaussian Simulations in Geosciences*. Springer, Berlin. [4]
- **McLennan, J. & Deutsch, C.V. (2007)** *BOUNDSIM: Implicit Boundary Modeling: Proceedings of the 2007 APCOM Symposium*, Santiago, Chile, pp.41-48. [5]
- **Henrion, V., Caumon, G. & Cherpeau, N. (2010)** *ODSIM: An Object-Distance Simulation Method for Conditioning Complex Natural Structures*. *Mathematical Geosciences*, Vol. 42(8), p. 911-924. [6]
- **Chilès, J.P. & Delfiner, P. (1999)** *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. Wiley, New York. [7]

# EQUIPO GEOINNOVA 2015



Rodrigo Riquelme, Alejandro Cáceres, Pablo Carrasco, Andrés Sandoval, Danilo Castillo, Rafael Ciri3n, Rodrigo Gutierrez, Yerko Martinez, Claudio Argandoña, Lucas Contreras, Juan Pablo Bello.





# MODELAMIENTO GEOLOGICO PASADO, PRESENTE y FUTURO

Alejandro Cáceres , Junio 2015



Geoinnova

Geoinnova Consultores Ltda.