

*MODELAMIENTO DINÁMICO: EFECTOS  
EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS  
MINERALES Y SU RELACIÓN CON LA  
NUEVA LEGISLACIÓN*



-Construir un modelo geológico es costoso, toma tiempo, compromete personal esencial y genera varias preocupaciones: como fue construido?, se puede modificar?, cuanto cuesta?, cuanto demora?, está bien esta mal?, etc.

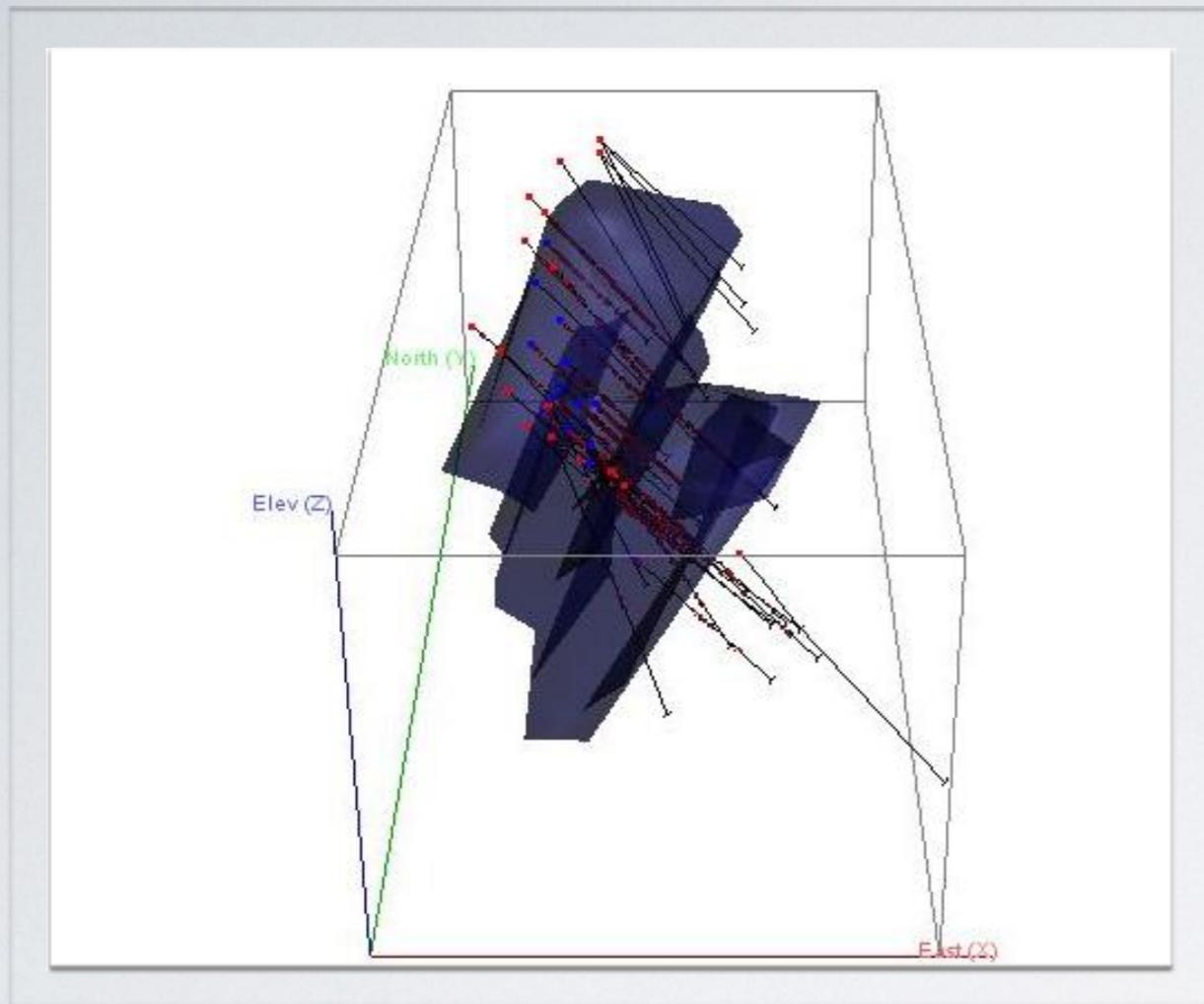
-Mas aún, la industria esta bajo presión para reducir sus costos, el tiempo y los riesgos en la estimación de los recursos

-En este taller se pretende mostrar que a través de la estimación de recursos se influencia en otra serie de trabajos relacionados, fundamentalmente en los tiempos y en los costos

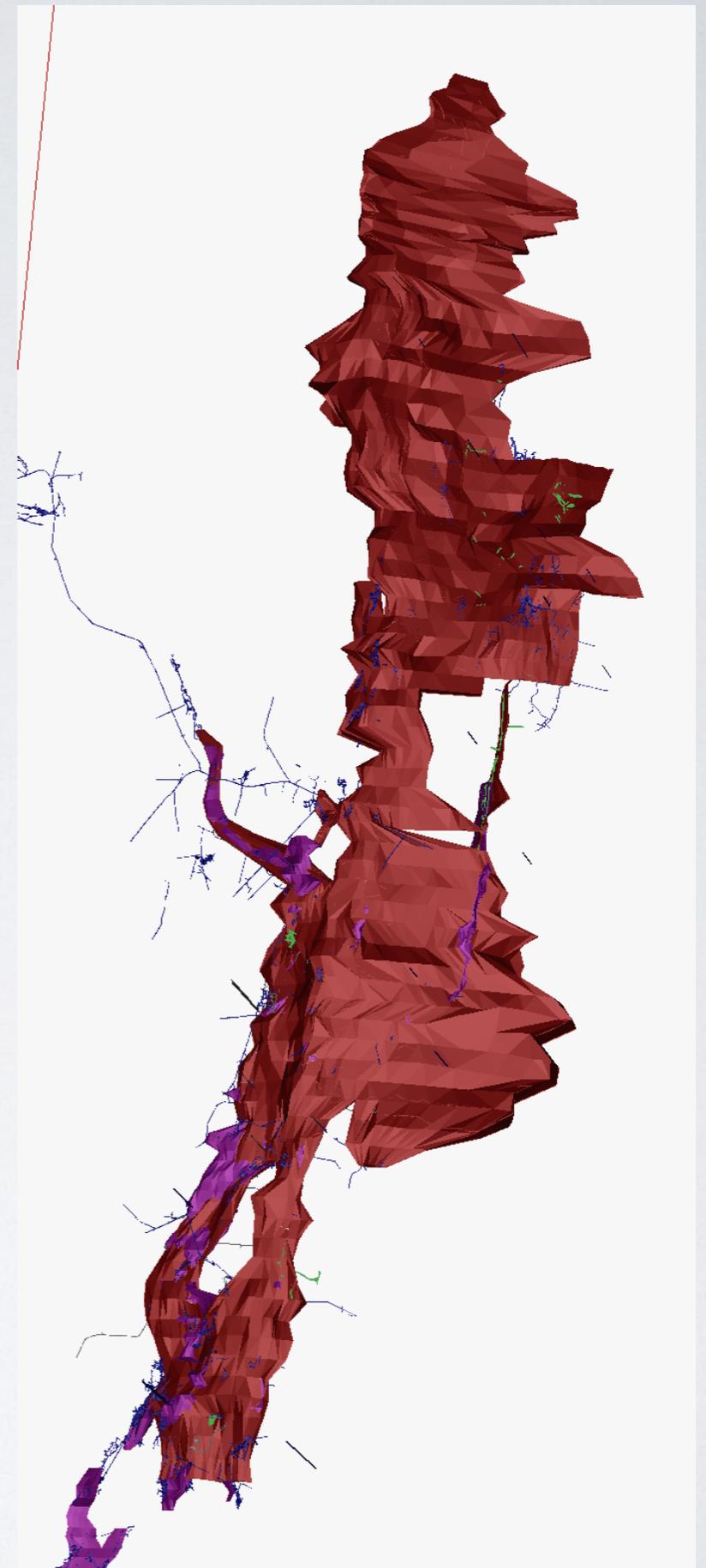
## Limitaciones del Modelo Tradicional

Ha funcionado bastante bien y en general todas las minas en funcionamiento fueron estimadas así, pero la tecnología ha mejorado y se corrigen algunas limitaciones importantes del Modelamiento Explícito (con todo respeto):

- Se trabaja sobre Secciones y Plantas 2D con los elementos proyectados en ellos, consecuentemente la mayoría de los elementos no están en su posición real
- Debido a su laboriosidad y el tiempo que toma, normalmente se puede producir un único modelo por unidad geológica o simplemente no se hacen. Difíciles de corregir por lo tanto se transforman casi en definitivos o finalmente estáticos
- No se pueden comparar distintas opciones para un mismo modelo o fabricar modelos nuevos en tiempos cortos con las correcciones necesarias para la toma de decisiones
- Debe haber una geometría relativamente sencilla y que se repita similarmente o varíe suavemente entre secciones y/o plantas para que el sólido construido no tenga problemas.
- Cuestan bastante tiempo, personal y dinero.

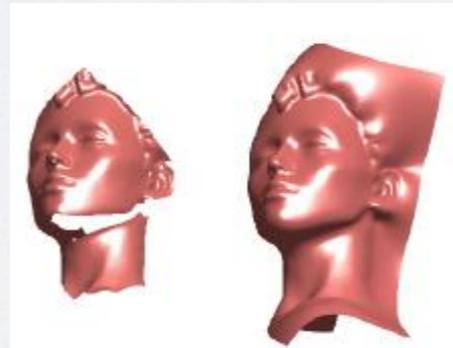
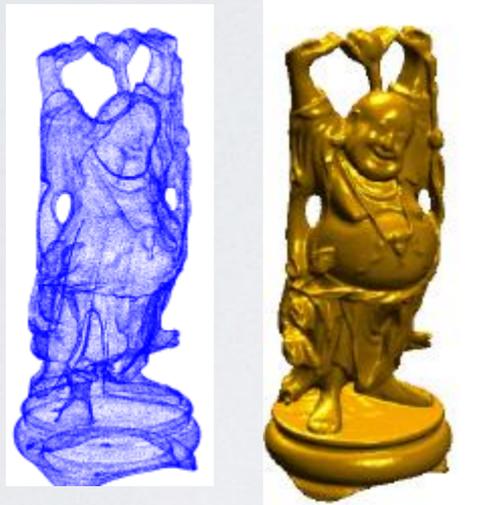
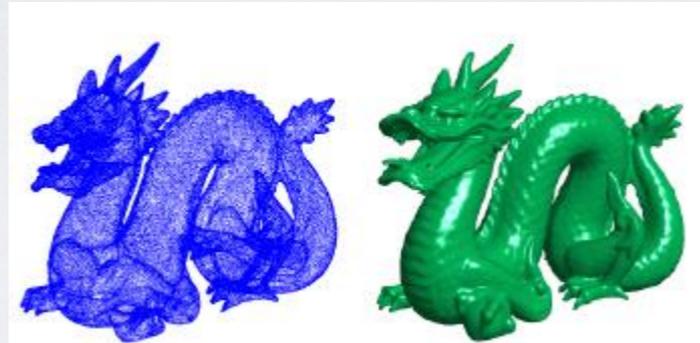
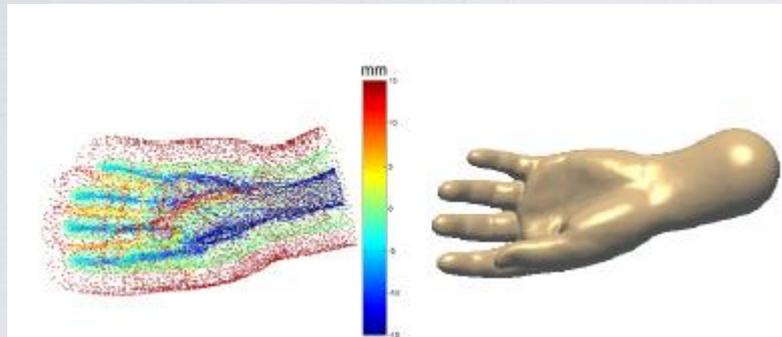


En general la geometría resulta un poco brusca, con límites tipo serrucho y angulosa.



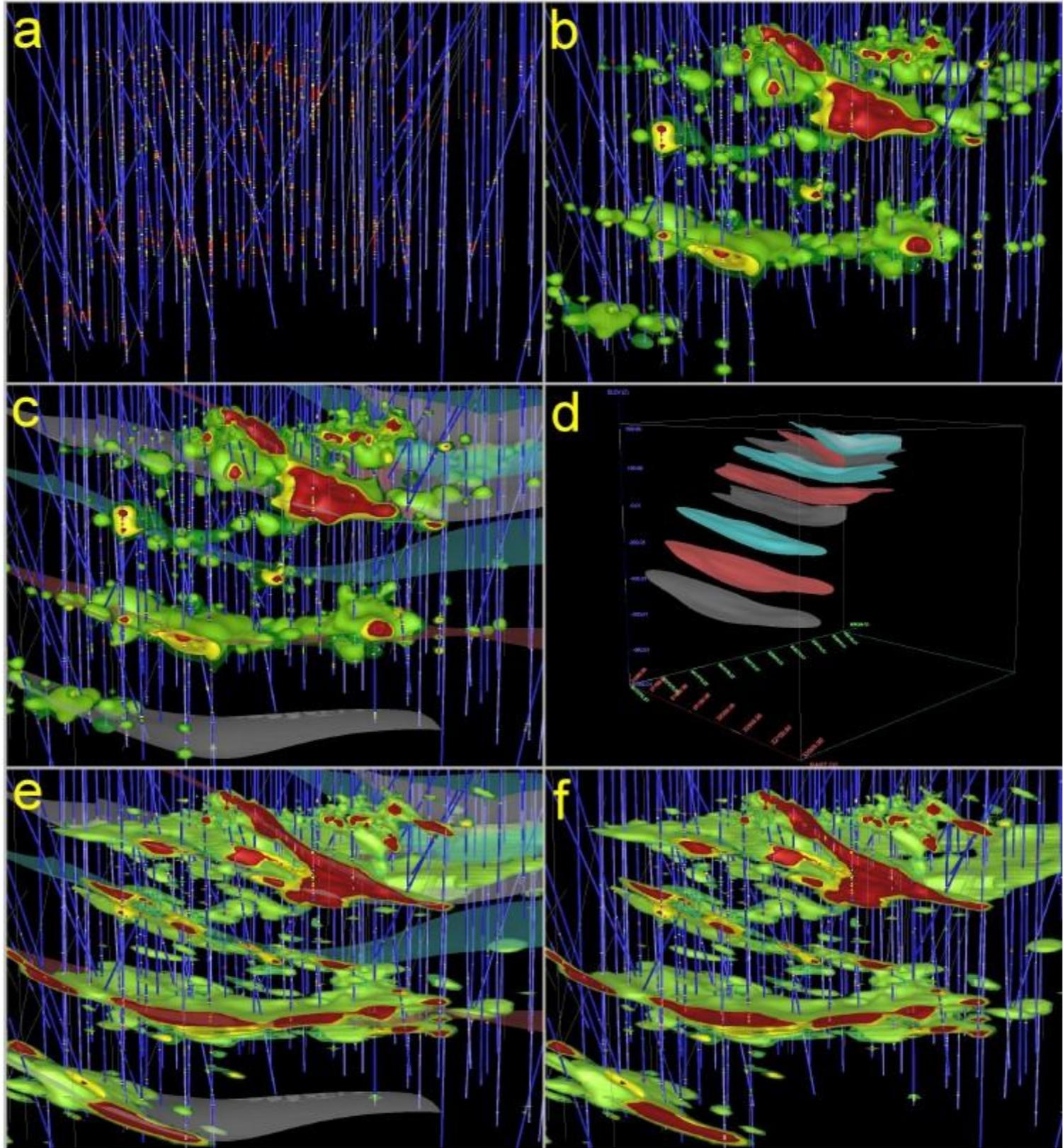
- Modelamiento Dinámico: se hace mediante un artefacto matemático que interpreta geoméricamente superficies y cuerpos geológicos 3D a través de la Función FRBF (**Fast** Radial Basis Function, patente Aranz).
- Este es el principal problema teórico-técnico: ya que los geólogos y con razón, nos resistimos en un primer momento a dejar que una interpolación matemática interprete la geometría de un cuerpo mineralizado, por ejemplo.
- Importante: la base de datos: no solo el tamaño, si no como está

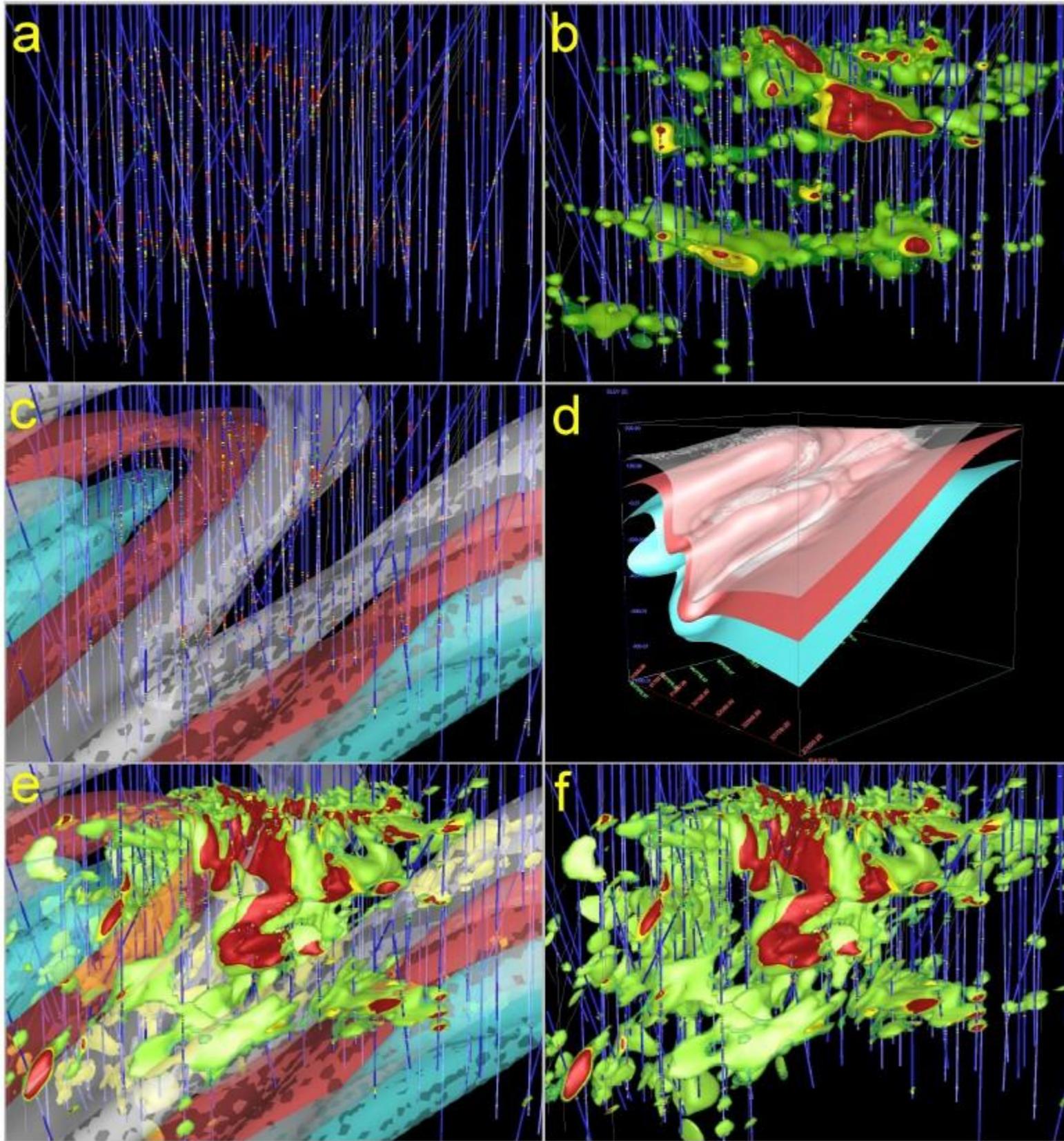
La construcción geométrica de un cuerpo es a través del cálculo de puntos de distancia de una función simple implícita en la FUNCIÓN DE BASE RADIAL, esto es la reconstrucción del cuerpo a partir de los datos muestreados.

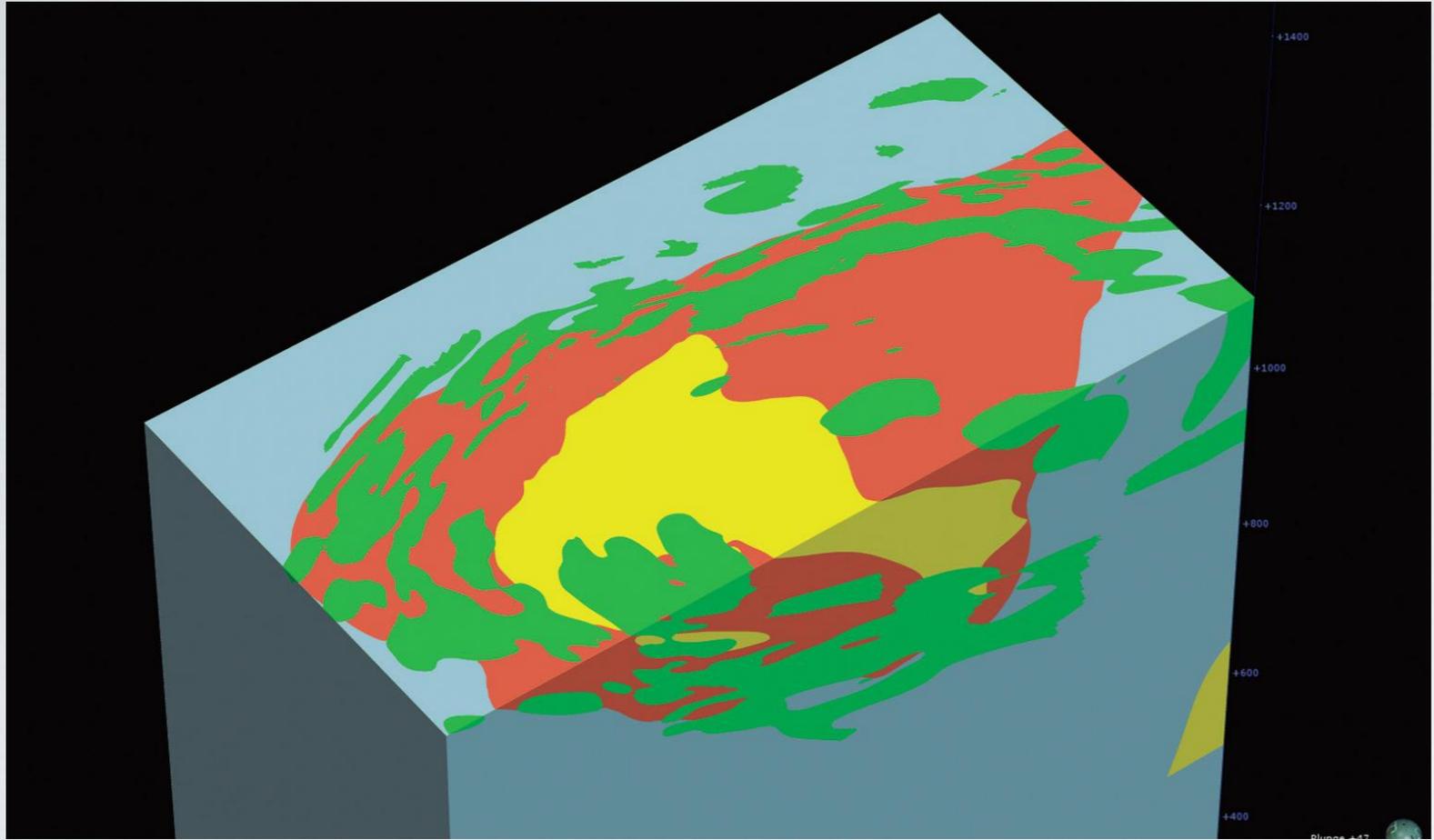


CARR ET AL (2001)

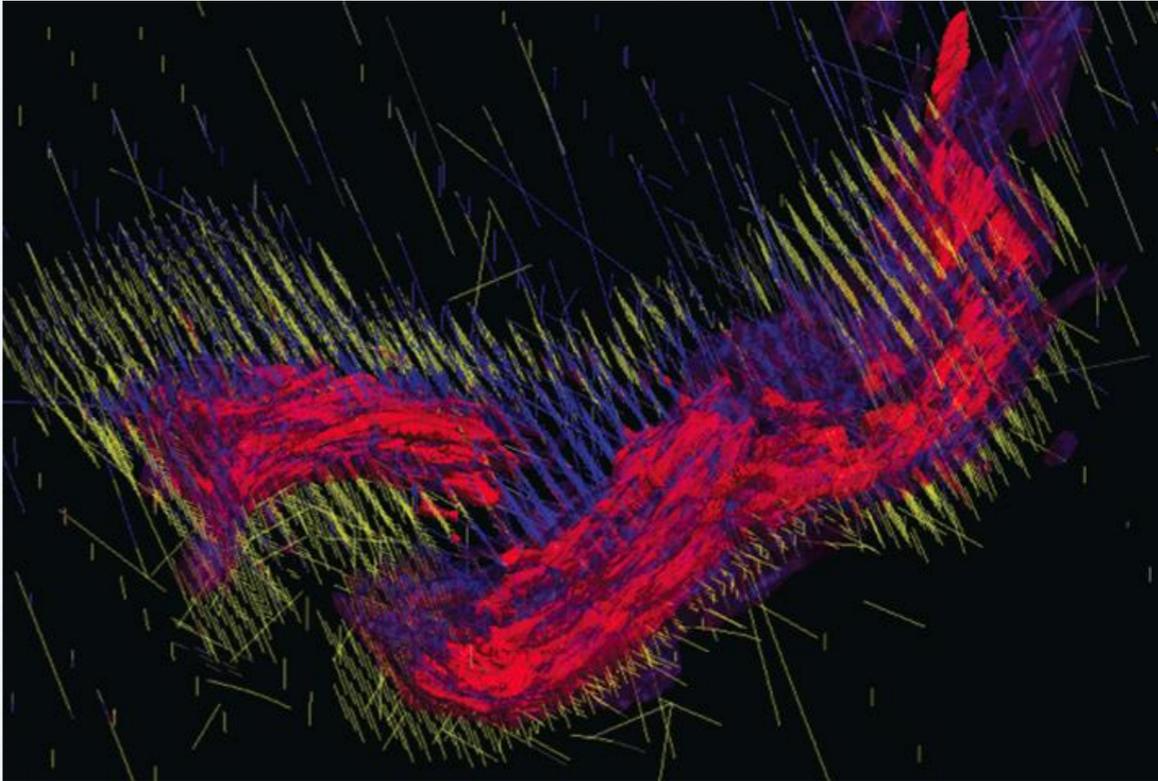
	N° de puntos	N° nodos de interpolación	N° De centro de RBF	memoria RAM	Tiempo
<b>cara</b>	<b>14.806</b>	<b>29.074</b>	<b>3.564</b>	<b>29</b>	<b>27s</b>
<b>mano</b>	<b>13.348</b>	<b>26.696</b>	<b>4.299</b>	<b>29</b>	<b>97s</b>
<b>buda</b>	<b>437.645</b>	<b>872.487</b>	<b>72.461</b>	<b>306</b>	<b>4:40 min.</b>

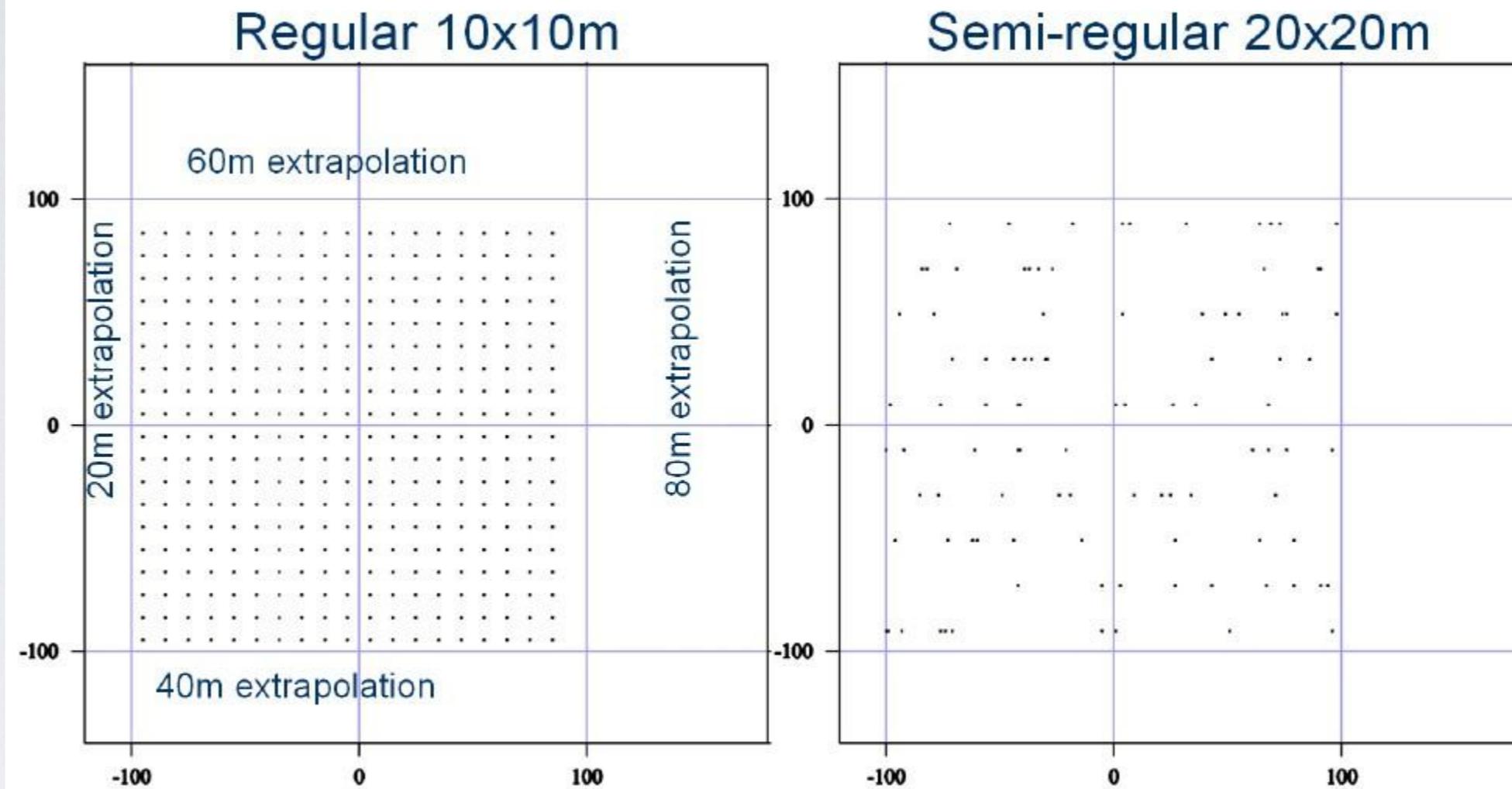




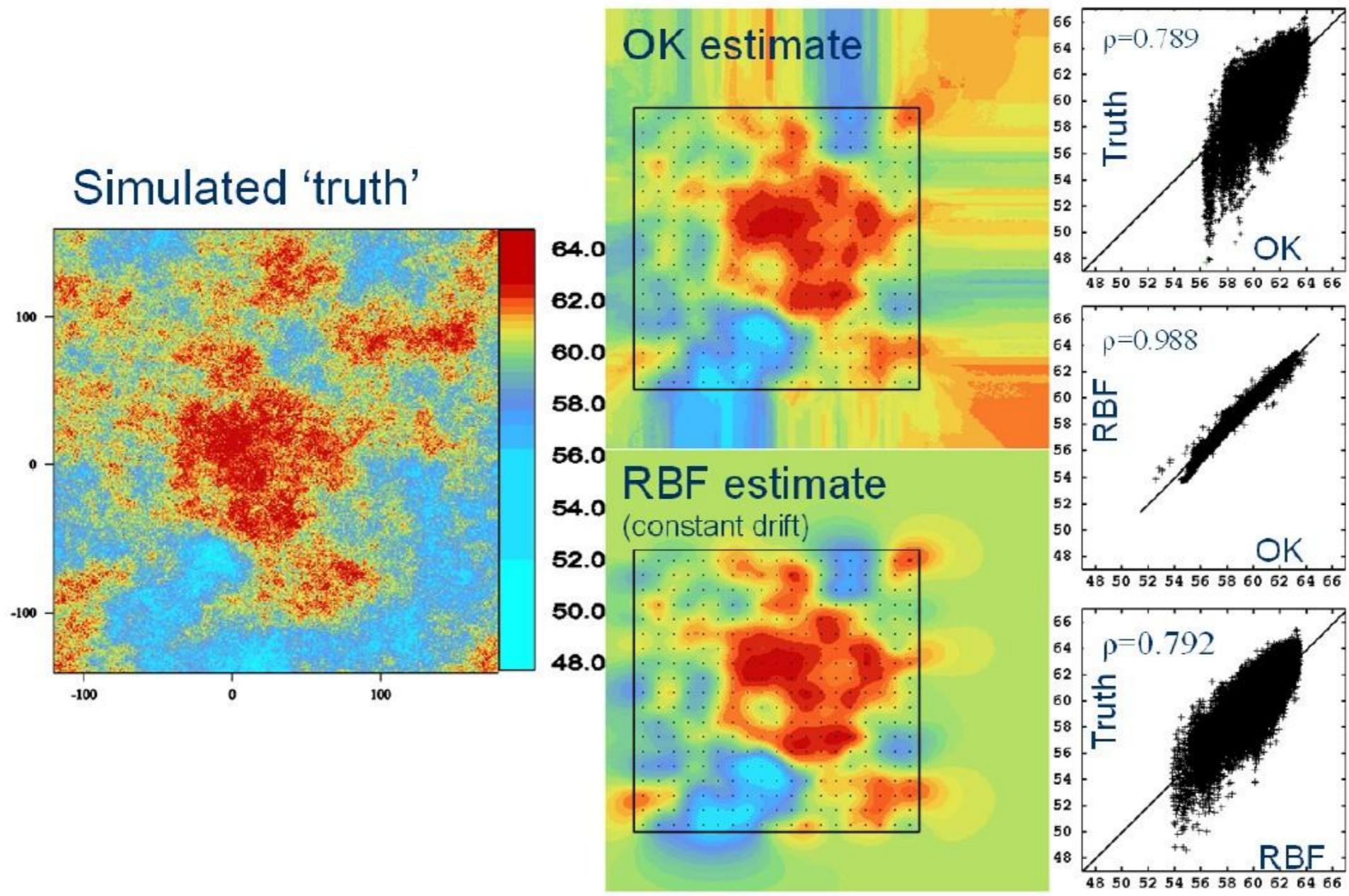


LEAPFROG IMPLICIT MODELING

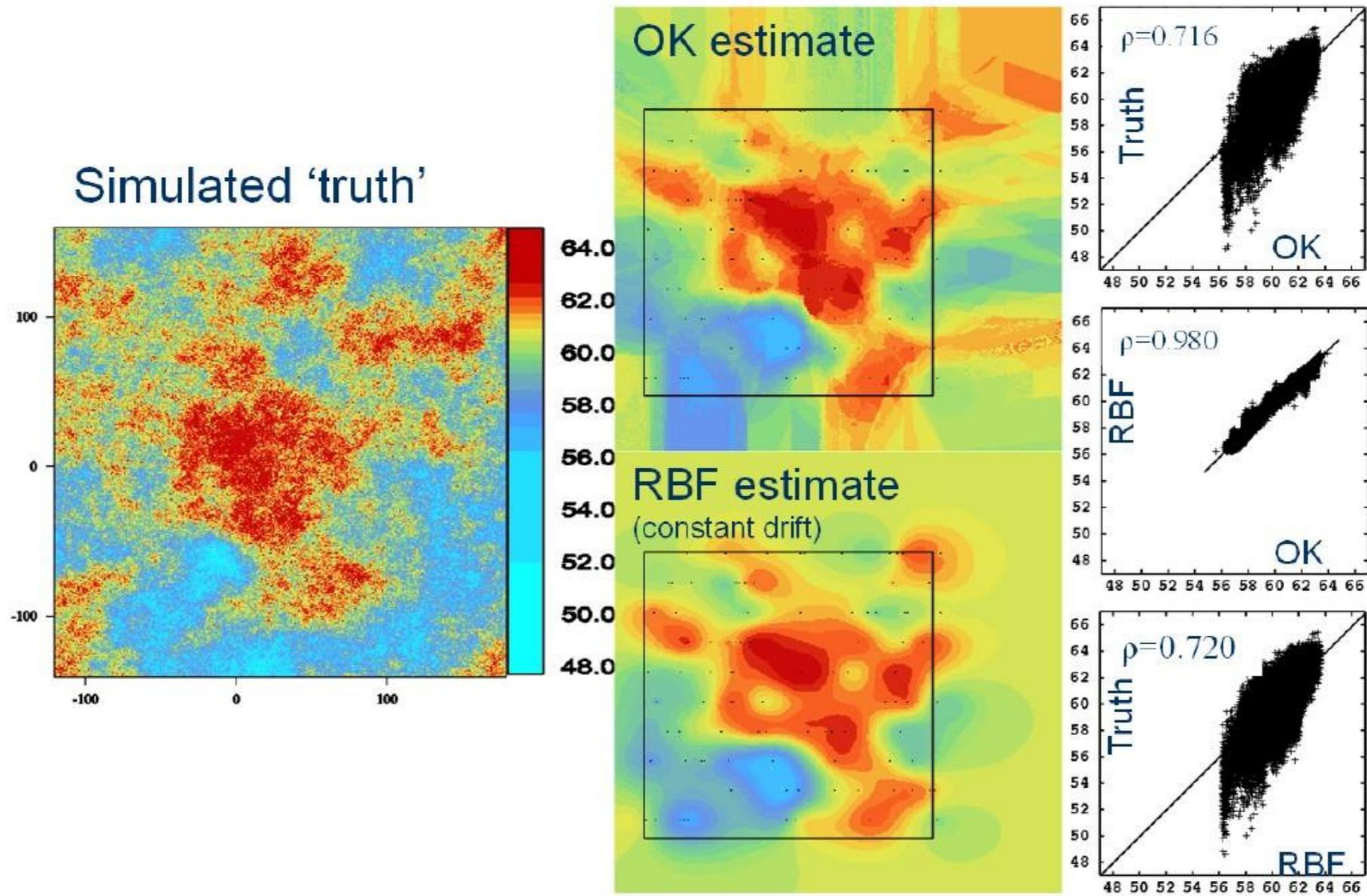




**FIG 5** – Regular and semi-regular drill patterns.

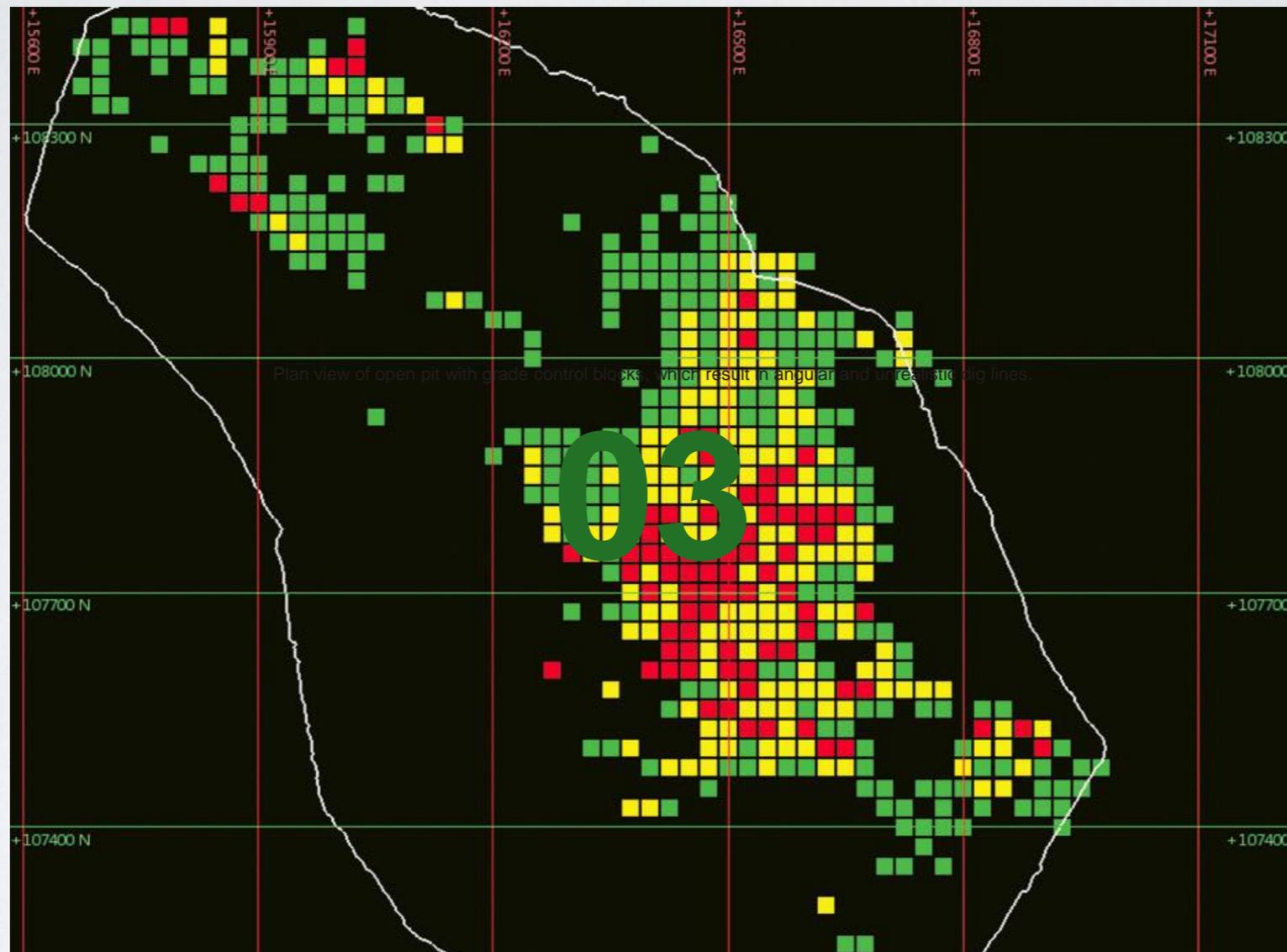


**FIG 6** – Comparison of ordinary kriging and radial basis function estimates based on regular  $10 \times 10$  m data extracted from a dense simulated truth. The scatter plots on the right only compare points within the area informed by drilling (black square). Note the difference of behaviour of the interpolant in extrapolation.



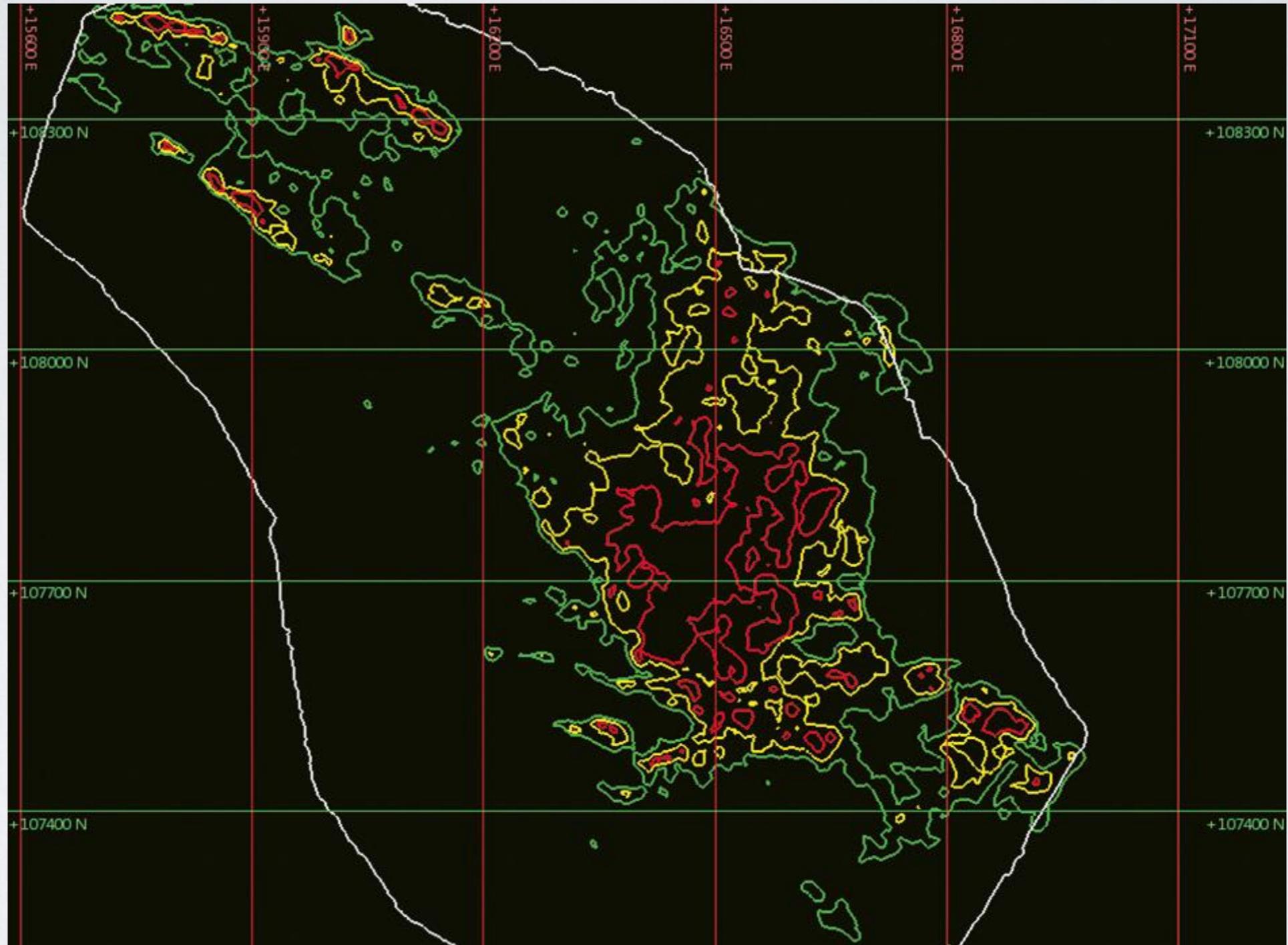
**FIG 7** – Comparison of ordinary kriging and radial basis function estimates based on irregular data ( $20\text{ m } N \times \text{random } E$ ) extracted from a dense simulated truth.

## LEAPFROG IMPLICIT MODELING



Planta de un open pit con bloques de ley en una geometria un poco irreal.

# INTERPRETACIÓN SIGUIENDO UNA TENDENCIA ESTRUCTURAL

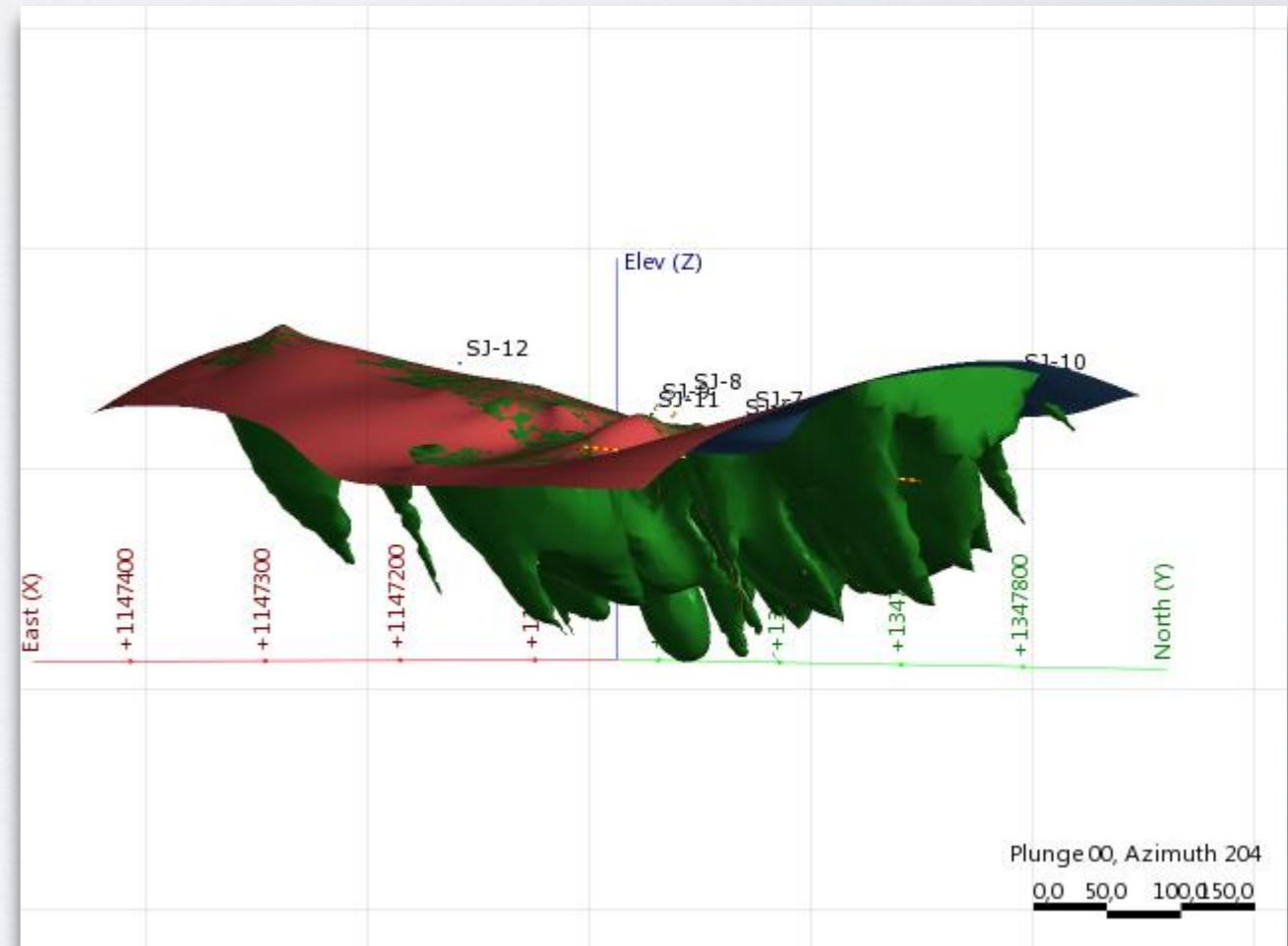
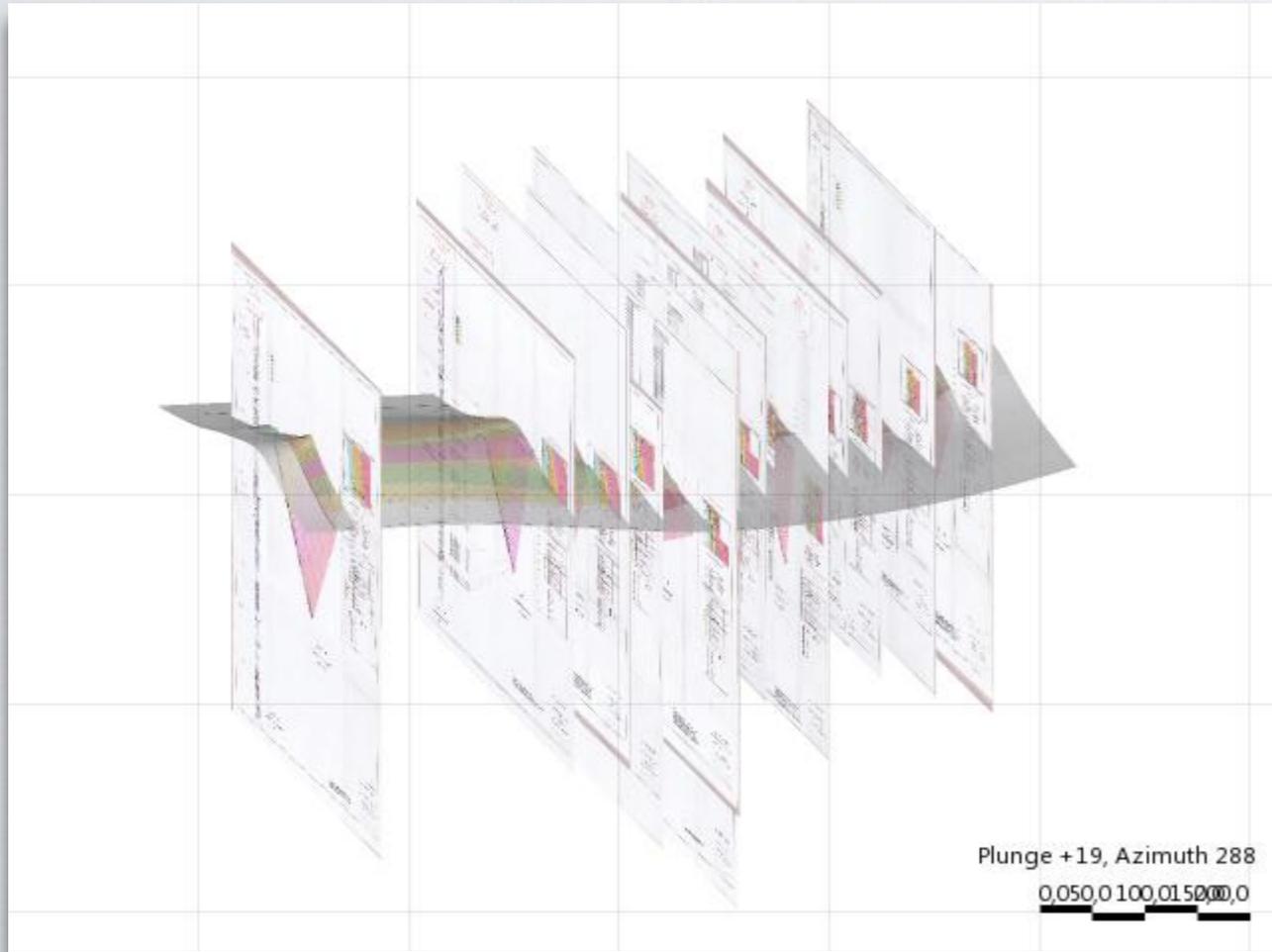
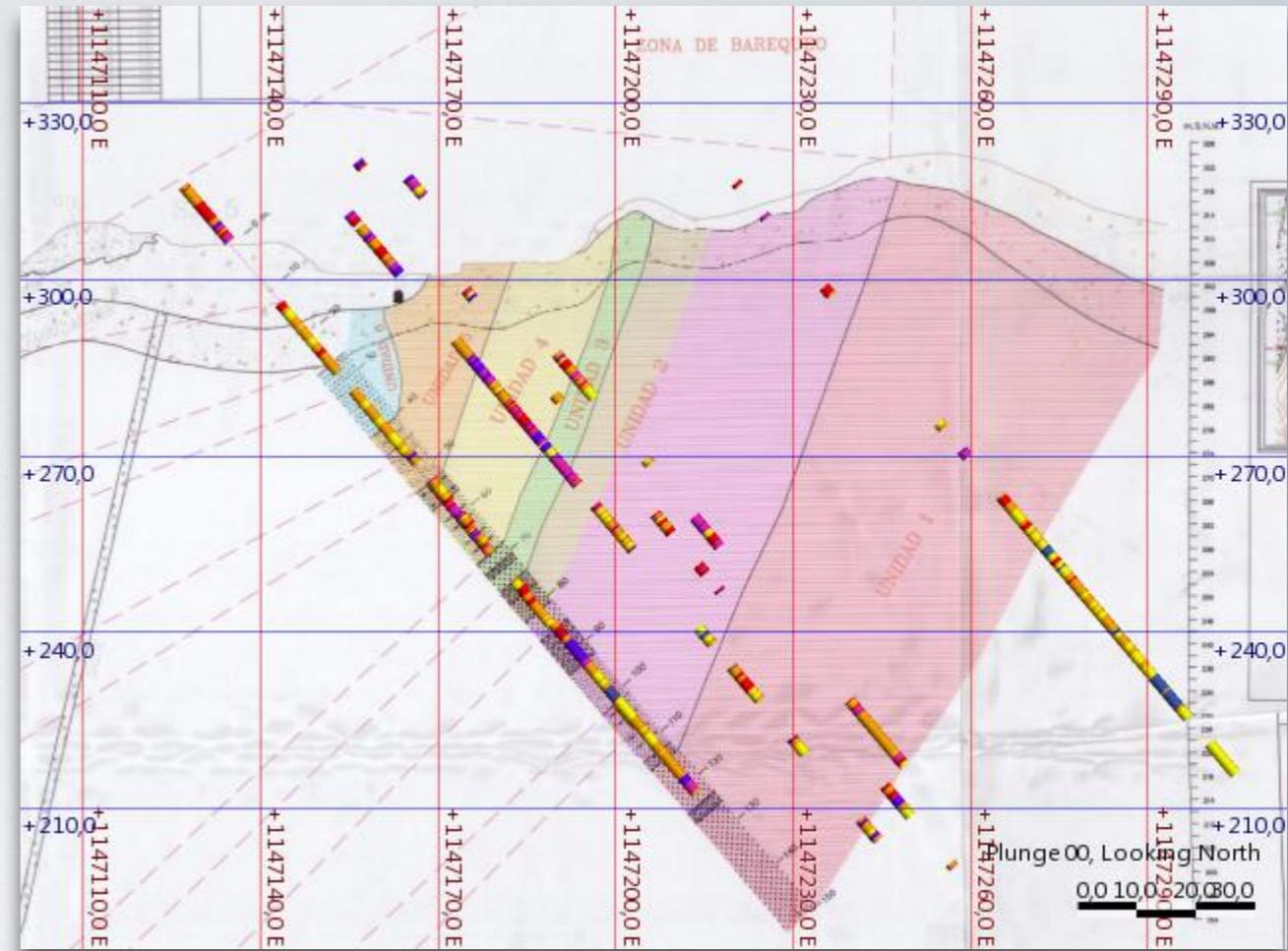


LEAPFROG IMPLICIT MODELING

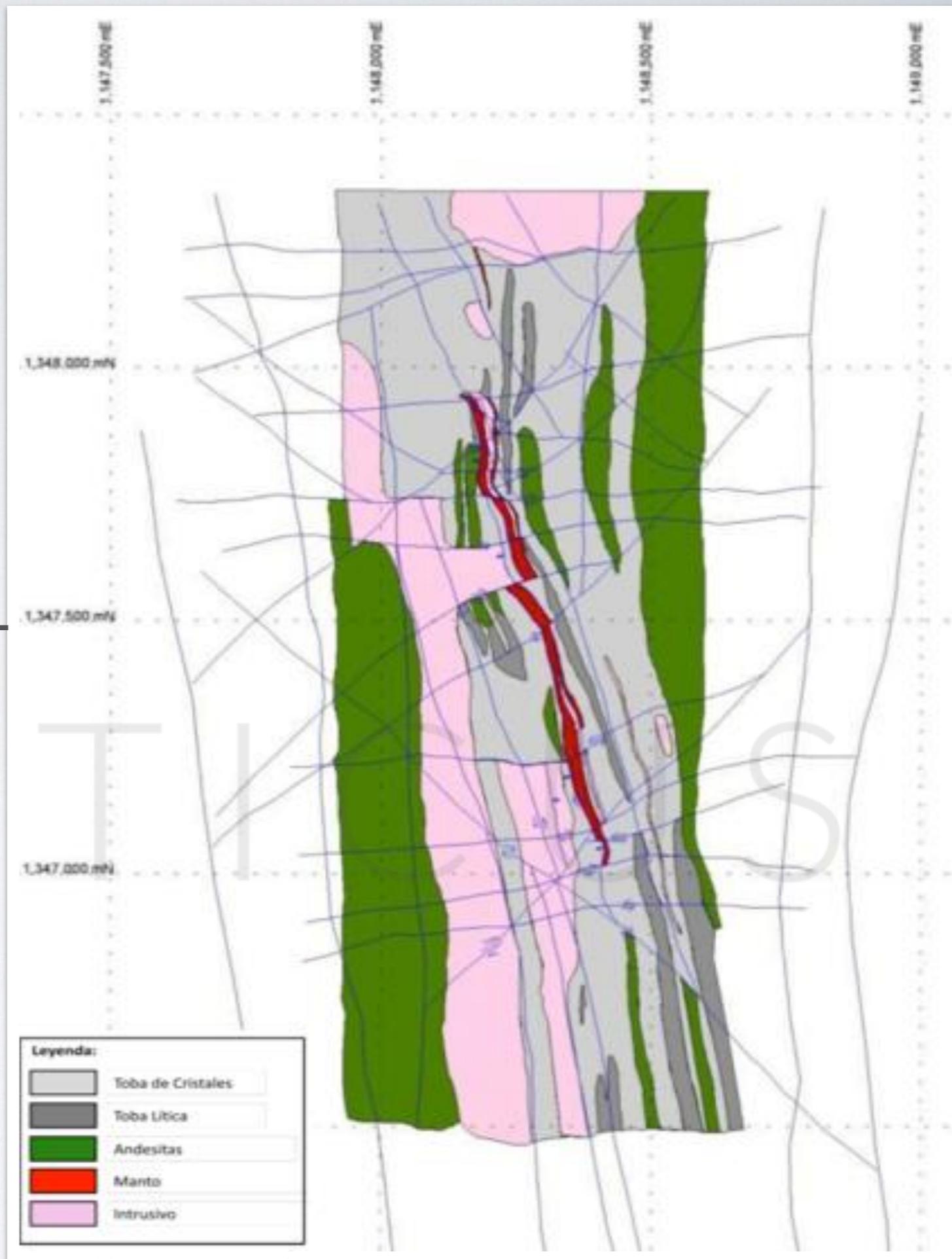
En conclusión, la metodología de modelamiento implícito consiste en utilizar datos numéricos y parámetros definidos por el usuario, para calcular funciones matemáticas de volumen, a partir de las cuales es posible triangular isosuperficies implícitas en la función. Los datos de entrada para esta función pueden ser cualquier valor georeferenciado, los cuales son transformados a valores numéricos, teniendo en cuenta factores de compositación, dilución, anisotropías, temporalidad, relaciones de corte de las unidades y los controles geológicos que definen su distribución espacial (tendencias, estructuras, la alteración, la litología, la zona mineral, Redox, metalurgia, geotecnia, etc).

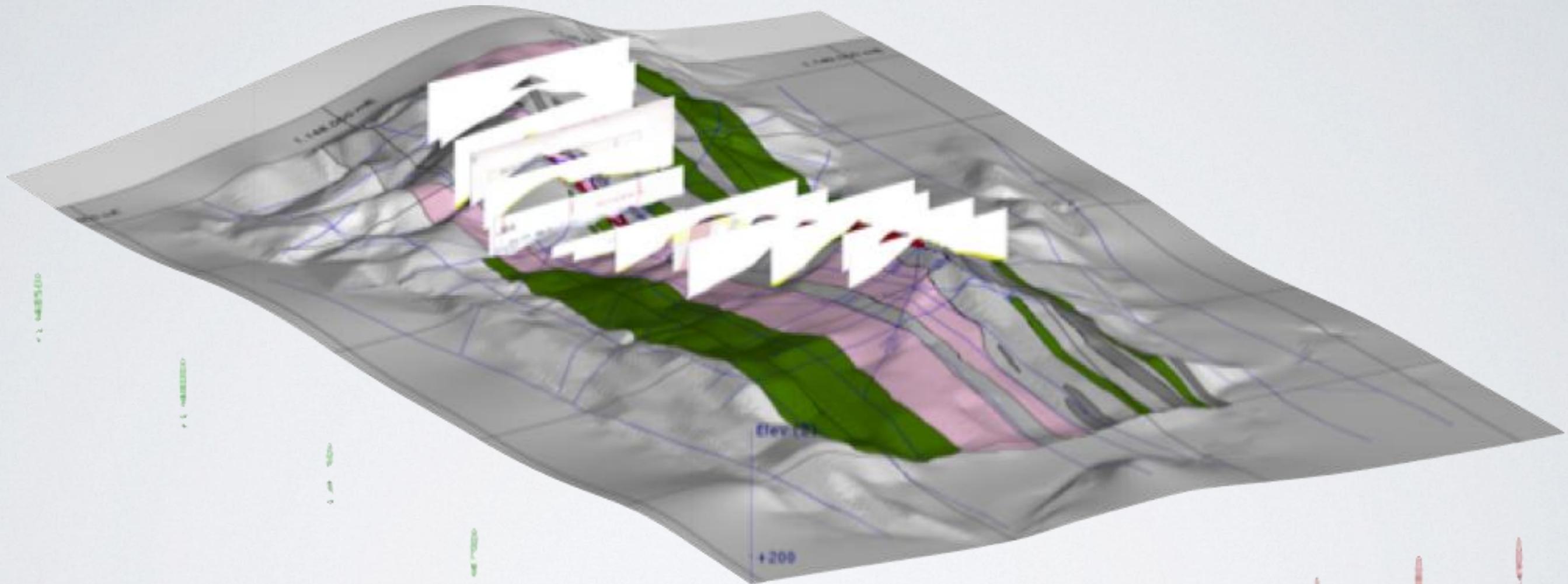
# DEBIDA DILIGENCIA

Visualización de la información histórica  
 Planteamiento de múltiples hipótesis  
 Modelamiento del Potencial (20-40 Mt potencial)



# GEOLOGIA SUPERFICIAL





+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

+ 1 4485410

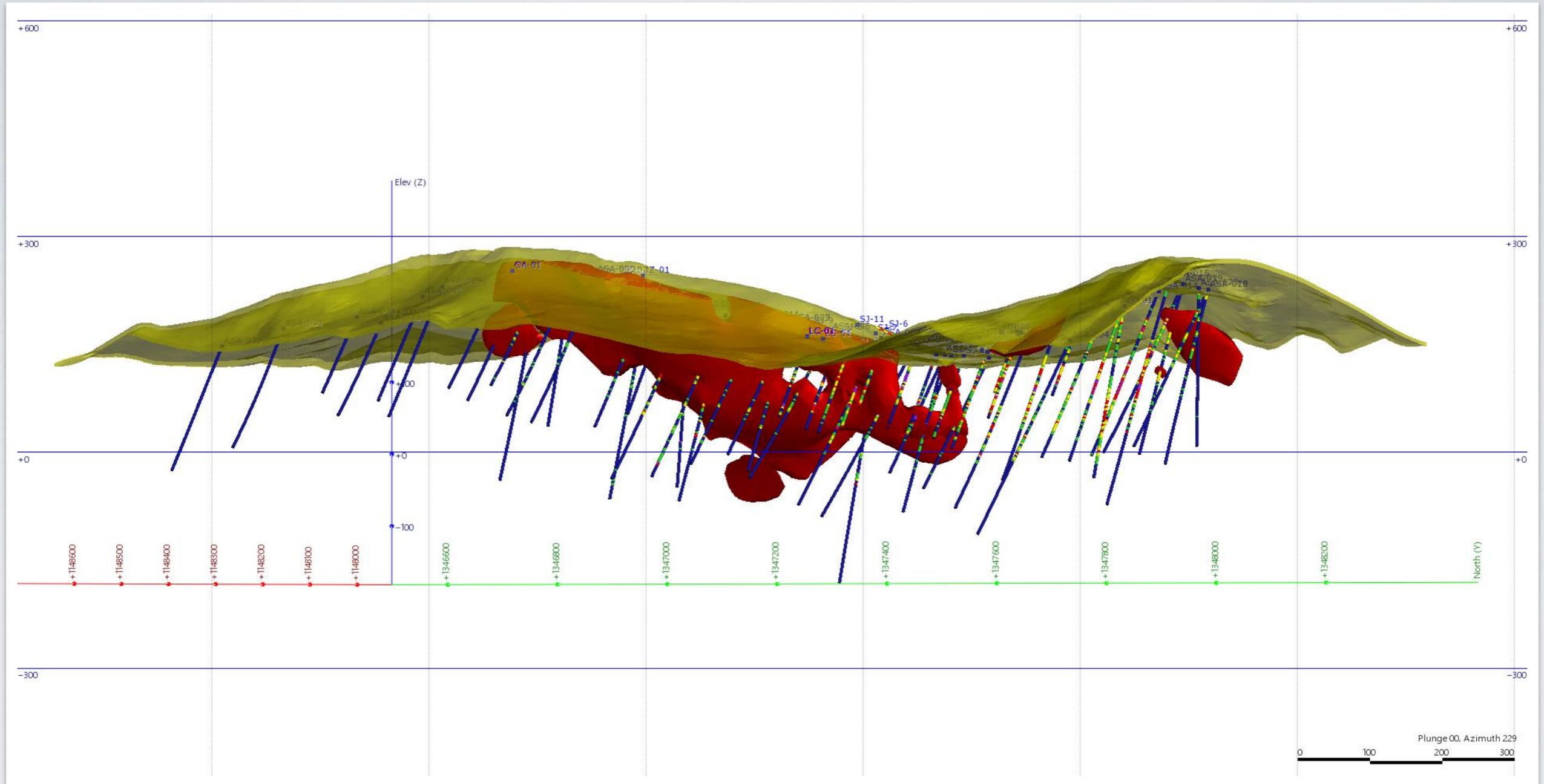
Elev (ft)  
+200

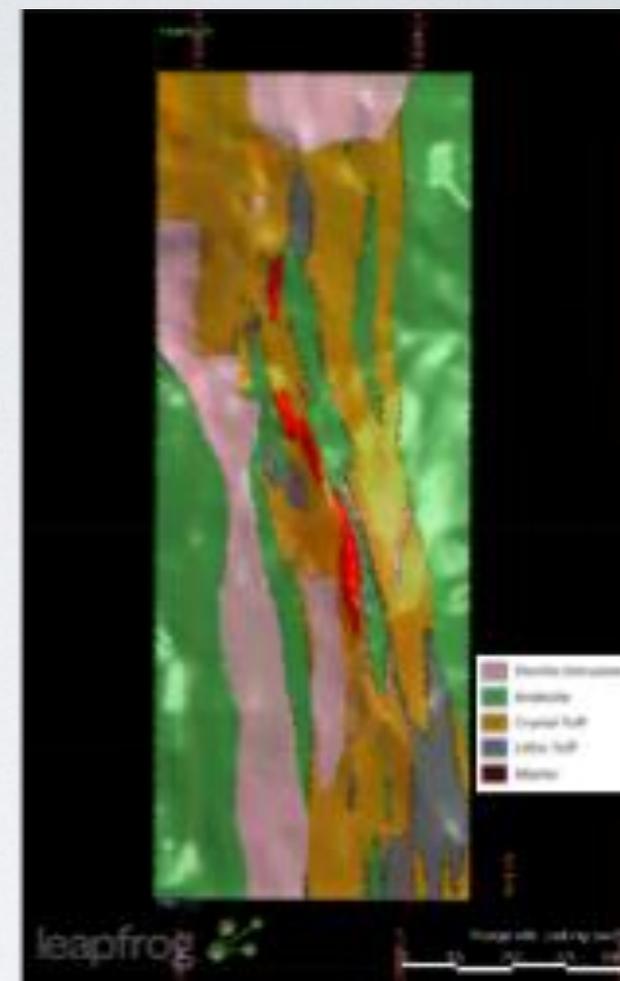
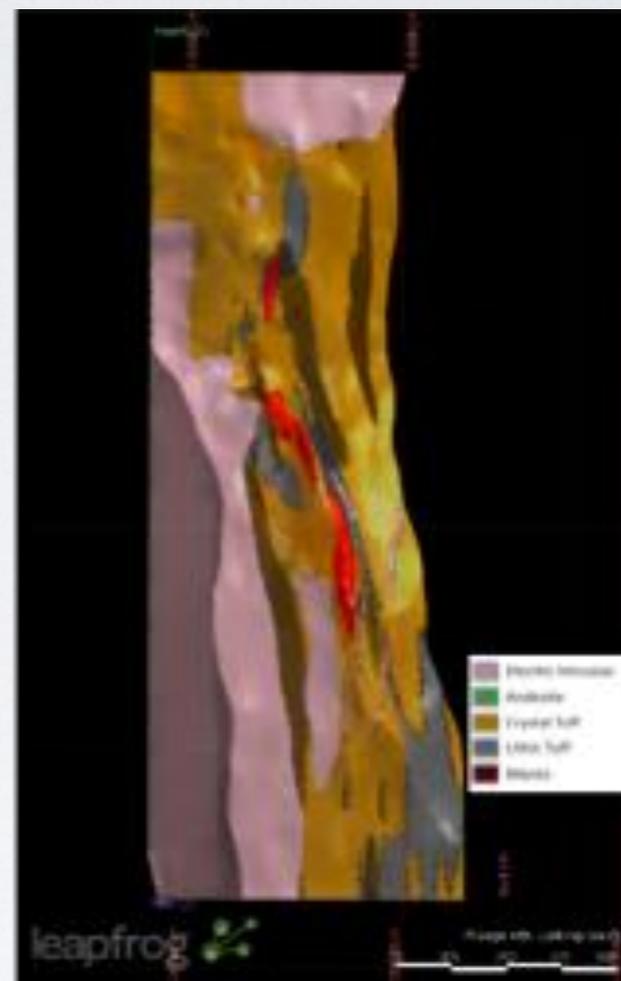
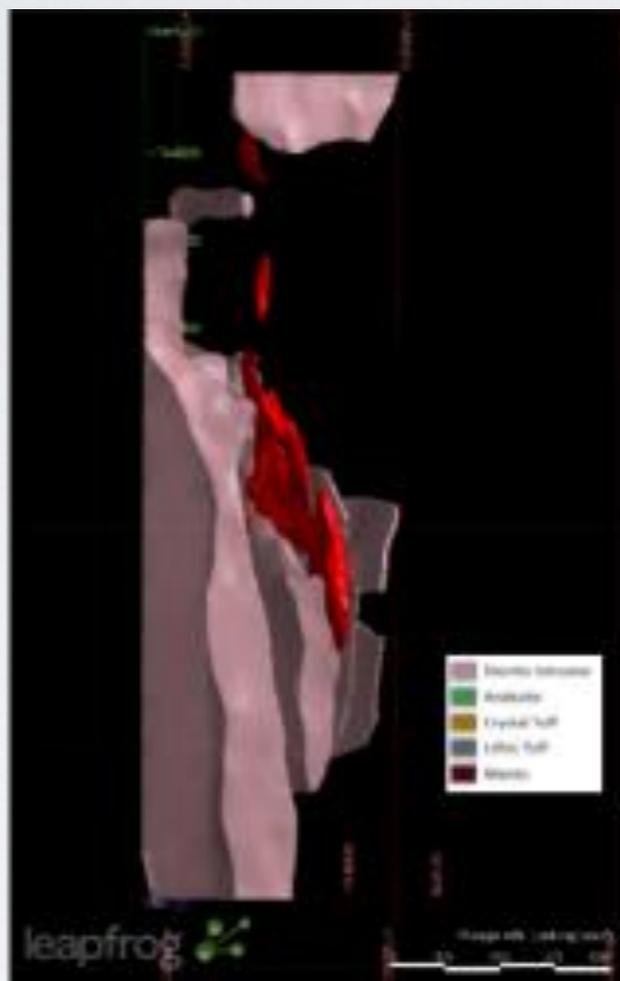
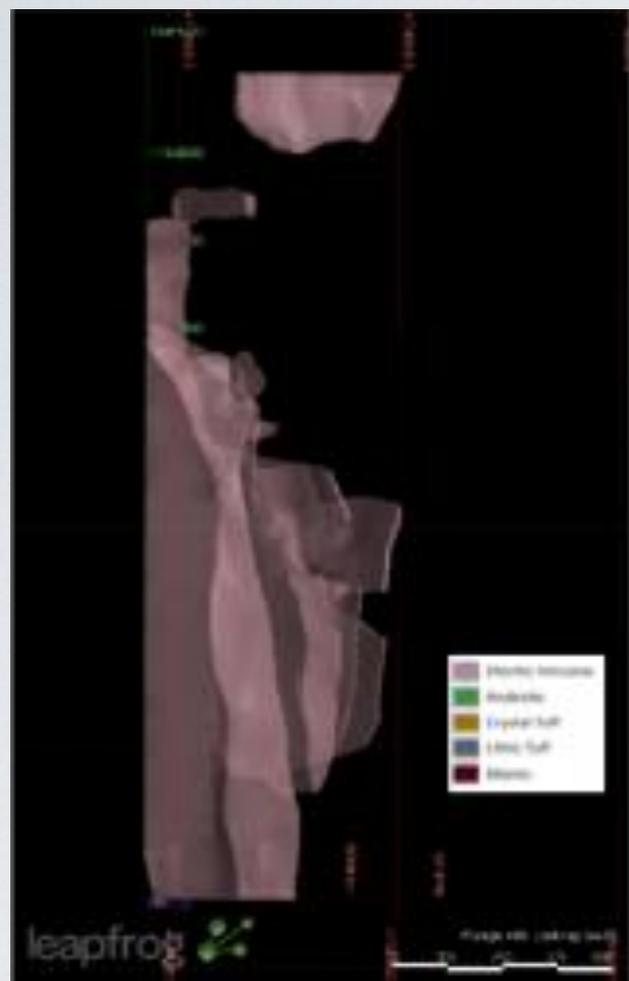
Range + 0  
+ 0.30



Range + 0  
+ 0.30

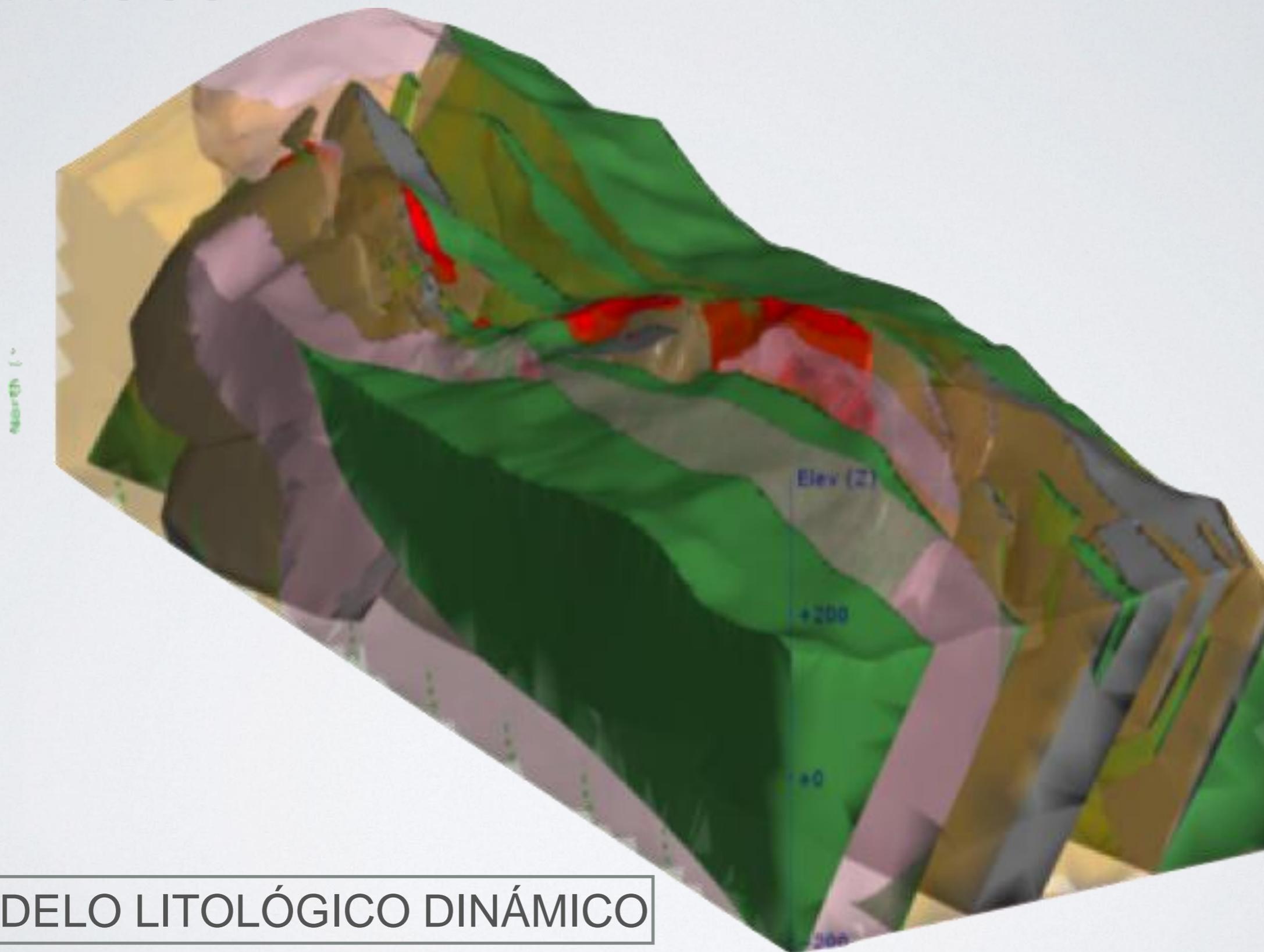
# Superficie, manto de Fe, sondajes, vista al W





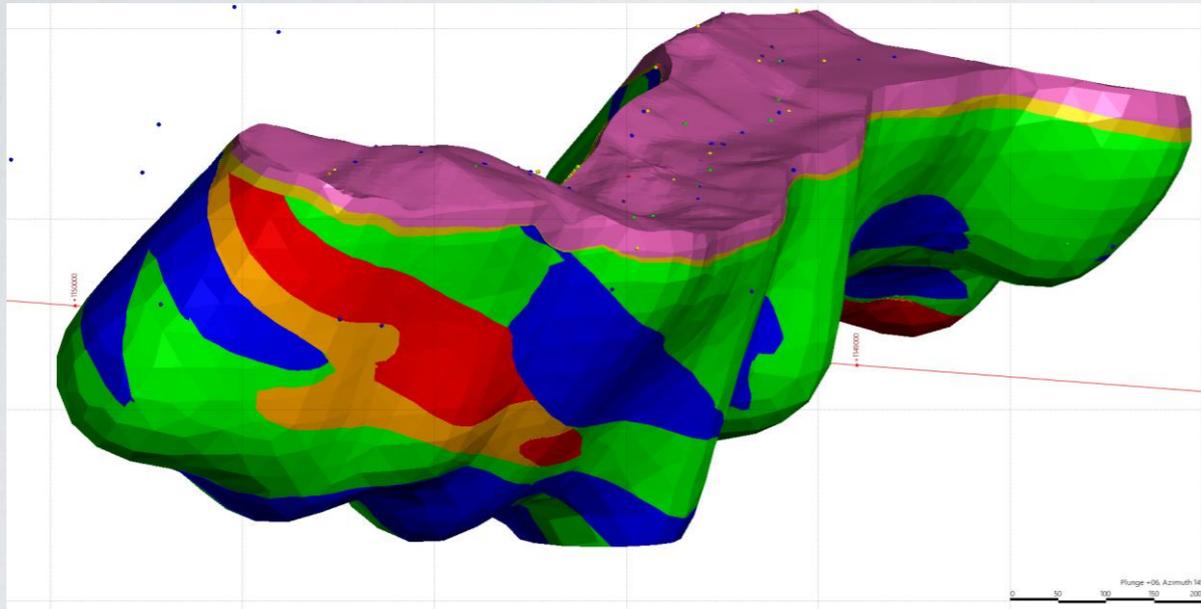
# SECUENCIA LITOLÓGICA

## Interpretación Dinámica



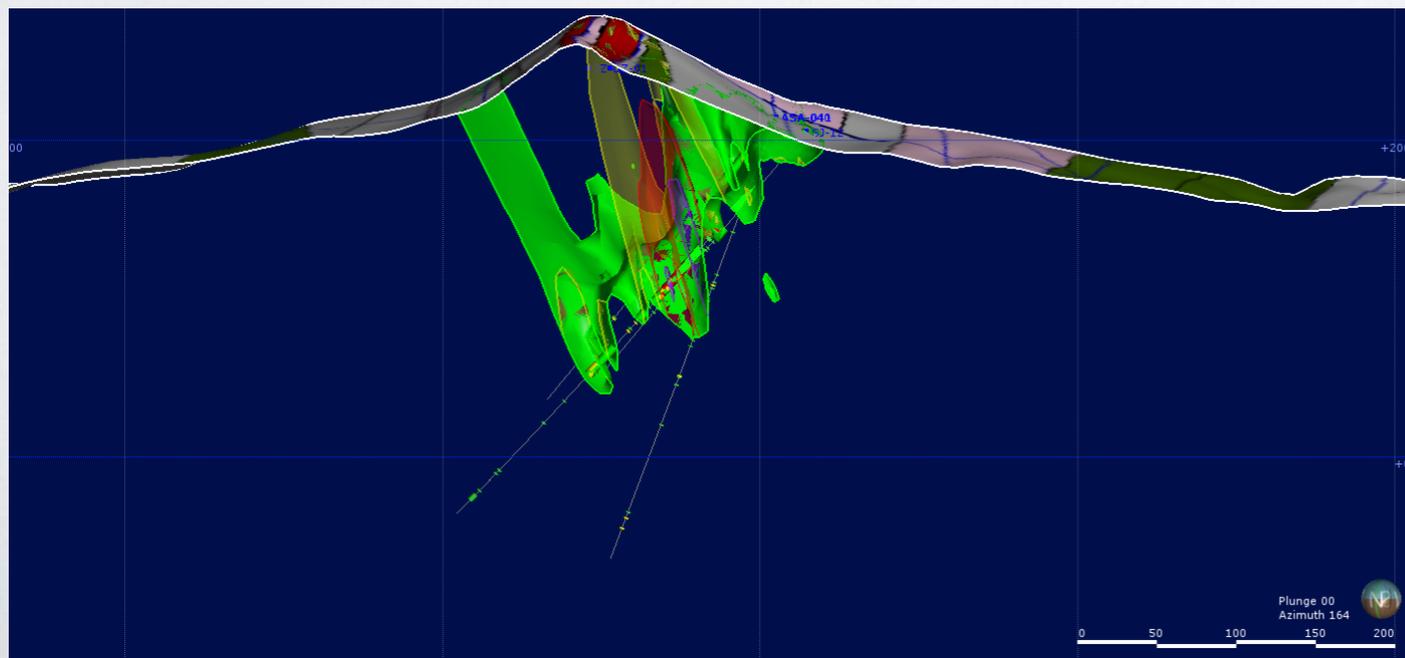
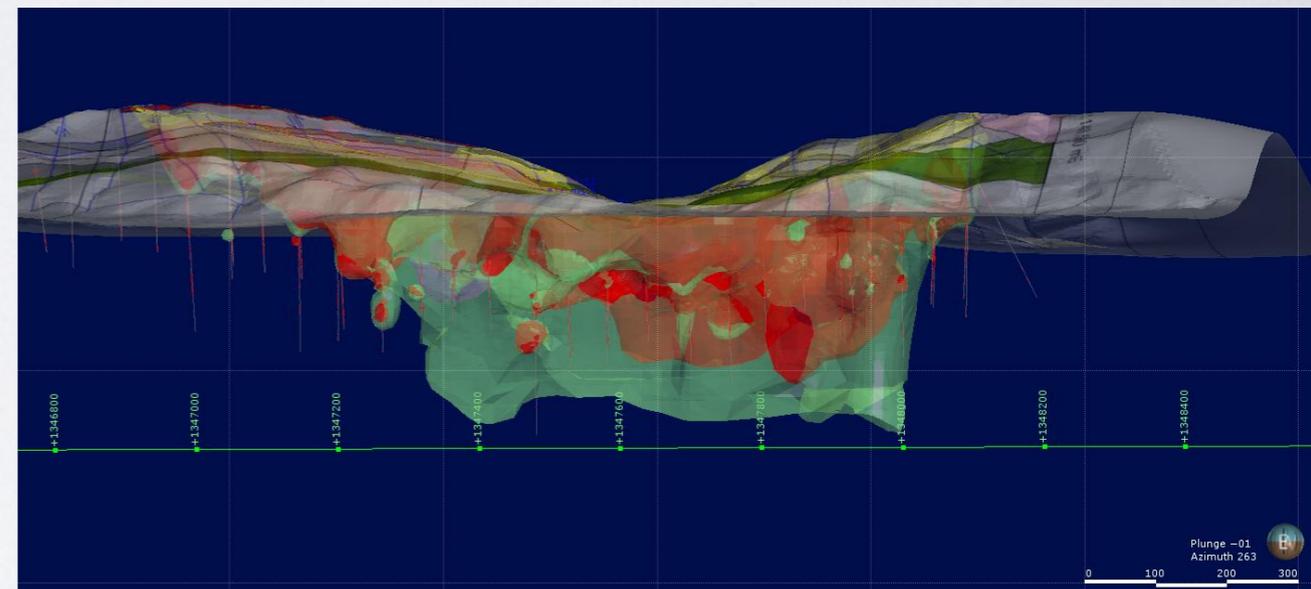
MODELO LITOLÓGICO DINÁMICO

Este mismo método se usó para modelar, la alteración, la mineralización, la geotecnia, modelos de isoleyes y otros.

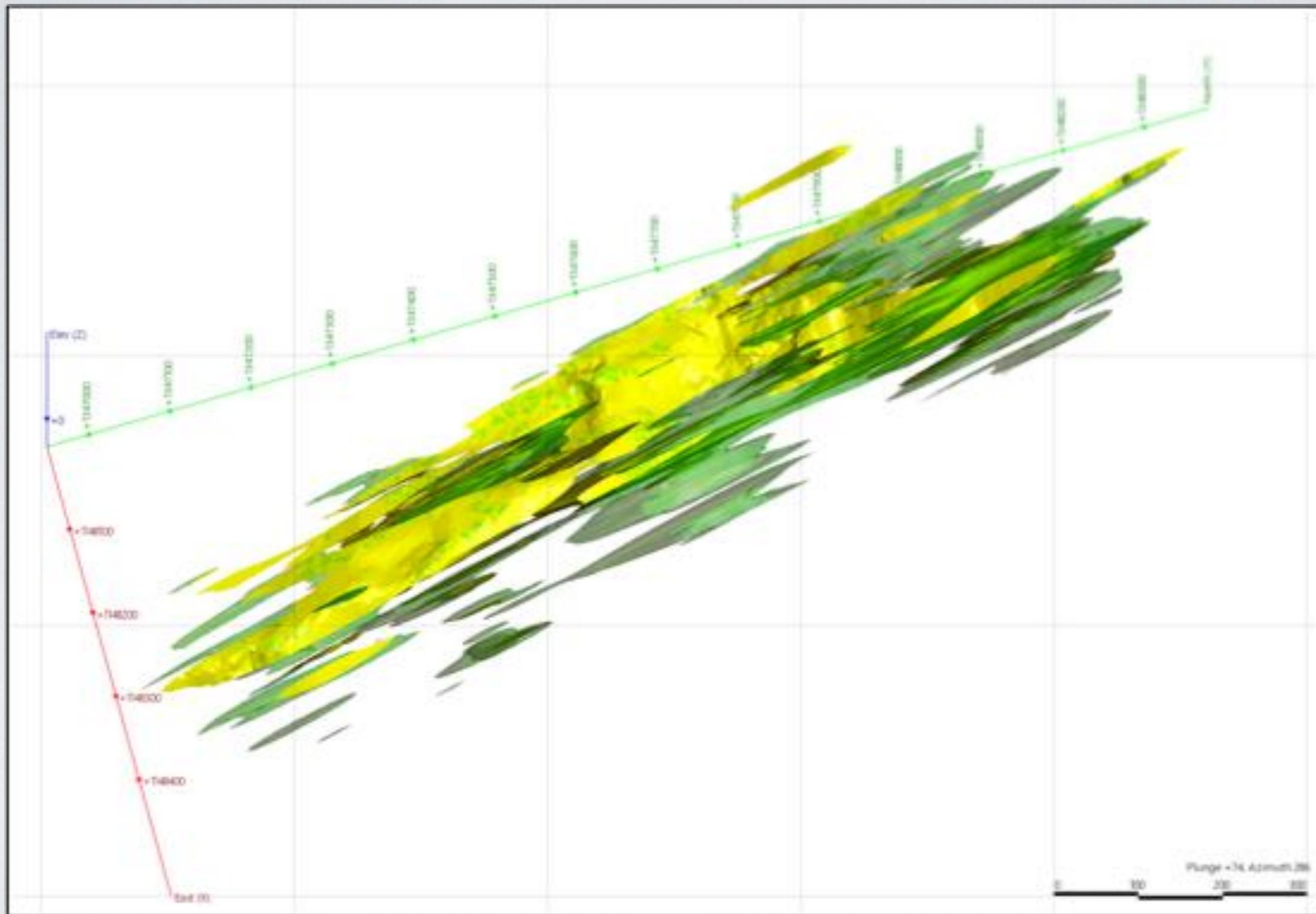


Modelo mineralización

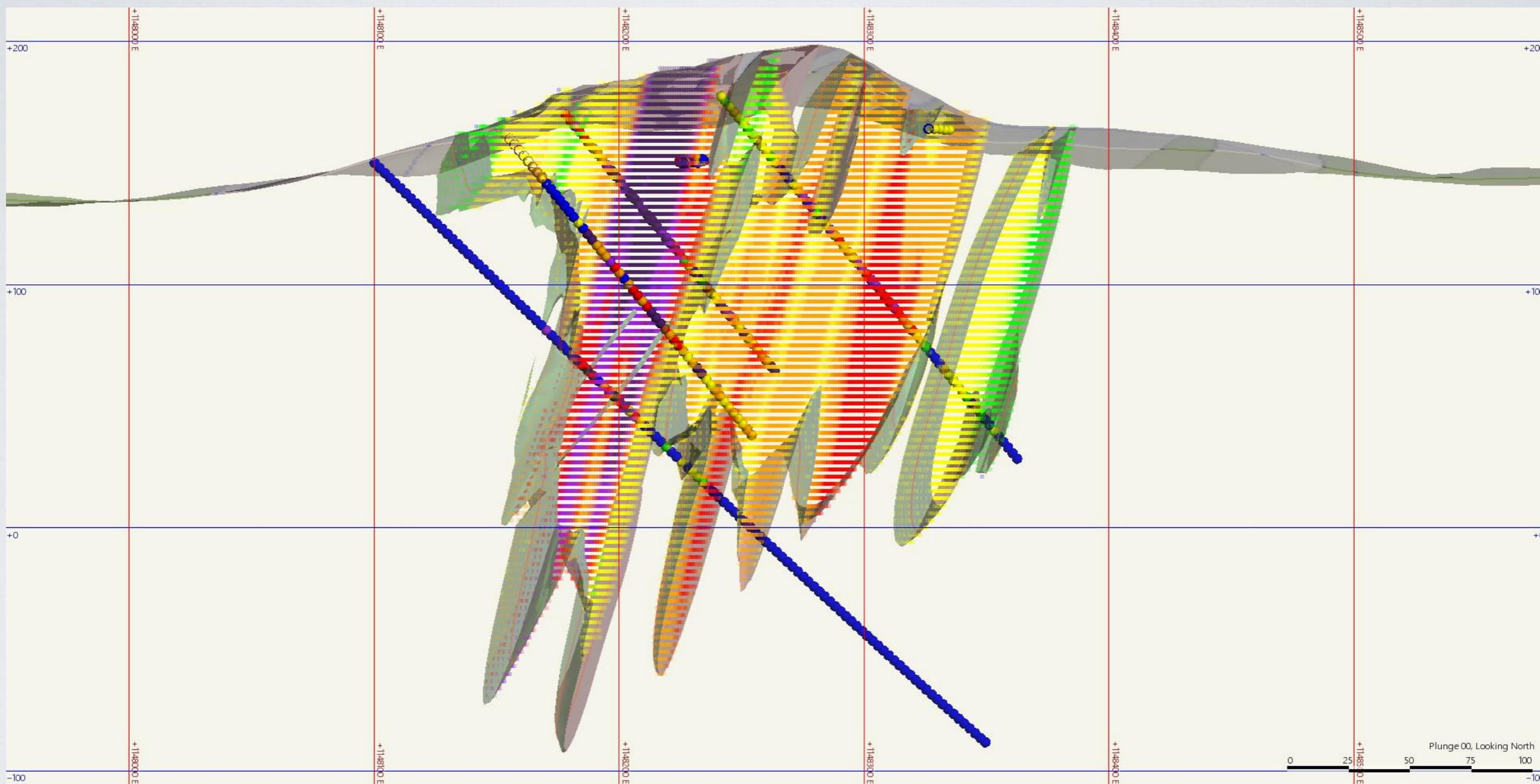
## Modelo Geotécnico



Modelo de Isoleyes



SOLIDO ISOLEYES  $>0.3\%$  CU  $>0.2$ GT AU, DENTRO DEL  
SOLIDO DE CUEQ  
[www.atticusgeo.cl](http://www.atticusgeo.cl)



# Modelo de Bloques y sondajes Sección Central

Se hizo una comparación de Tiempo y Costo de un proyecto ejecutado desde un comienzo con un MD con el mismo proyecto simulado como explícito. Utilizando la experiencia del suscrito. Hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Cada yacimiento es único y tiene su propio trabajo del punto de vista técnico, sin embargo debe estar dentro de ciertos rangos razonables
- Esta comparación es válida solo como orden de magnitud y de referencia para estimar el impacto de estos sistemas en cualquier otro proyecto.



## Dinámico - Tradicional

- 15 meses - 23 meses
- U\$3.8m - U\$ 4.4m
- 7% ahorro en sondajes
- 12% Menor Costo total
- 16% si se considera el ahorro de sondajes
- 37% en el costo relacionado sin sondajes

	Dinamico	Explicito	
Debida Diligencia	\$ 61,000	\$ 82,000	-26%
Revision Información Historica	\$ 3,000	\$ 3,000	0%
Modelamiento de Isolejes	\$ 3,000	\$ 9,000	-67%
Modelo Geologico Inicial	\$ 6,000	\$ 9,000	-33%
Visita a Terreno	\$ 10,000	\$ 10,000	0%
Diseño Plan de Trabajo	\$ 6,000	\$ 18,000	-67%
Presupuestos y Caso de Inversión	\$ 3,000	\$ 3,000	0%
Presentacion Junta de Inversión	\$ 30,000	\$ 30,000	0%
<b>Trabajo de Superficie</b>	<b>\$ 295,000</b>	<b>\$ 295,000</b>	<b>0%</b>
Mapeo Superficial	\$ 30,000	\$ 30,000	0%
Mapeo Subteraneo	\$ 50,000	\$ 50,000	0%
Muestreo Afloramientos y Suelos	\$ 15,000	\$ 15,000	0%
Muestreo Canaletas Subterneas	\$ 25,000	\$ 25,000	0%
Topografia	\$ 75,000	\$ 75,000	0%
Geofisica - Magnetometría	\$ 100,000	\$ 100,000	0%
<b>Trabajo de Superficie</b>	<b>\$ 33,600</b>	<b>\$ 75,000</b>	<b>-55%</b>
Modelamiento Geologico	\$ 21,600	\$ 42,000	-49%
Ajuste Programa de Sondajes	\$ 6,000	\$ 21,000	-71%
Programa Final Sondajes	\$ 6,000	\$ 12,000	-50%
<b>Programa de Sondajes</b>	<b>\$ 3,412,000</b>	<b>\$3,440,000</b>	<b>-1%</b>
Perforacion Diamantina 42 pozos	\$ 3,000,000	\$3,000,000	0%
Logueo Geologico y Geotecnico	\$ 300,000	\$ 300,000	0%
Programa QA/QC	\$ 40,000	\$ 40,000	0%
Actualizacion Dinamica del Modelo	\$ 36,000	\$ 50,000	-28%
Ajuste Continuo del Programa	\$ 36,000	\$ 50,000	-28%
<b>Modelamiento de Recursos</b>	<b>\$ 92,000</b>	<b>\$ 552,000</b>	<b>-83%</b>
Modelo Litologico	\$ 10,000	\$ 60,000	-83%
Modelo Estructural	\$ 6,000	\$ 36,000	-83%
Modelo Alteración	\$ 6,000	\$ 36,000	-83%
Modelo Geotecnico	\$ 6,000	\$ 36,000	-83%
Modelo de Leyes	\$ 6,000	\$ 36,000	-83%
Envoltentes Finales	\$ 10,000	\$ 60,000	-83%
Calculo Geoestadistico	\$ 10,000	\$ 60,000	-83%
Validación Modelo	\$ 6,000	\$ 36,000	-83%
Reporte Final	\$ 32,000	\$ 192,000	-83%
<b>Costo Total</b>	<b>\$ 3,860,000</b>	<b>\$4,369,000</b>	<b>-12%</b>
<b>Costo Total + Ahorro Sondajes</b>	<b>\$ 3,650,000</b>	<b>\$4,369,000</b>	<b>-16%</b>
<b>Costo Total Sin Sondajes</b>	<b>\$ 860,000</b>	<b>\$1,369,000</b>	<b>-37%</b>

## Algunos puntos importantes:

Los modelamientos dinámicos ya se están usando en forma mas o menos generalizada en la industria y ya se usan en los informes técnicos. Es una técnica que ya es aceptada para todo tipo de informes.

Los modelos de simulación implícita de límites pueden generar volúmenes para varios escenarios posibles para las mismas unidades geológicas

Sin embargo las interpolaciones matemáticas no pueden ser libres y siempre deben controlarse con los factores geológicos. Estos sistemas incorporan controles múltiples que usan distintas tendencias, litologías, alteraciones, estructuras, foliaciones, estratificación, etc. Son fáciles de generar, de actualizar y de revisar



Permite determinar incertidumbres espaciales y ver parámetros como el espaciamiento óptimo de grillas, entre otros. Produce modelos con menor incertidumbre matemática y menos muestras sin los atributos para estar adentro del sólido definido (p.e. isopleyes).

Cuando se integra nueva información se mantienen los otros controles aplicados y/o modificados si ha sido necesario.

Puede cambiar rápidamente cosas más importantes aún, como la filosofía del modelamiento como cambios de controles de la mineralización o litológicos, alteración, etc.

Los límites de los cuerpos pasan realmente por donde las muestras indican. Genera modelos finos y robustos

Trabaja con datos numéricos y alfa-numéricos georeferenciados como rocas, alteraciones, mineralización, leyes, muestras, plantas y secciones, estructuras, geotecnia, metalurgia, etc.

Puede modelar varias variables casi simultáneamente (p.e. isopleyes)

Ayuda a la planificación y rendimiento de los futuros sondajes

## EL EFECTO DE ESTAS HERRAMIENTAS EN LA INDUSTRIA EN CONJUNTO CON LA LEGISLACIÓN ACTUAL:

- Ley N° 20.235 de la República de Chile del año 2007, la Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras (“Comisión Minera”) y la ley de Cierre de faenas e instalaciones Mineras (20.551, marzo 2015).
  - CRISCO (Reciprocidad con Canadá, CEE, USA, Rusia, Australia)

Administrar el Registro Público de Personas Competentes

Proporcionar asistencia técnica que soliciten las otras entidades reguladoras del estado o los Tribunales de Justicia.

Dictar un Código para informar sobre la estimación, categorización y evaluación de Recursos y Reservas Mineras.

Solicitar para su revisión en cualquier tiempo, de oficio o a petición fundada de parte interesada, un informe técnico o reporte público preparado por una Persona Competente en Recursos y Reservas Mineras para los fines descritos en esta Ley

La ética y buenas prácticas.

Responsabilidades legales a los actores

Casi sincrónicamente aparecen los modeladores 3D en Chile (desde el Fractal Graphics al Leapfrog) y ya existe una experiencia local de unos 6-7 años aplicando sistemas de modelamiento 3D, calculando recursos y más recientemente reservas

## **FINALMENTE:**

EN GENERAL ESTOS MÉTODOS PUEDEN SER USADOS EN CASI TODOS LOS INFORMES TÉCNICOS DE ESTA PARTE DE LA INDUSTRIA

SE PUEDEN HACER ALGUNAS TAREAS PRÁCTICAMENTE EN SOLITARIO O CON AYUDA DE MUY POCAS PERSONAS

REVISAN Y AUDITA RÁPIDAMENTE LOS DATOS

COMO INFLUYEN (TIEMPO, COSTO Y CALIDAD) EN LAS ESTIMACIONES DE RECURSOS Y RESERVAS ACORTAN Y ABARATAN SIGNIFICATIVAMENTE LAS TRANSACCIONES DE ACTIVOS MINEROS COMO:

- DUE DILLIGENCE: MUY ÚTIL FUNDAMENTALMENTE POR EL TIEMPO
- JOIN VENTURES: SEGURIDAD DE QUE LOS DATOS Y ESTIMACIONES SON SUFICIENTES PARA TOMAR UNA BUENA DECISIÓN
- VALIDACIONES:
- TASACIONES:
- INFORMES DE VIDA MEDIA:
- GARANTÍAS FINANCIERAS DE ACTIVOS MINEROS:
- INFORMES A LAS BOLSAS: JORC, 43-101 Y OTROS.

FINALMENTE, PRODUCTO DE ESTO SE ESTÁ PRODUCIENDO UNA ADECUACIÓN NÚMEROS DE LOS DE RECURSOS Y RESERVAS EN LA INDUSTRIA YA QUE ES POSIBLE REVISAR PROFUNDAMENTE LOS DATOS, REINTERPRETAR, CONFRONTAR DISTINTOS MODELOS Y GENERAR MODELOS CONFIABLES CON ESTIMACIONES MATEMÁTICAS DE GRAN RESOLUCIÓN QUE PERMITEN DETERMINAR INCERTIDUMBRES ESPACIALES Y VER PARÁMETROS COMO EL ESPACIAMIENTO ÓPTIMO DE GRILLAS Y OTROS.



ATTICUS  
GRACIAS