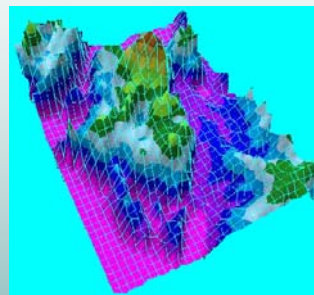




INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

# GEOESTADÍSTICA APLICADA

## Tema: **Caracterización de Yacimientos**



**Instructores:**

**Dr. Martín A. Díaz Viera** ([mdiazv@imp.mx](mailto:mdiazv@imp.mx))

**Dr. Ricardo Casar González** ([rcasar@imp.mx](mailto:rcasar@imp.mx))

**2004**

## Contenido

- Introducción
- Objetivo
- Esquema General de Trabajo
- Etapas de la Modelación
- Modelo Geológico
- Modelado de Litofacies
- Modelo de Propiedades Petrofísicas
- Enfoques más exitosos para la caracterización de yacimientos
- Estimaciones conjuntas
- Simulaciones Estocásticas
- ¿Por qué modelar las facies primero?
- ¿Cuándo debemos preocuparnos con las facies antes de modelar las propiedades petrofísicas?
- ¿Cómo elegir las facies?
- ¿Qué clase de modelo de simulación elegir?
- Modelado de propiedades petrofísicas
- Modelado de la Porosidad
- Modelado de la Permeabilidad
- Dificultades
- Oportunidades de Desarrollo
- Software Disponible
- Referencias importantes

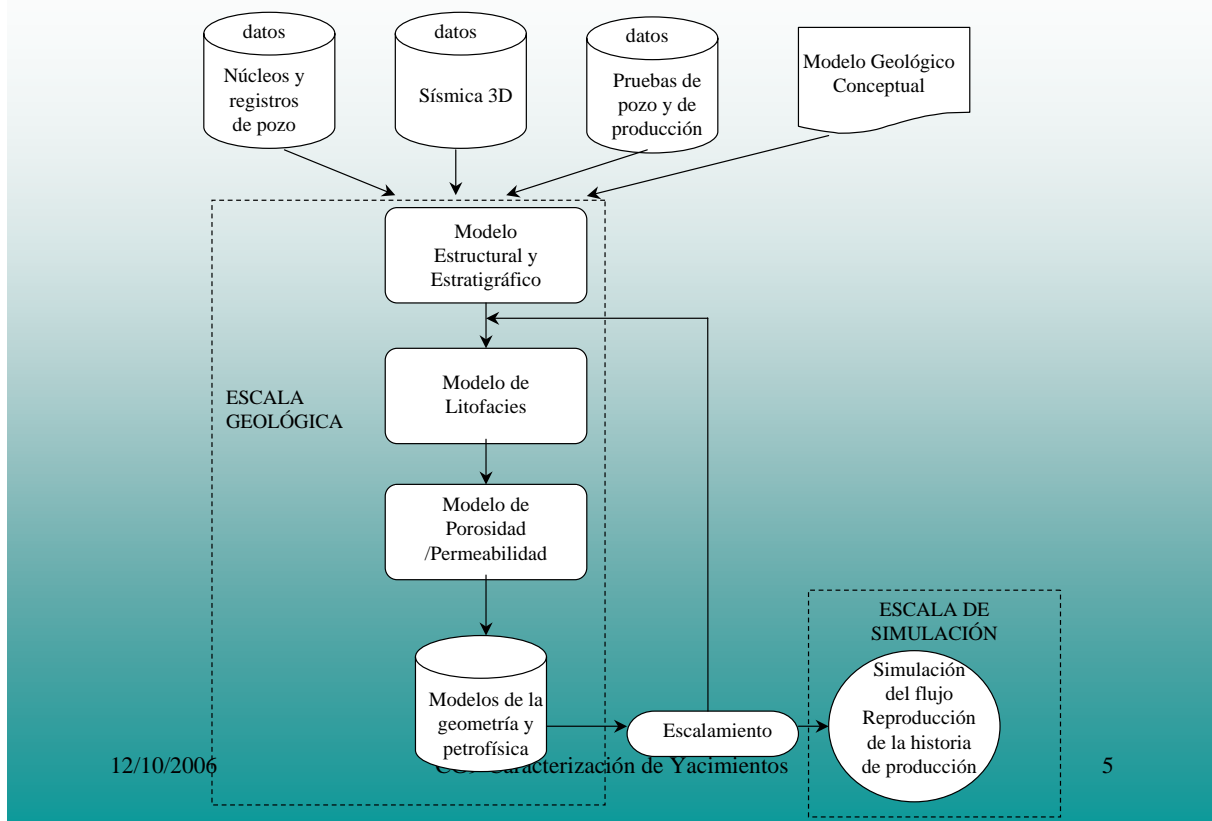
# Introducción

- ❑ Las herramientas geoestadísticas son cada vez más empleadas en la modelación de yacimientos petroleros debido a la disponibilidad de códigos (software) comerciales que de una manera u otra están basados en estas técnicas.
- ❑ No obstante en la mayoría de los casos no existe una metodología sistemática e integrada que nos permita guiar el proceso de modelación de propiedades petrofísicas de un yacimiento a partir de datos de diferente naturaleza y que son obtenidos a diferentes escalas del yacimiento.

# Objetivo

A partir del modelo geológico conceptual de un yacimiento y usando todas las fuentes de información disponibles: información estática (núcleos, registros de pozo y sísmica) y dinámica (pruebas de pozo e historia de producción), desarrollar *“un modelo numérico de las propiedades petrofísicas en 3-D”*

# Esquema General de Trabajo



## Etapas de la modelación

- MODELO GEOLÓGICO CONCEPTUAL
- MODELADO DE LITOFACIES
- MODELO NUMÉRICO DE PROPIEDADES PETROFÍSICAS EN 3-D

# Modelo Geológico

- La definición del modelo geológico constituye una de las más importantes fases del estudio de un yacimiento debido al volumen de trabajo que involucra y por el impacto que tiene.
- Consta de las siguientes etapas:
  1. Modelo Estructural
  2. Modelo Estratigráfico
  3. Modelo Litológico
  4. Heterogeneidades del Yacimiento

## Modelado de litofacies

- Análisis petrofísico de litofacies y propiedades de las roca.
- Las facies deben poseer propiedades petrofísicas y características espaciales claramente diferenciables que conduzcan a propiedades de flujo distinguibles.
- A partir de datos de núcleos y/o registros de pozo establecer el conjunto de litofacies aplicando técnicas de “minería de datos”.

# Modelo de propiedades petrofísicas

- Primero, se realiza la simulación estocástica (geoestadística) de las litofacies y luego se simulan las propiedades petrofísicas (porosidad y permeabilidad) restringidas por la distribución espacial de las litofacies.
- Se integra todas las fuentes disponibles de información (núcleos, registros de pozo y sísmica) en un modelo numérico de la distribución de las propiedades petrofísicas en 3-D.
- El modelo se valida con el modelo geológico conceptual y usando otras fuentes de información (pruebas de pozo e historia de producción).

## Enfoques más exitosos para la caracterización de yacimientos

- Estimaciones conjuntas (Cokriging)
- Simulaciones estocásticas restringidas por la geología (facies).

# Estimaciones conjuntas

- Explora la correlación entre dos o más variables para mejorar su estimación.
- A partir de una variable menos muestreada, por ejemplo, los datos de porosidad en núcleos, se puede estimar la porosidad a la escala de los registros de pozo de una propiedad más densamente muestreada.

# Simulaciones Estocásticas

## **Primero:** Modelado de facies

1. basado en celdas
2. basado en objetos
3. El mapeo determinístico

## **Luego:** Modelado de propiedades petrofísicas

1. Porosidad
2. Permeabilidad

# ¿Por qué modelar las facies primero?

- Las facies son importantes en la modelación de yacimientos ya que las propiedades petrofísicas de interés están altamente correlacionadas con el tipo de facies.
- El conocimiento de la distribución de las facies restringe el rango de variabilidad de la porosidad y la permeabilidad.
- Mas aún, las funciones de saturación dependen de las facies incluso cuando las distribuciones de la porosidad y la permeabilidad no dependan de éstas.

# ¿Cuándo debemos preocuparnos con las facies antes de modelar las propiedades petrofísicas?

- Cuando las facies poseen un control significativo sobre las propiedades petrofísicas.
- Cuando son identificables en la ubicación de los pozos, es decir a partir de los datos de registros de pozo así como de los datos de núcleos.
- Cuando tienen patrones de variación espacial sencillos.

# ¿Cómo elegir las facies?

- La elección de las facies es un problema caso-dependiente difícil, para el cual puede no existir una clara solución. La simplicidad es preferible.
- Se recomienda un máximo de hasta seis diferentes tipos de facies a considerar.

# ¿Qué clase de modelo de simulación elegir?

- **Basado en Celdas:** Cuando no existen geometrías geológicas de las facies claras, es decir, cuando las facies son diagenéticamente controladas o donde las facies depositacionales originales tienen patrones de variación complejos.
- **Basado en Objetos:** Cuando las facies aparentan seguir patrones geométricos claros, tales como canales abandonados rellenos de arenas o dunas litificadas, etc.
- **El mapeo determinístico:** cuando existe suficiente evidencia de la distribución de las facies.



# Modelado de propiedades petrofísicas

- Los valores de las propiedades petrofísicas son asignados dentro de cada facies de manera que reproduzcan las características estadísticas representativas (histograma, variograma, correlación con otra variable) de la propiedad para dicha facies.
- Esto se puede hacer usando simulaciones geoestadísticas.

# Modelado de la Porosidad

- Se emplea un método de simulación estocástica usualmente de tipo Gaussiano (Simulación Gaussiana Truncada).
- Se puede emplear atributos sísmicos (impedancia acústica) como variable secundaria.

# Modelado de la Permeabilidad

- Se emplea un método de simulación estocástica usualmente de tipo Gaussiano (Simulación Gaussiana Truncada o Indicador).
- Se puede emplear la porosidad (previamente simulada) como variable secundaria.

## Dificultades

- Información insuficiente y/o no representativa.
- Cambio de escala: de núcleos a celda del modelo.
- Como toda disciplina estadística depende considerablemente de decisiones subjetivas del experto.

# Oportunidades de Desarrollo

- Geoestadística de múltiples puntos.
- Uso de datos dinámicos: pruebas de pozo, historia de producción, y sísmica 4-D.
- Modelación basada en superficies

# Software Disponible

- GSLIB
- ISATIS
- HERESIM 3D
- PETREL

## Referencias importantes:

- Deutsch, C. V., *Geostatistical Reservoir Modeling*, Oxford University Press, 2002.
- Christian Lantuejoul, *Geostatistical Simulation: Models and Algorithms*, Springer Verlag, 2002.
- Mohan Kelkar and Godofredo Pérez, *Applied Geostatistics for Reservoir Characterization*, SPE, 2002.