

Modelado geológico-maximizando la integración del conocimiento

Ing. Hugo Saucedo Reyes
Ing. Moisés Huicochea Campos
Schlumberger

Información del artículo: recibido: agosto de 2013-aceptado: julio de 2014

Resumen

El modelado estático, como parte fundamental de la conceptualización del yacimiento, nos permite cuantificar y planificar zonas de interés comercial, definidas por medio de los valores de las propiedades petrofísicas, tales como porosidad, saturación de agua y la relación neto-bruto.

La forma tradicional de realizar la población de propiedades petrofísicas es por medio de métodos geoestadísticos, utilizando como guía atributos u operaciones extraídas de cubos sísmicos.

Sin embargo, no siempre es posible utilizar más de dos atributos sísmicos, propiedades geométricas, mapas geológicos, atributos geométricos 3D, y modelos geológicos conceptuales, o simplemente se requiere que alguno de los datos tenga mayor peso que el otro.

El enfoque de este trabajo es integrar, con diferentes pesos los datos disponibles, integrándolos en un modelo de regresión lineal multivariable. Como resultado se obtendrá una propiedad 3D, la cual tendrá las características geológicas-geofísicas deseadas, que permitirá utilizarse como guía para la distribución geoestadística de los registros petrofísicos y así finalmente obtener los cálculos de volumen original de hidrocarburo.

La distribución de propiedades, a partir de guías basadas exclusivamente en los atributos sísmicos, puede generar falsas expectativas, mientras que la aplicación del análisis multivariable reduce la incertidumbre y permite contar con un rango de distribución de datos petrofísicos y definir el caso base más probable, entre más información con sentido geológico se incluya en la guía, más sentido geológico-geofísico tendrá.

Palabras clave: Modelado geológico, modelo de regresión lineal multivariable.

Geological modeling-maximizing the integration of knowledge

Abstract

The Static model is a central piece in the reservoir conceptualization, through the model you can quantify the principal petrophysical characteristic like porosity, water saturation, Net/Gross etc. with all those element you can evaluate the oil volume.

The traditional way to obtain the petrophysical distribution is using the geostadistic and a seismic attribute as trend used in a secondary variable. Traditional workflows use only one trend but this one not always represent correctly the subsurface changes, for that reason we propose a new workflow (Trend Modeling) in order to include different trends to modeling, in that way the challenge here is to identify the true representation of subsurface.

Although is not always possible combine more than one trend, this methodology using a linear multi-variable combination incorporate: several seismic attributes, geometrical properties, geological maps with different weights according with confidence in data.

Trend modeling enables you to go beyond the conventional map/vertical function trend approach and to build 3D trend models based on multiple inputs. This help to obtain a 3D property containing geological and geophysical information considering for modeling that is combined with geoestatistic coming from petrophysical information in wells to obtain a confident model that let obtain a good estimation for Hydrocarbons in place.

The distribution of petrophysical properties exclusively based on seismic attributes guides, can generate false expectations, while the application of multivariate analysis reduces uncertainty letting generate a petrophysical distribution with geological sense due more information is included to guide geological-geophysical knowledge.

With a new 3D trend the distribution of petrophysical data is robust and the uncertainty decrease, creating models without incorporate all geological and geophysical knowledge can easily.

Keywords: Geological modeling, multivariate linal regression.

Introducción

El uso de software 3D de nueva generación, con la filosofía de un solo modelo de tierra compartido, permite integrar el conocimiento geológico-geofísico y a su vez conocer el estado del yacimiento, modificando la forma tradicional de generar el modelo geológico debido a la integración del conocimiento multidisciplinario.

Tradicionalmente la distribución de propiedades petrofísicas se basa en la geoestadística condicionada por una distribución de facies, sin embargo, esto no garantiza que la distribución tenga un sentido geológico predominante. Para tratar de tener un mejor control de la distribución de las propiedades más allá del pozo, se busca incorporar más elementos para poder guiar la distribución como el modelo geológico conceptual, atributos sísmicos 2D y 3D, así como tendencia vertical proveniente del pozo.

Un buen resultado depende de la capacidad de plasmar en un modelo 3D la conceptualización del modelo geológico y/o de la calidad de la sísmica, si no se cuidan estos aspectos se obtienen modelos con una alta incertidumbre, aunada a la ya presente por tratarse de un modelo.

Además, para construir modelos geológicos realistas que sean compatibles con todos los datos de entrada no es una tarea fácil. La incorporación de los datos de pozos, las tendencias sísmicas, mapas, modelos conceptuales, etc. Un modelo geológico requiere de mucho esfuerzo y algoritmos apropiados para poderlo representar adecuadamente. Al final, un geólogo tiene que llegar a un modelo que se parezca a la geología pero respetando todos los datos duros de entrada al modelo.

El objetivo de este trabajo es mostrar la metodología para realizar la población de propiedades petrofísicas por medio de una propiedad 3D, obtenida con un modelo de regresión lineal multivariable que permita combinar de manera controlada la información que se puede usar como guía de la propiedad.

La metodología se mostrará con los datos del Teapot Dome, ubicado en Wyoming, USA, **Figura 1**, cerca del flanco suroeste de la cuenca Powder River, la porción mas profunda de esta cuenca contiene cerca de 5,500m de roca sedimentaria y aproximadamente 2,440m, que corresponde al Cretácico Superior y Terciario.



Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto, Wyoming, USA.

Metodología de población tradicional de modelos geológicos

El flujo convencional, Figura 2, para la distribución de propiedades petrofísicas es:

1. La generación del modelo estructural (modelo de celdas 3D)
2. El escalado de los registros de facies y de propiedades petrofísicas (procedimiento para pasar la información del pozo al modelo de celdas)
3. La población de facies
4. Análisis geoestadístico
5. Distribución de propiedades petrofísicas guidas por un atributo/guía 3D

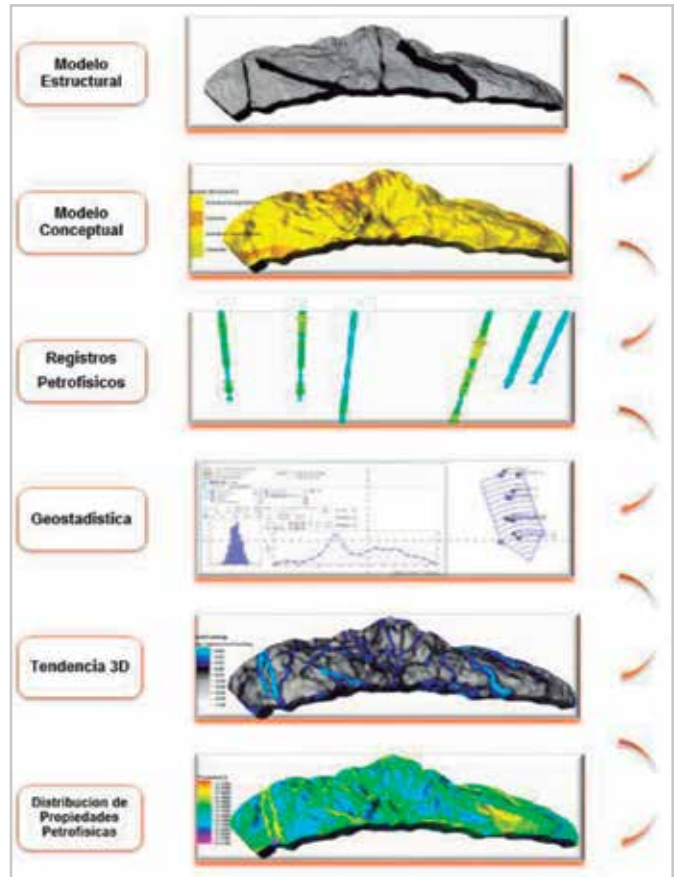


Figura 2. Flujo de trabajo convencional para la población del modelo.

Dentro de la población, tanto de facies como de propiedades petrofísicas en yacimientos fracturados, es de suma importancia definir apropiadamente las zonas de mayor o menor fracturamiento, ya que de esto dependerán los tipos de facies y los valores de las propiedades petrofísicas, el atributo de Antracking es el proceso más recomendable.

Para esto, se realiza la población de las propiedades con el algoritmo secuencial gaussiano correlacionando la propiedad con una segunda variable o “driver”.

Desafortunadamente, la población convencional no permite utilizar todos los datos disponibles para realizar la población como impedancia acústica, RMS, Chaos, varianza, Antracking, Iso-Frequency, Envelope, inversión genética, etc), alguna tendencia geométrica (curvatura, distancia a las fallas, compactación, etc), algún mapa o una función vertical que permitirá adicionar información tanto lateral como verticalmente.

En este trabajo se muestra la población de porosidad efectiva utilizando como segunda variable (co-kriging) guiado por el atributo Antracking, en donde se definieron las zonas de mayor probabilidad de fracturamiento y por lo tanto las zonas asociada a la mayor porosidad.

La propiedad de porosidad efectiva, que fue obtenida, solamente utilizando una guía. Sin embargo, se pudieron utilizar otros tipos de atributos o propiedades geométricas, lo que arrojaría diferentes volúmenes de hidrocarburo.

El gran problema es decidir cuál de las variables secundarias utilizar, arrojando una alta incertidumbre.

Población maximizando la integración del conocimiento

La metodología para la población de modelos geocelular maximizando la integración del conocimiento, se muestra en la **Figura 3**. Este flujo incluye crear el modelo estructural, modelo conceptual, mapas de tendencias 2D, propiedades geométricas de tendencia 3D, atributos sísmicos, análisis geoestadístico, para realizar la población de propiedades petrofísicas.

En esta nueva metodología es posible combinar todas las variables o datos para generar un modelo “geológico” más no matemático. Esto por medio del análisis multivariable.

La regresión lineal permite trabajar con una variable a nivel de intervalo o razón, así también se puede comprender la relación de dos o más variables y nos permitirá relacionar mediante ecuaciones, una variable en relación a otras variables llamándose regresión múltiple o multivariable. Constantemente en la práctica de la investigación estadística se encuentran variables que de alguna manera están relacionadas entre sí, por lo que es posible que una de las variables pueda relacionarse matemáticamente en función de otra u otras.

La regresión multivariable maneja diversas, independientes y cuenta con varios parámetros. Se expresan de la siguiente forma:

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_i X_{ip} + \varepsilon_i$$

Donde ξ_i es el error asociado a la medición i del valor X_{ip} y siguen los supuestos de modo que $\xi_i \sim N(0, \sigma^2)$ (media cero, varianza constante e igual a un σ y $\xi_i \perp \xi_j$ con $i \neq j$).

Este análisis permite la combinación de hasta cinco datos de entrada secundarias diferentes para crear una propiedad de tendencia única. Esta combinación lineal respeta la correlación entre todas las propiedades, lo que permite

dar el peso correcto a cada una de ellas al generar una propiedad de tendencia única (variable). Por ejemplo, el registro de porosidad y una o más variables independientes (por ejemplo mapas o atributos), permitiendo que esta variabilidad se planee, se controle y se le dé el peso según la propiedad, correlación y el grado de certidumbre de nuestras tendencias generadas, **Figura 3**.

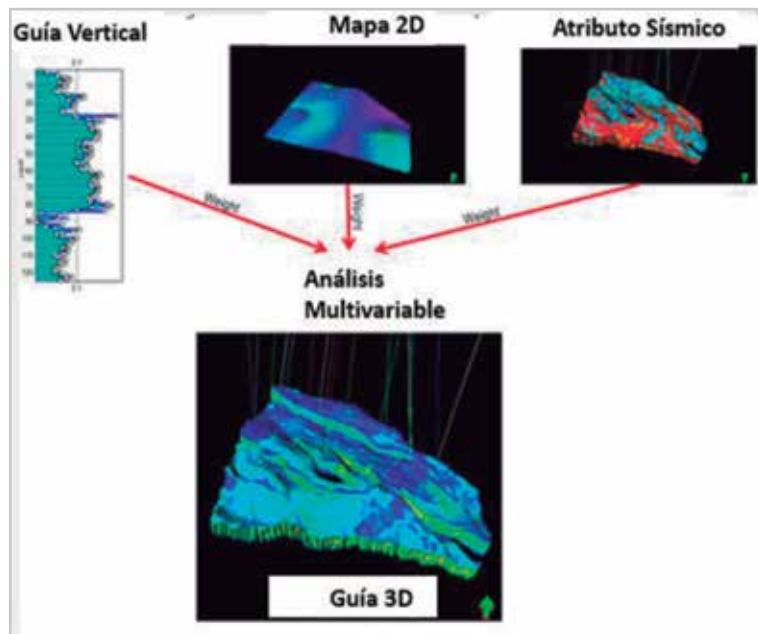


Figura 3. Análisis multivariable, en donde se combinan datos de pozo, mapas y atributos sísmicos, dando peso a cada uno, obteniendo una propiedad única de tendencia.

En este trabajo se realizó el análisis multivariable con los siguientes datos de entrada, un mapa 2D creado a partir de la estimación de las tendencias a nivel de pozo y mapeadas al horizonte de interés; un geométrico 3D, en el cual se asocia la influencia de la compactación, el atributo de Antracking y la inversión genética, **Figura 4.**

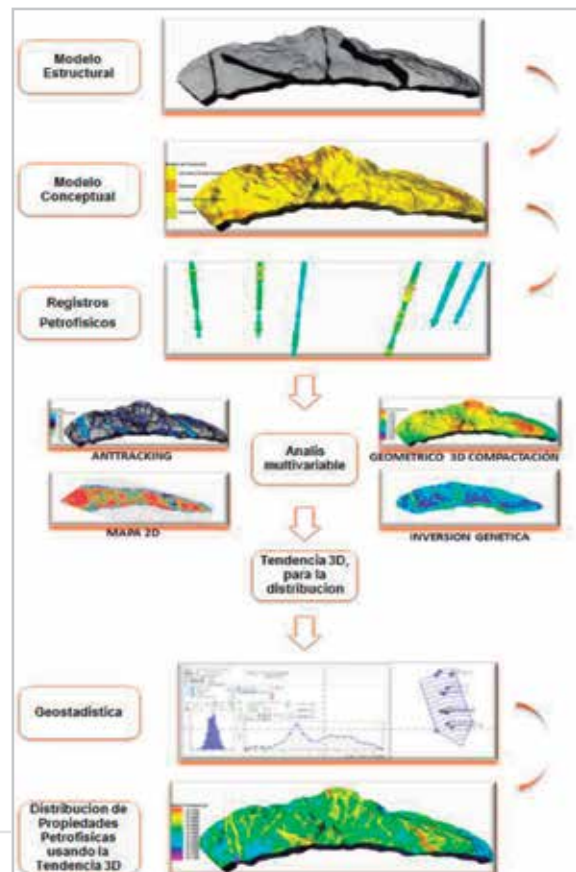


Figura 4. Flujo de trabajo multivariable para la población del modelo.

La propiedad que más peso se le dio fue al atributo de Antracking debido a que teníamos registros de imágenes y

núcleos que nos permitieron validar el resultado del mismo, además de asociarlo al marco tectónico del área, **Figura 5**.

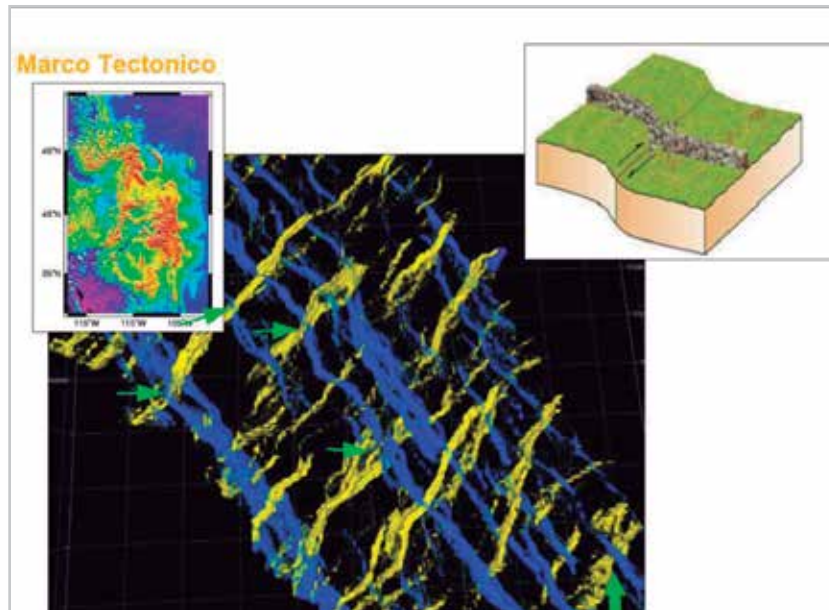


Figura 5. Visualización del atributo antracking asociado al conocimiento tectónico del área.

Discusión de resultados

Con esta nueva metodología se obtiene un solo modelo geológico más robusto, dando peso a los datos con mayor certidumbre y que aportan más sentido a la interpretación por medio del análisis multivariable, involucrando todos los datos disponibles.

Cuando se utiliza la metodología convencional se depende mucho del análisis geoestadístico que puede ser afectado por el número y cantidad de muestras consideradas, al tener adicionalmente una tendencia 3D construida por el análisis multivariable, se respeta en la población de propiedades la geoestadística proveniente de los datos de pozos, sino que se incorpora el conocimiento que se tiene del área

proveniente de los datos sísmicos, marco estructural y el modelo geológico del área asignándole un peso a cada uno de ellos conforme a la confianza.

Se pueden observar diferencias en la población al usar la metodología tradicional y la que incorpora el conocimiento del área, **Figura 6**, esto es debido a la limitación de la tendencia considerando sólo una variable en el método tradicional, mientras que usando la metodología aquí propuesta la tendencia es 3D considerando más de una variable de conocimiento, lo que hace que no se castiguen zonas de potencial en los yacimientos debido a la falta de integración de otras variables que aportan conocimiento en la población de las propiedades petrofísicas.

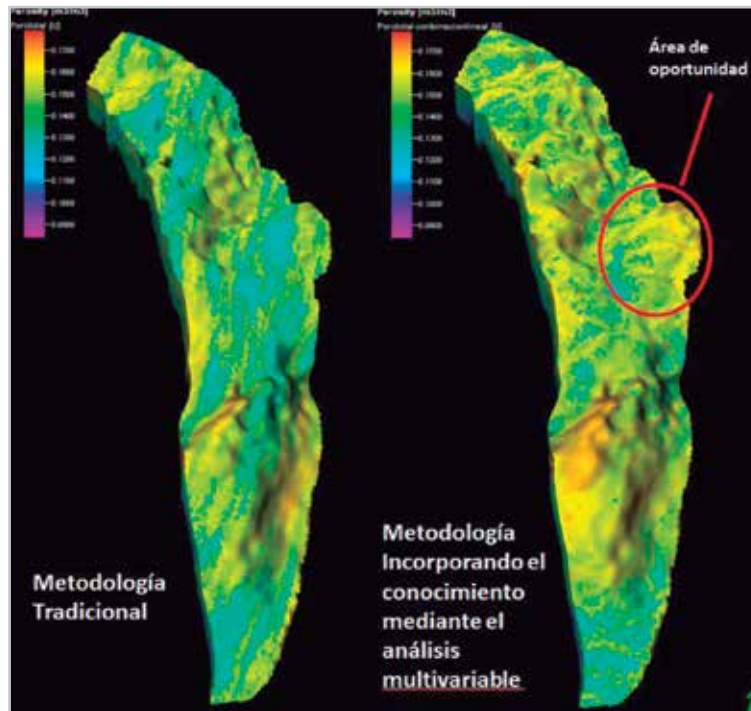


Figura 6. Comparación entre las metodologías.

Conclusiones

1. La distribución de propiedades, a partir de guías basadas exclusivamente en los atributos sísmicos, puede generar falsas expectativas, mientras que la aplicación del análisis multivariable reduce la incertidumbre y permite contar con un rango de distribución de datos petrofísicos y definir el caso base más probable, entre más información se incluya en la guía más sentido tendrá.
2. El flujo de trabajo establecido generación del modelo geológico integral, reduce la incertidumbre para el cálculo volumétrico de reservas.
3. Los valores promedio en las propiedades petrofísicas de los registros son un control de calidad importante que es representado en la distribución 3D.
4. Este flujo de trabajo se complementa con un modelo de incertidumbre.
5. Se ha aplicado esta metodología en yacimientos en el sur y este de México.

Agradecimientos

Agradecemos a Yuriri Rodríguez su enorme contribución técnica.

Referencias

- Beucher, H., Renard, D., Doligez, B., et al. 2008. The Effect of Methodology on Volumetric Uncertainty Estimation in Static Reservoir Models. *AAPG Bulletin* **92** (10): 1359-1371. <http://dx.doi.org/10.1306/06040808069>.
- Catena, A., Ramos M.M. y Trujillo, H.M. 2003; *Análisis Multivariado: Un Manual para Investigadores*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Deutsch, C.V. 2002. *Geostatistical Reservoir Modeling*, first edition. New York: Oxford University Press.
- Isaaks, E.H. y Srivastava, R.M., 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press.
- Petrel Help 2012, Trend Modeling. Schlumberger.

Semblanza de los autores

Ing. Hugo Saucedo Reyes

Ingeniero Geofísico egresado del Instituto Politécnico Nacional.

Ingeniero Geofísico con manejo de los módulos de geología y geofísica de la plataforma Petrel y conocimiento avanzado de la generación de modelos estáticos con experiencia en procesamiento de datos sísmicos.

Experiencia laboral

Schlumberger, Consultor geofísico; Paradigm, Procesado sísmico y procesos especiales; Corelab, Procesado de datos sísmicos marino y terrestre 2D y 3D; Instituto Mexicano del Petróleo, Correlación de registros; Pemex Exploración y Producción, Brigada de exploración sismológica.

Ing. Moisés Huicochea Campos

Ingeniero Geofísico egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Cuenta con más de 10 años de experiencia en la Industria Petrolera, dedicado a la exploración durante los últimos cinco años, especializado en modelos geofísicos de campos exploratorios.

Actualmente está encargado de la parte de consultoría técnica, (Technical Sales Advisor), para el área de geología y geofísica en la división de software de Schlumberger (SIS) para la Región Este de Venezuela.

He participado en proyectos, carga de información de geociencias para proyectos petroleros, capacitación de aplicaciones de geociencias, visualización de sísmica 3D, interpretación de atributos sísmicos para la extracción de rasgos estratigráficos, modelado de velocidades, modelado estático 3D y seguimiento a pozos para mitigación del riesgo geológico usando el software de geología y geofísica de la compañía Schlumberger.