



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization
Organisation Latino-américaine d'Énergie
Organização Latino-Americana de Energia

GEOESTADISTICA

OSCAR LEON
CONSULTOR

GEOLOGIA DEL PETROLEO: CARACTERISTICAS Y VALORACION DE LOS YACIMIENTOS HIDROCARBURIFEROS

28 - ABRIL - 2014

SANTA CRUZ, BOLIVIA

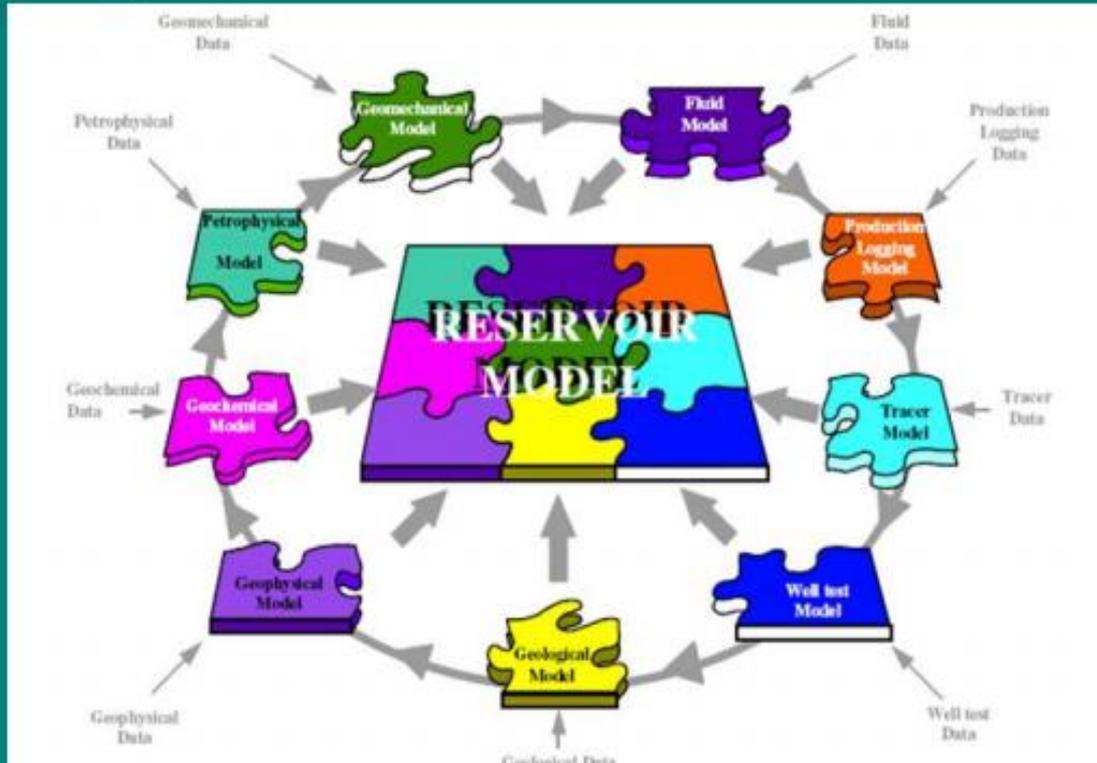
- Los objetivos son definir la geoestadística, examinar sus orígenes y hacer una revisión del modelo espacial y del algoritmo de interpolación Kriging.
- La geoestadística es una sección de la estadística aplicada y de la matemática que ofrece una colección de herramientas que cuantifican y modelan la variabilidad espacial, la cual incluye escalas de variabilidad (heterogeneidad) y direccionalidad dentro de la data.
- La geoestadística tiene su origen exclusivamente en la industria minera. D. G. Krige, ingeniero minero sudafricano y el estadístico H. S. Sichel, desarrollaron un nuevo método de estimación en la década de 1950 cuando la estadística clásica era inconveniente para la estimación de reservas de minerales.
- La palabra “kriging” fue usada en reconocimiento de D. G. Krige. En la década de 1970 el método kriging probó ser muy útil en la industria minera.
- La geoestadística fue introducida en la comunidad petrolera a mediados de los años 70 a través de su primer paquete de software comercial BLUEPACK. Sin embargo, no fue sino hasta la mitad de los años 80 cuando las técnicas geoestadísticas fueron utilizadas extensivamente en la industria petrolera.
- Se tiene la intención de aclarar los malentendidos acerca de la geoestadística y que es lo que puede o no puede hacer por la industria petrolera.

- La metodología, existen unos elementos básicos para el estudio geoestadístico, los cuales son:
 - datos mineralógicos,
 - modelaje y análisis de la continuidad espacial,
 - búsqueda del diseño elíptico,
 - Evaluación cruzada del modelo,
 - kriging,
 - Simulación potencial y
 - Evaluación de la incertidumbre del modelo.

- La geoestadística no es magia ni panacea, así como tampoco es un reemplazo para la buena data ni para su entendimiento y análisis.
- Los resultados deben ser interpretados y validados a la luz de la geología del yacimiento, la física de la roca y la información y principios de la ingeniería de yacimiento.
- La geoestadística es una herramienta que ayuda a incorporar conceptos geológicos en una representación cuantitativa 2-D o 3-D.
- Por otro lado, señala que Kriging es un método determinístico que tiene una solución única la cual ofrece el mejor estimado y el cual puede ser usado en la manera tradicional como otros métodos de interpolación matemática han sido usados.

- Kriging es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z . A diferencia de otros métodos de interpolación en el conjunto de herramientas de Interpolación, utilizar la herramienta Kriging en forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida.

Para hacer frente a los problemas de la caracterización de yacimientos, la industria petrolera internacional está empleando cada vez más **técnicas geoestadísticas**, que permiten combinar la información de manera **integrada**

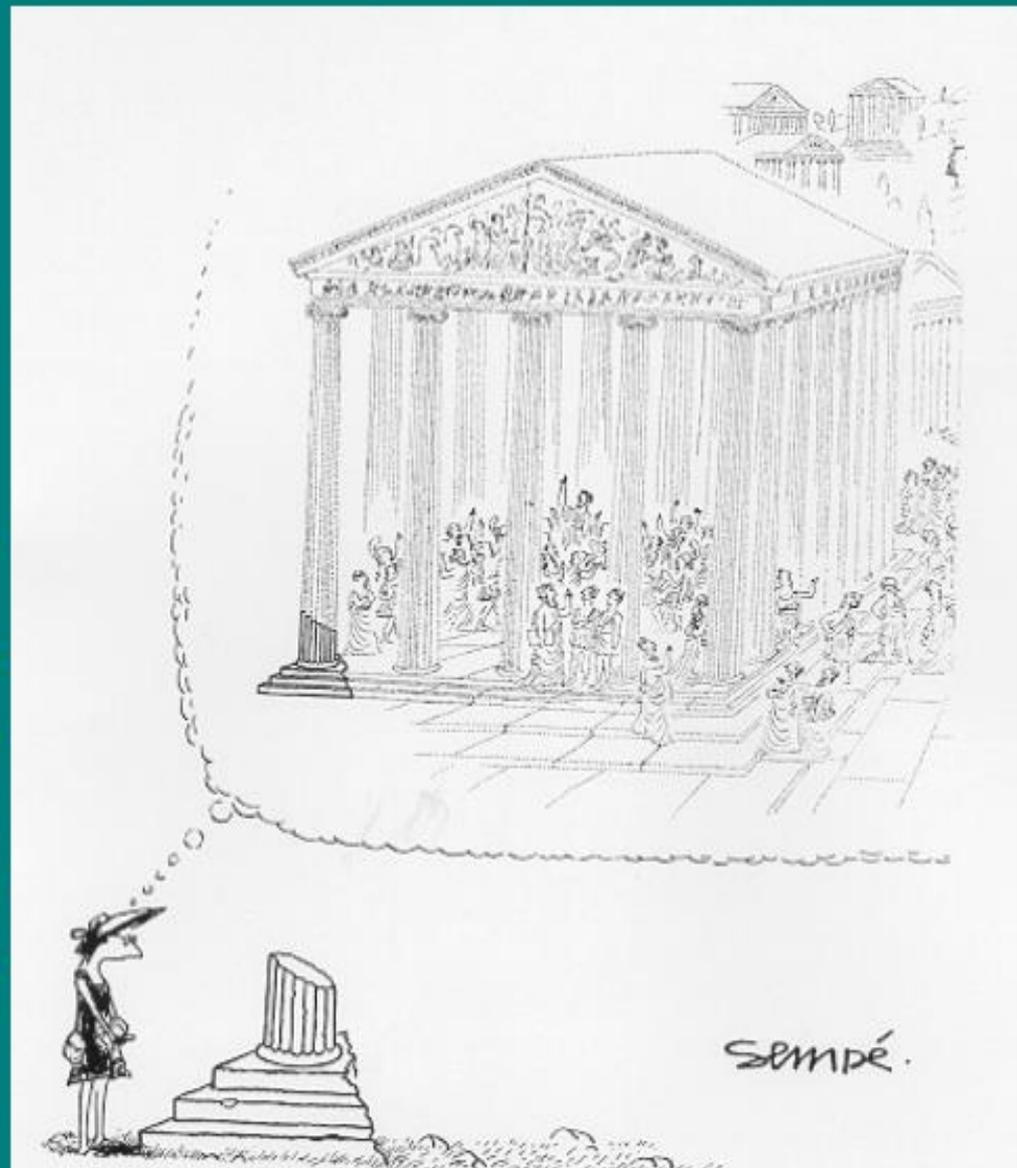


Estudios Integrales de Yacimientos

Propósito de la Geoestadística

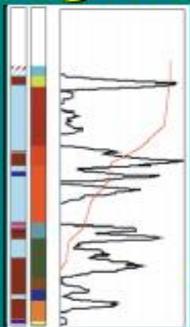
Manejar la incertidumbre.

A partir de escasa información conocida estimar o predecir el valor de una variable en localidades donde no se conoce



Modelación geológica-petrofísica

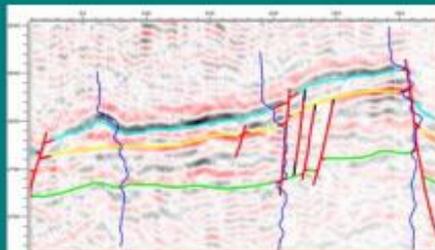
Registros



Núcleos



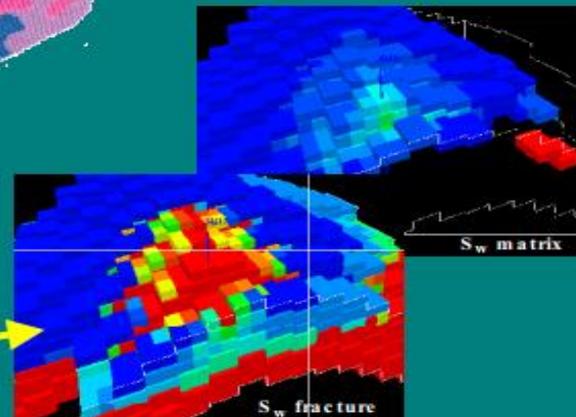
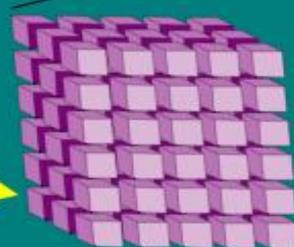
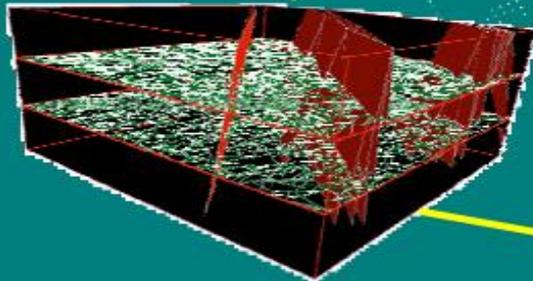
Sísmica



Modelo Geológico

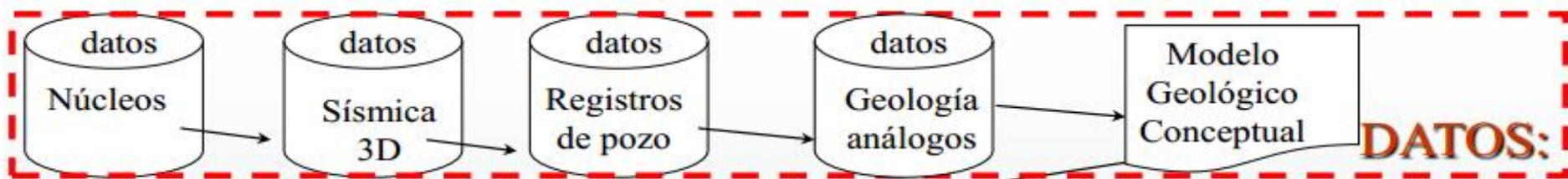


Modelo Geológico-Petrofísico

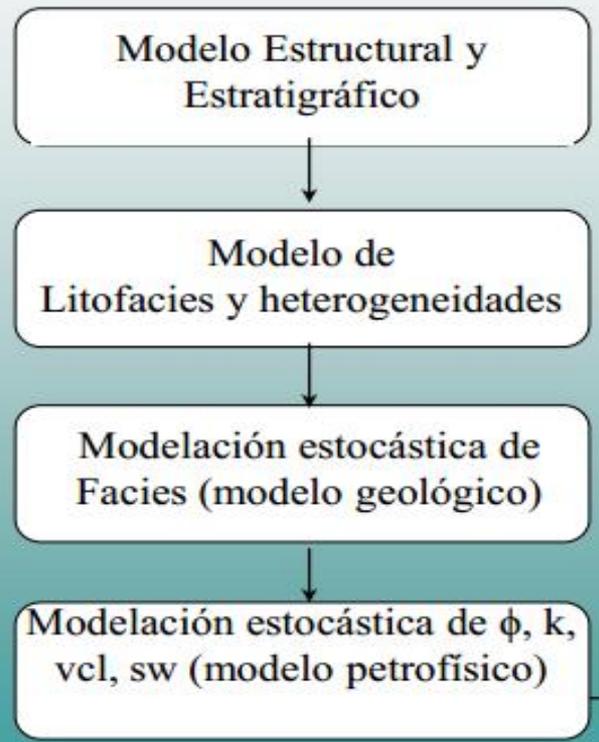


Escalamiento

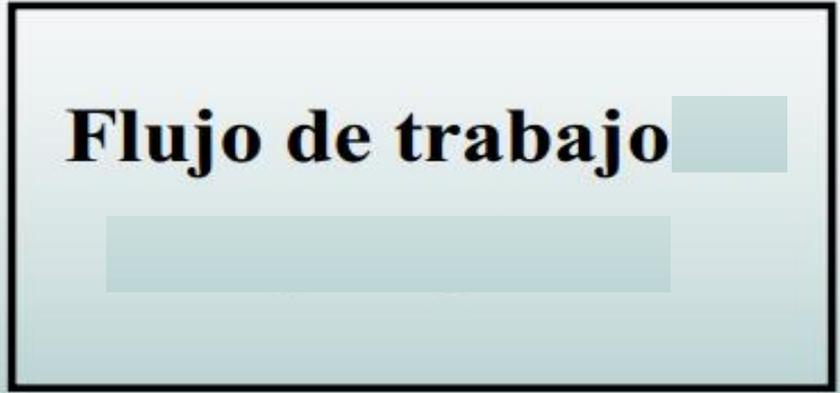
Simulación



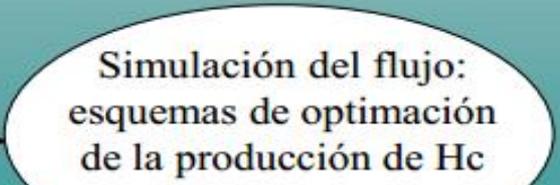
Modelación geológica-petrofísica



Escalamiento



Simulación Numérica



Metodología de la modelación geológica-petrofísica

Objetivo:

- Modelo Geológico-Petrofísico

Consiste en:

- ❑ **Modelo Geológico:** Descripción de los rasgos geológicos-estructurales del yacimiento (fallas, delimitación de unidades geológicas, identificación de *facies y su distribución*)
- ❑ **Modelo Petrofísico:** Distribución de las propiedades petrofísicas de las rocas y fluidos (porosidad, permeabilidad, saturación, etc)

Clasificación de facies

- La identificación de las facies en los registros geofísicos se realizó en base al análisis de la respuesta de la firma litológica en las curvas.
- Se utilizaron los registros: rayos gamma (RG), potencial natural (SP), resistividades, densidad y sónico de porosidad

Se establece la siguiente clasificación de facies:

Facies	Código
Areniscas	1
Limolitas-arenosas	2
Lutitas-arenosas	3
Lutitas	4

MODELO GEOLÓGICO

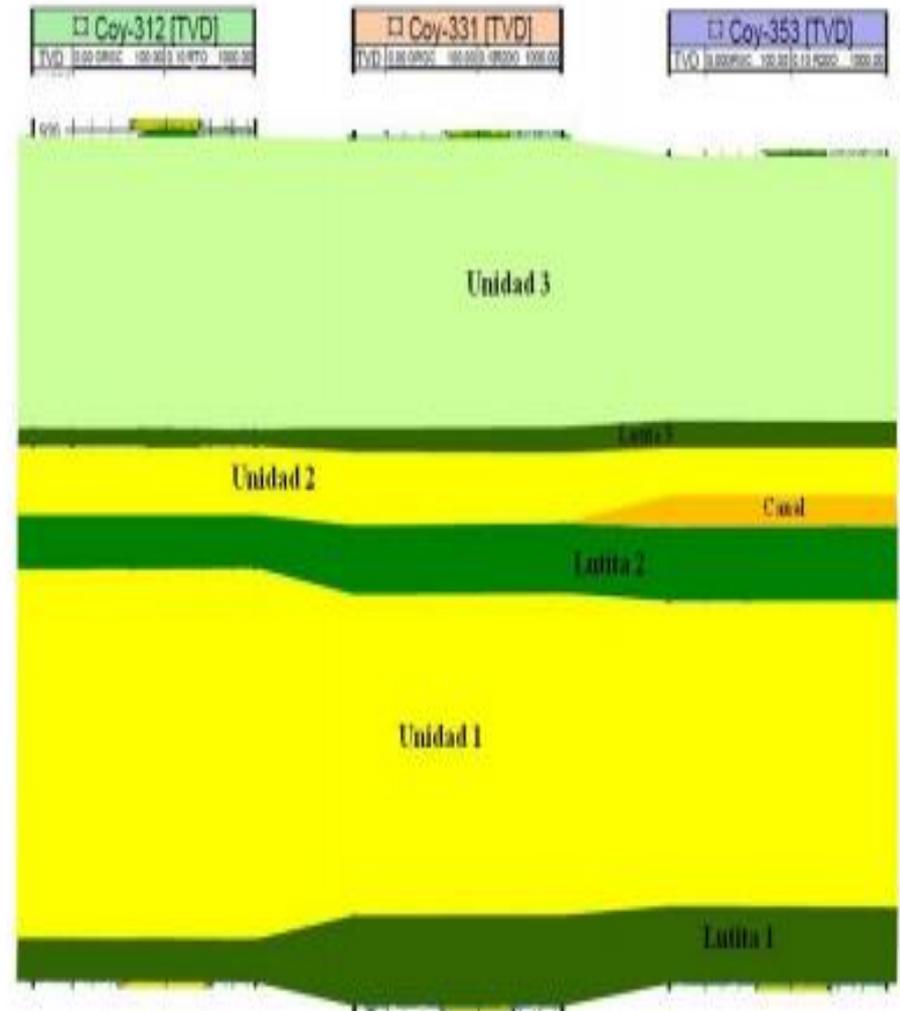
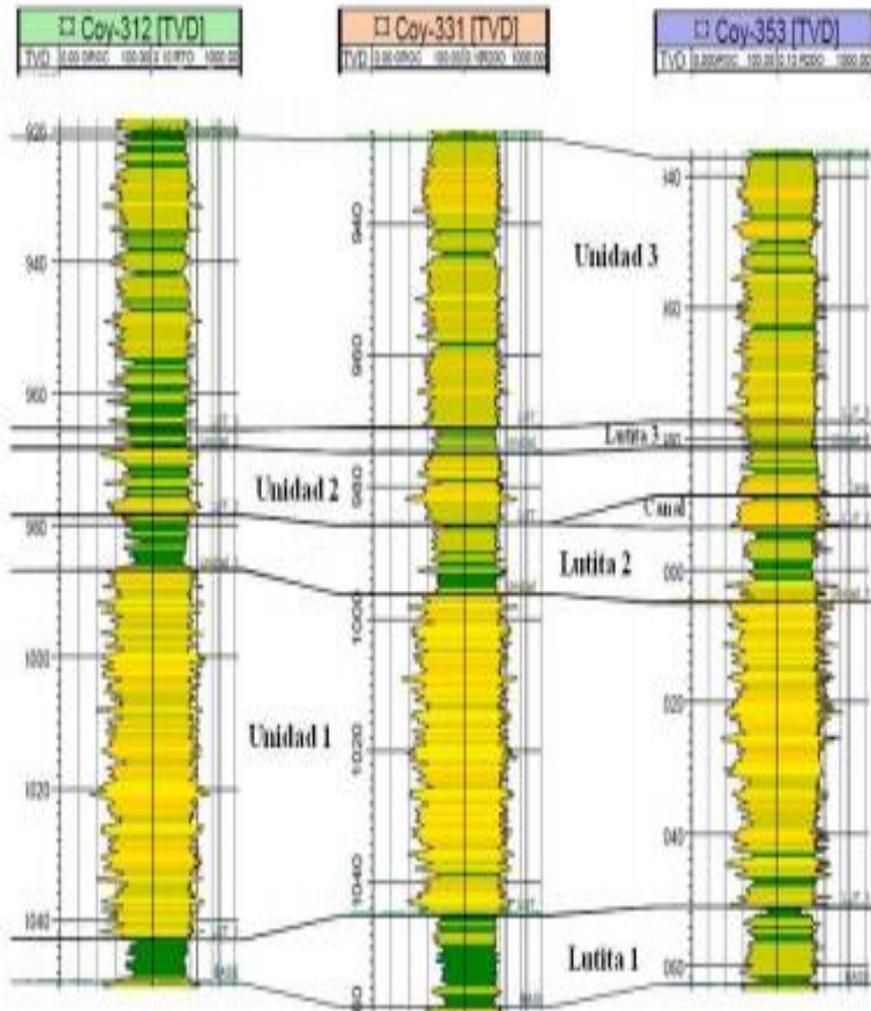
Consta de las siguientes etapas:

1. Modelo Estructural
2. Modelo Estratigráfico
3. Modelo Litológico

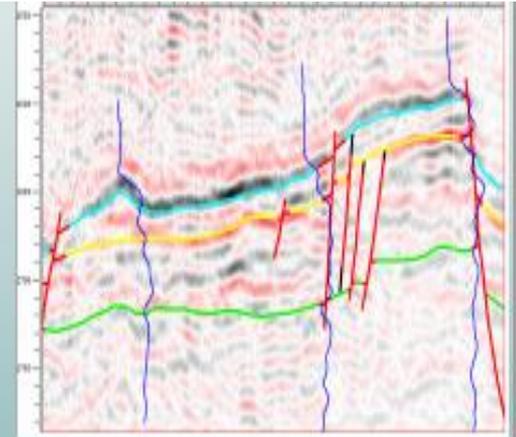
Información relacionada con la geología del yacimiento :

- **Núcleos:** facies, parámetros petrofísicos, diagénesis, fracturas, sistema poroso, edad geológica.
- **Registros de pozo:** litologías, electrofacies, propiedades petrofísica, unidades geológicas, fluidos.
- **Análogos de yacimiento en afloramientos:** sedimentología, estratigrafía, geología estructural, cuerpos, unidades, geometría, fallas, fracturas, edad.
- **En suma:** interpretación geológica del yacimiento

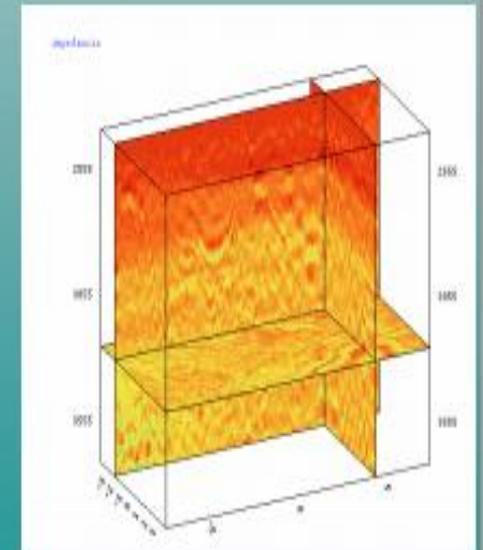
MODELO GEOLOGICO CONCEPTUAL



- Delimitación del yacimiento, generación de superficies (cimas), identificación de fallas, geometrías de cuerpos, correlación de unidades geológicas.
- Atributos sísmicos: posible correlación con propiedades petrofísicas.



El producto final: Un modelo geológico conceptual

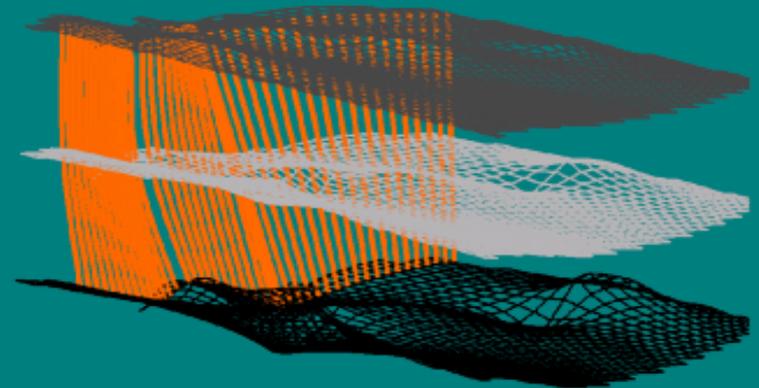
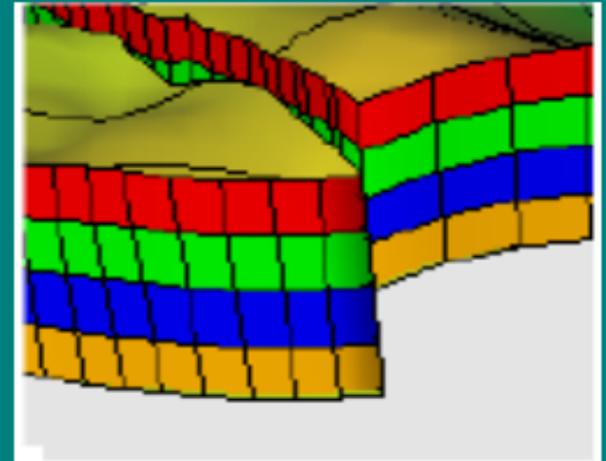


MODELO ESTRUCTURAL

(Arquitectura del Yacimiento)

Define el marco geométrico básico de la trampa de hidrocarburos

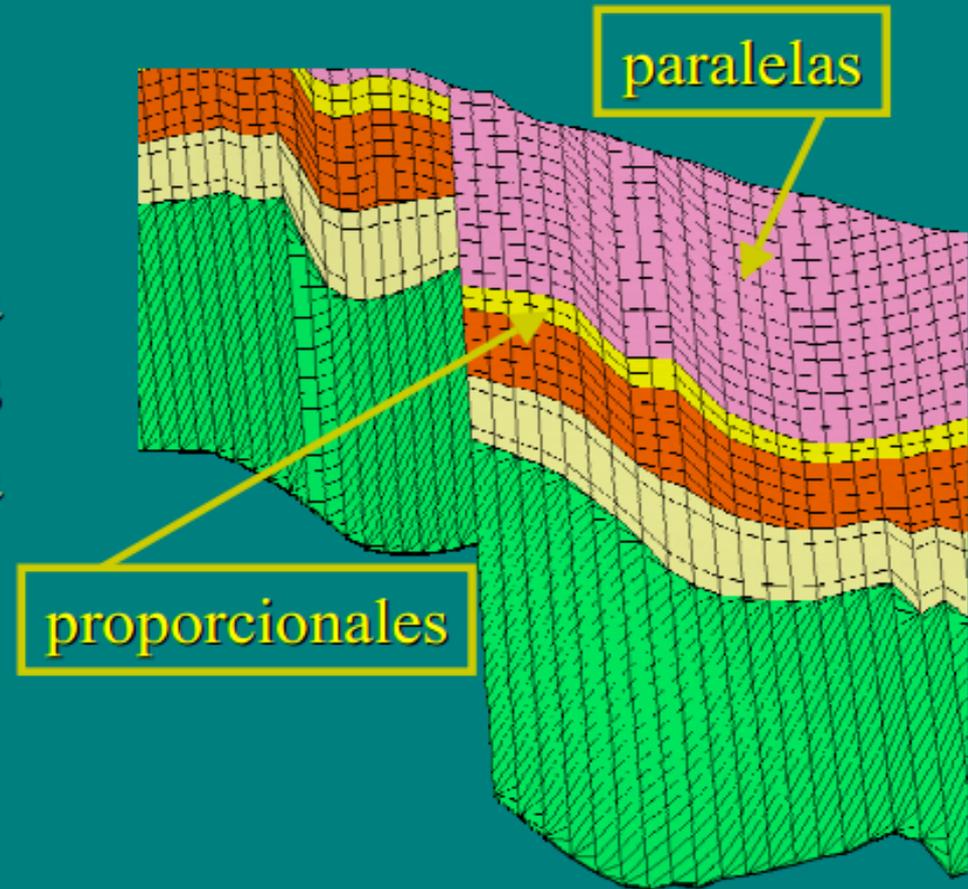
1. **Fallas principales:** No se contó con información
2. **Superficies geológicas (cimas):** Sólo marcas en pozos



MODELO ESTRATIGRÁFICO

Define la geometría (malla) interna de las unidades de la formación:

- Capas proporcionales
- Capas paralelas



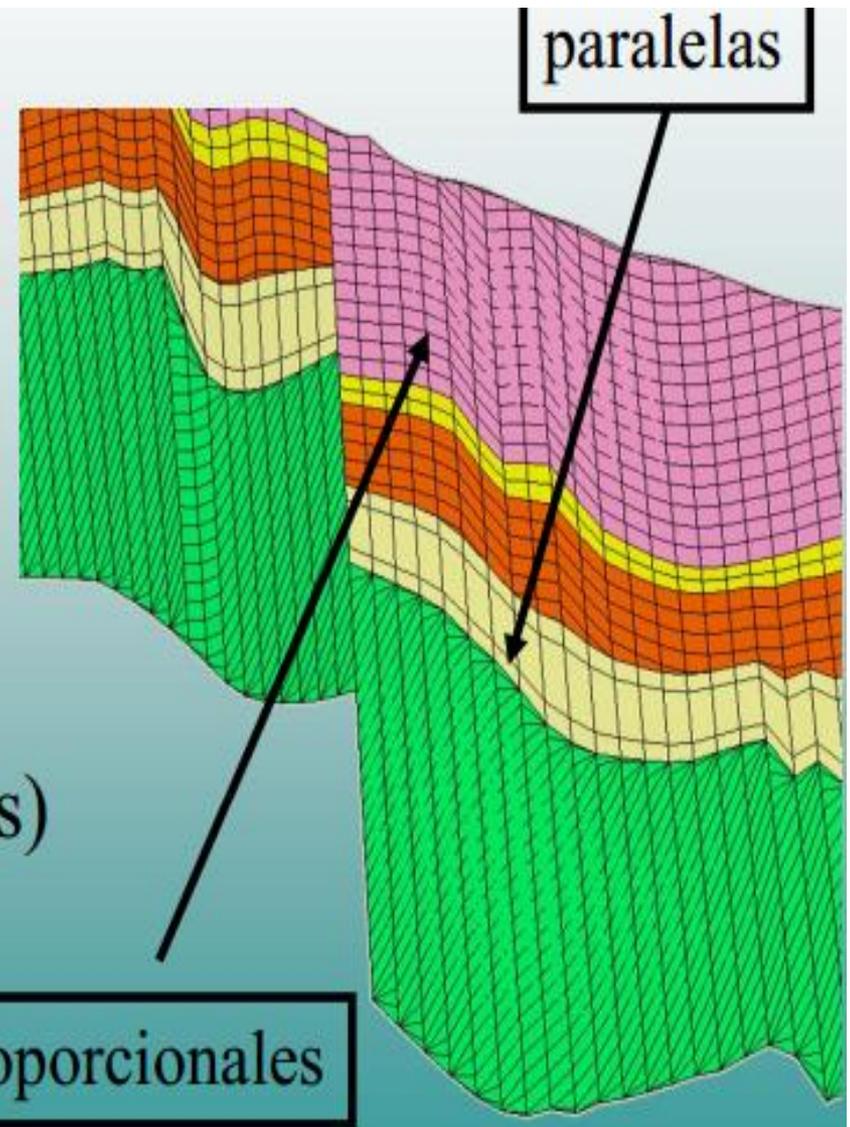
Definición de la arquitectura interna de las unidades que forman el yacimiento.

Definición de celdas:

Tamaño

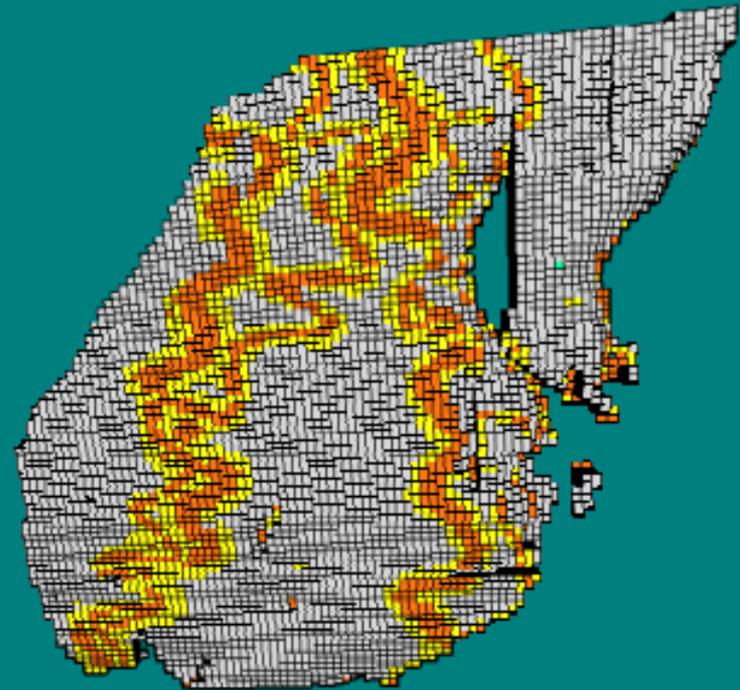
Tipo (proporcionales o paralelas)

Relación estratigráfica (concordantes, discordantes, etc.)

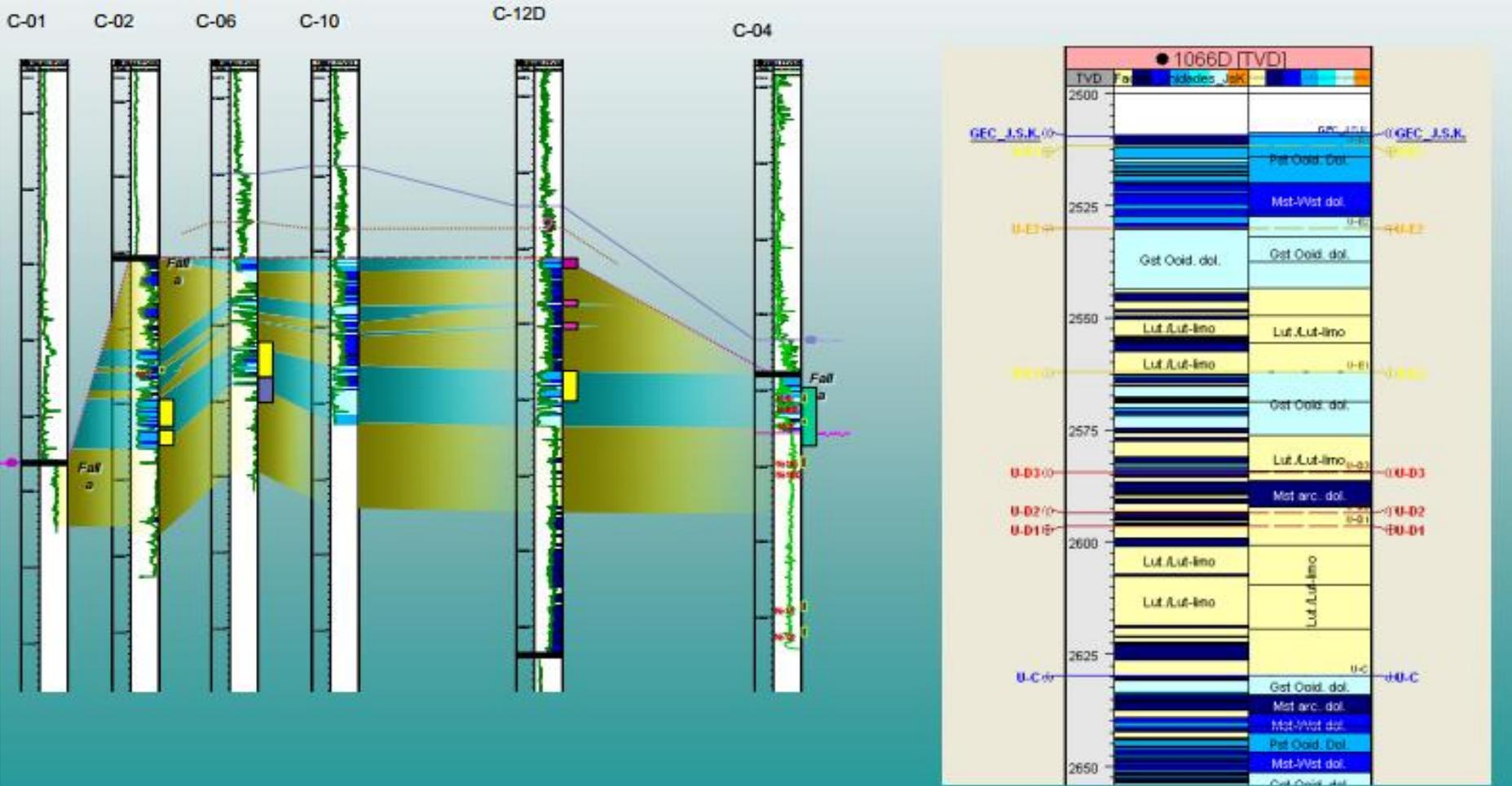


MODELO LITOLÓGICO

- Definición de litotipos:
Agrupación de Facies por sus propiedades petrofísicas
- Distribución de litotipos



- Definición de facies y escalado a la malla estratigráfica



MODELO PETROFÍSICO

- De manera correspondiente se obtuvieron los modelos de distribución de propiedades petrofísicas.
- La porosidad se obtuvo a partir de la simulación estocástica Secuencial Gaussiana restringida por la distribución espacial de litotipos de manera que se reproduzcan las características estadísticas previamente inferidas en cada unidad litológica.
- Mientras que la permeabilidad a su vez se obtuvo a partir de la porosidad mediante una regresión lineal según el litotipo y la unidad litológica correspondiente.

- Para llevar a cabo una predicción con el método de interpolación de kriging, es necesario realizar dos tareas:
 - Descubrir las reglas de dependencia.
 - Realizar las predicciones.

A fin de completar estas dos tareas, kriging atraviesa un proceso de dos pasos:

1. Crea los variogramas y las funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (denominada autocorrelación espacial) que dependen del modelo de autocorrelación (ajustar un modelo).
2. Prevé los valores desconocidos (hacer una predicción).

Se dice que en este método los datos se utilizan dos veces, debido a estas dos tareas bien distintivas: la primera vez, para calcular la autocorrelación espacial de los datos, y la segunda, para hacer las predicciones.

VARIOGRAFIA

El ajuste de un modelo, o modelado espacial, también se conoce como análisis estructural o variografía. En el modelado espacial de la estructura de los puntos medidos, se comienza con un gráfico del semivariograma empírico, calculado con la siguiente ecuación para todos los pares de ubicaciones separados por la distancia h:

Semivariograma (distancia h) = $0.5 * \text{promedio}((\text{valor } i - \text{valor } j)^2)$

La fórmula implica calcular la diferencia cuadrada entre los valores de las ubicaciones asociadas. En la imagen a continuación se muestra la asociación de un punto (en color rojo) con todas las demás ubicaciones medidas. Este proceso continúa con cada punto medido.

