

Sesión regular

# **MODELACIÓN DE SISTEMAS GEOFÍSICOS**

Organizadores:

Guillermo Hernández  
Eric Morales Casique  
José Tuxpan Vargas

MSG-1 CARTEL

**DESCOMPOSICIÓN DE DOMINIO Y  
CÓMPUTO EN PARALELO APLICADOS  
A UN PROBLEMA DE FLUJO BIFÁSICO**

Vera Norberto  
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
nrbrtvr@gmail.com

En este trabajo se presentan los primeros resultados numéricos de un modelo de flujo bifásico en medios porosos, utilizando un método de descomposición de dominio, modelos macrohíbridos mixtos, cómputo en paralelo con MPI y una geometría general tridimensional. Para la construcción del modelo físico bifásico, se utilizan las ecuaciones de balance global de masa y la ecuación constitutiva de Darcy para cada fase. La formulación del modelo matemático se plantea por medio de dos modelos mixtos acoplados (velocidad total-presión global) y (flujo de saturación-saturación), considerando un dominio general tridimensional cualquiera. En la macrohibridización del problema, descomponemos espacialmente el dominio original en subdominios y obtenemos un problema equivalente de E subproblemas en E subdominios, con condiciones de transmisión en los campos velocidad total, presión global, flujo de saturación y saturación, en las interfaces entre subdominios, obteniendo así un modelo macrohíbrido mixto (MHM). El modelo (MHM) es formulado variacionalmente para incorporar condiciones de frontera, condiciones de transmisión y se incorporan condiciones iniciales. Para obtener una solución numérica aproximada del modelo (MHM), replanteamos el modelo macrohíbrido utilizando elemento finito mixto, con lo que se obtiene un conjunto de E sistemas acoplados a resolver de manera simultánea. Para resolver el conjunto de E sistemas acoplados, se desarrolló un programa en Fortran con MPI, con el propósito de aprovechar el cómputo en paralelo y obtener los campos de modelo. Los resultados que se muestran, corresponden a una evolución espacio-temporal de los campos del modelo: velocidad, presión y saturación para cada fase, en una geometría tridimensional.

MSG-2 CARTEL

**COMPARISON BETWEEN OBSERVED AND  
SIMULATED LATENT HEAT FLUXES FROM  
EDDY COVARIANCE METHOD AND A FULLY  
DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODEL IN SEMIARID  
ECOSYSTEMS LOCATED IN NORTHWEST MEXICO**

Vizueté Jaramillo Efrain E., Robles-Morua Agustín, Méndez-Barroso Luis Arturo, Sánchez Mejía Zulia y Yépez González Enríco  
Instituto Tecnológico de Sonora  
efra.vzt@gmail.com

Hydrologic models are used to understand the interactions of the different components of the hydrologic cycle. Despite their common application in determining different hydrological variables at different spatial and temporal scales, the calibration and validation of hydrological models depends on the availability of ground observations. Fully distributed hydrological models typically require a higher number of forcing's and parameters, which in many regions are not available. This makes their application a challenge given that hydrological processes nowadays require a more detail exploration of the components. This is particularly true of semiarid monsoon systems that have high sensitivity to rainfall during short periods of time. In this work, we test if tRIBS is able to follow the seasonal dynamics in hydrological conditions based as response to the onset of the North American Monsoon or precipitation pulses. The Tin-based Real Time Integrated Basin Simulator (tRIBS) was used with forcing's and parameters determined on-site using an eddy covariance tower (EC) in the Cuchujaqui River in northwest Mexico. Numerical experiments using tRIBS included exploring plot (~200m<sup>2</sup>) and basin (~0.30 km<sup>2</sup>) scales and forcing's from the North American Land Data Assimilation System (NLDAS) for a much longer time period than the available ground observations in 2015. The Cuchujaqui basin is characterized by a semiarid climate. This region receives up to 70% of the annual rainfall generated during the summer monsoon season in the months of July, August, and September. Soil types are characterized by a lithic leptosol, feozem haplic. The main type of vegetation in the study site is represented by deciduous forest. Inputs for tRIBS included soil and vegetation maps and a 15 meter DEM obtained from INEGI. Results of the latent heat flux comparison between the EC and tRIBS indicate a high correlation and very good response to rainfall pulses. Our results indicate that the calibration of tRIBS using latent heat flux is a viable option to estimate other hydrological variables. However, there is a need to measure streamflow or soil moisture and compare more than one variable in the calibration process because of the non-linear relationship of rainfall-runoff generation processes in semiarid regions. This research is of interest to hydrologists and water managers, since it sets up a breaking point to future exploration of modeling different hydrological processes on a larger scale.

MSG-3 CARTEL

**MODELACIÓN COMPUTACIONAL DE LA LEY DE DARCY**

Rubio Arellano Ana Beatriz, Vázquez Báez Víctor Manuel, Alcántara Méndez Xavier Kevin, Saldaña Arenas Juan José, Rodríguez López Laura Judith y Gómez Flores Octavio  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, FI-BUAP  
ana.rubio@alumno.buap.mx

Se presenta un modelo numérico simple de un sistema geofísico que involucra la dinámica de aguas subterráneas. Se desarrolla una rutina computacional que resuelva la ecuación de Poisson, misma que describe dicho sistema. Nos basamos en un modelo en diferencias finitas de la Ley de Darcy para flujo estacionario utilizando el método de Gauss-Seidel [1], se extiende dicho modelo para resolver tanto el problema directo como el problema inverso de la fuente en el caso de la presencia de un pozo de extracción [2]. Dichos resultados se calculan en una malla rectangular utilizando condiciones de simetría para optimizar el cálculo, implementamos el código computacional en Matlab. Se presentan dos casos de acuíferos bidimensionales: el caso con condición de frontera dado por un nivel freático con pendiente lineal y, a partir de éste, el caso con pendiente perturbada para modelar irregularidades en el terreno, ambos en ausencia de fuentes o pozos. De igual forma se presentan resultados para el modelo con razón de recarga constante alrededor de un pozo de extracción. Damos comentarios respecto a dificultades y retos de cómputo en la implementación de las técnicas numéricas de resolución de ecuaciones diferenciales parciales. En ambos casos se prueba la validez y consistencia de nuestros resultados mediante su comparación con los obtenidos a partir de los mismos métodos de resolución implementados en Wolfram Mathematica. [1] H. F. Wang and M. P. Anderson. Introduction to Groundwater Modeling. Academic Press. 1995. [2] J. Bear and A. H. D. Cheng. Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport. Springer. 2010. [3] M. Bakker, K. Maas, F. Schaars and J. R. von Asmuth, Analytic modeling of groundwater dynamics with an approximate impulse response function for areal recharge, Advances in Water Resources 30 (2007) 493–504. [4] M. Bakker, Simulating groundwater flow to surface water features with leaky beds using analytic elements, Advances in Water Resources 30 (2007) 399–407.

MSG-4 CARTEL

**PROSPECCIÓN NUMÉRICA DE LA  
DENSIDAD Y COMPOSICIÓN DE LA TIERRA**

Gómez Flores Octavio, Vázquez Báez Víctor Manuel, Rodríguez López Laura Judith, Rubio Arellano Ana Beatriz, Alcántara Méndez Xavier Kevin y Saldaña Arenas Juan José  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, FI-BUAP  
octavio.gomez@alumno.buap.mx

Las prospecciones de campo son las herramientas más útiles para los geofísicos, sin embargo; únicamente abarcan estudios locales o regionales, raramente estos estudios llegan a abarcar grandes extensiones territoriales, lo cual genera incertidumbre en el profesional. Actualmente, se ha desarrollado un área de estudio conocida como Prospección Numérica [1], la cual se encarga de caracterizar de una manera global las características físicas de los materiales que componen la Tierra. La prospección numérica de la densidad y composición de la Tierra permite conocer de manera global como están distribuidos los materiales en el interior de la Tierra y correlacionarlos con los datos que se han obtenido por medio de otras simulaciones y mediciones indirectas [2]. En el presente trabajo presentamos un modelo matemático que describe el comportamiento de las densidades en el interior de la Tierra a partir de los datos obtenidos por medio de métodos sísmicos, se considera un modelo de n-capas esféricas para la Tierra y se toman en cuenta las discontinuidades que se han detectado en la función de densidad, se lleva a cabo una integración numérica para encontrar las masa y momento de inercia de nuestro planeta [3]. Los resultados se comparan con los existentes en la literatura. [1] J. Milsom, Field Geophysics, 3rd edition, Wiley Editorial, U.K 2005. [2] S. Stein and M. Wyession, An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure, Blackwell Publishing, U.K 2003. [3] S. C. Chapra , Applied Numerical Methods with MATLAB for Engineers and Scientist; 3rd edition, McGraw-Hill, United States. 2012.

MSG-5 CARTEL

**SIMULACIÓN NUMÉRICA BIDIMENSIONAL  
DE UN YACIMIENTO DE GAS**

Ferrer Durá Diego, Aguilar Madera Carlos Gilberto y Soto Villalobos Roberto  
Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL  
diegoferrer\_19@hotmail.com

En este trabajo se presenta la simulación numérica bidimensional de un yacimiento de gas. Se plantea el modelo matemático con ecuaciones de flujo en dos dimensiones incluyendo pozos inyectores y productores. El modelo se deriva de ecuaciones discretizadas válidas en volúmenes de control (bloques) que se encuentran en comunicación con bloques vecinos. El conjunto de ecuaciones conforman un sistema de ecuaciones algebraicas lineales que pueden resolverse con técnicas numéricas. En este trabajo se presenta la simulación de un yacimiento de gas bidimensional volumétrico con propiedades termodinámicas variables. Se presenta la evolución de los perfiles de presión en el yacimiento y se presenta un análisis numérico de la solución.

## MSG-6 CARTEL

### APROXIMACIÓN DE ECUACIONES INTEGRALES CON MÉTODOS NUMÉRICOS

González Bautista Mario Roberto y Soto Villalobos Roberto  
*Facultad de Ciencias de la Tierra, FCT*  
 mario.gonzalezbts@uanl.edu.mx

Las Ecuación integral es una ecuación en que la función incógnita aparece dentro de una integral. Existe una conexión estrecha entre las ecuaciones integrales y las ecuaciones diferenciales, y de hecho algunos problemas pueden formularse como ecuación diferencial o equivalentemente como ecuación integral. Este es un tema relacionado con Ecuaciones Diferenciales como se mencionó anterior mente, (donde una ED es una ecuación que involucra derivadas o diferenciales de una función desconocida de una o más variables), se tratará de resolver una ecuación de primero tipo como la Ecuación Fredholm siendo caracterizada precisamente por de tener funciones conocida y solo una integral definida, estos se puede expresar una función con los datos observados igualados a las funciones dependientes de 2 variables dentro de una integral definida, es decir, que los límites de integración son constantes [a,b], algunas se pueden presentar como ecuaciones diferenciales. Existen caso de Integrales que pueden ser complicados para resolverse analíticamente, en este trabajo se tratara de realizar una aproximación numérica que facilitara su resolución analítica o interpretación en este caso de métodos numéricos, utilizando el lenguaje R- Studio, sustituyendo la integral por medio de sumatorias y generando un mayado se tratara de encontrar los valores del  $m(x)$  que se encuentra dentro de la integral. Estos pueden ser aplicado en el área de la ingeniería petrolera para la recuperación mejorada de datos y al igual en el área de la geo ciencias.

## MSG-7 CARTEL

### GEOFÍSICA DE EXPLORACIÓN: UN ENFOQUE RIEMANNIANO

Hernández Gómez Jorge Javier<sup>1</sup>, Ortiz Alemán José Carlos<sup>1</sup> y Hanotel Pinzón Christian Louis<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Instituto Mexicano del Petróleo, IMP  
<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM  
 jorge\_hdz@ciencias.unam.mx

Es de gran interés en la geofísica de exploración el poder determinar la profundidad en la cual hay una interfaz entre diferentes estratos geológicos. Si las profundidades involucradas son de dimensiones mucho mayores a lo longitud de onda de las ondas sísmicas con las cuales se lleva a cabo la exploración, entonces es bien sabido que se puede utilizar la aproximación de rayos de la teoría ondulatoria. De esta manera, cuando los rayos viajan por un medio inhomogéneo, siguen trayectorias curvas, mismas que es imperativo conocer para determinar la profundidad en la cual la interfaz entre estratos genera una onda reflejada que será recibida en la superficie. En este trabajo se presenta un algoritmo sencillo para el cálculo de la trayectoria de un haz sísmico a través de un estrato inhomogéneo. Para ello, se propone la construcción de una métrica pseudo-riemanniana a partir de la función de densidad del estrato geológico. De esta manera, se invierte el problema pues en vez de encontrar la trayectoria curva del haz sísmico en un fondo con una métrica euclidiana, se propone que el haz sigue una geodésica de un espacio-tiempo curvo específico para cada estrato, haciéndose un proceso simple y automático mediante el aparataje de la geometría diferencial. Este es un trabajo en proceso, que permite además estudiar la trayectoria de haces sísmicos en estratos con una densidad dependiente del tiempo.

## MSG-8 CARTEL

### PROGRAMACIÓN EVOLUTIVA APLICADA A LA INVERSIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Merlo Mejía Jorge Luis, Méndez Delgado Sóstenes y Soto Villalobos Roberto  
*Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL*  
 jorgemerlo24@gmail.com

Existen problemas de gran complejidad que no tienen una solución analítica posible, tal es el caso de algunos problemas inversos en la geofísica, cuyo principal objetivo es el de encontrar la mejor estimación de parámetros al minimizar la diferencia entre los resultados predichos y las observaciones, considerando los límites conocidos. Cuando se abordan este tipo de problemas cuyo espacio de soluciones se nos facilita conocer, nuestra búsqueda se puede plantear como un problema de optimización que con ciertas restricciones dadas pueden encontrar una solución aproximada al mismo. En el presente trabajo se calculan los espesores y resistividades del subsuelo al resolver el problema de inversión de Sondeos Eléctricos Verticales, cuyas variables aumentan proporcionalmente al número de capas, todo esto mediante una heurística inspirada en la teoría de la evolución de las especies y la selección natural, llamada Programación Evolutiva. La metodología consiste en escoger, de manera aleatoria, un conjunto de parámetros que conformarán las características de cada individuo de la población, las cuales serán mutadas y evaluadas en una función objetivo para posteriormente seleccionar a los individuos más aptos (error mínimo) que formarán parte de la siguiente generación; todo esto con la finalidad de encontrar la mejor aproximación a los parámetros propuestos.

## MSG-9 CARTEL

### DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS GEOMETRICOS DE DIQUES A PARTIR DE MODELADO DE DATOS MAGNÉTICOS

Reyna Flores Erik Alexis, Garza Rocha Daniel y Romero de la Cruz Oscar Mario  
*Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, UANL*  
 alexis\_rf@hotmail.com

Una adquisición de datos magnéticos se realizó en el Ejido de Guadalupe San Lázaro, Municipio de Tamaulipas. Cerca del complejo ígneo de la Sierra de San Carlos, donde se tienen afloramientos de diques que cortan la secuencia sedimentaria del Cretácico Superior en el noreste de México. Características generales del afloramiento de los diques se pueden reconocer en superficie con grosores de aproximadamente dos metros con un rumbo este-oeste y de composición diorítica, siendo muy resistente a la erosión, ya que aflora en el cauce de un arroyo. Los datos adquiridos en forma perpendicular a las estructuras, sirven para realizar un modelo directo de la forma del dique utilizando una metodología clásica para estructuras geológicas simples El objetivo de este estudio es obtener los parámetros de la estructura simple, que mejor se ajusten a los datos observados con la utilización de los parámetros geométricos observados en campo. Resultados preliminares indican diferentes respuestas que afectan el ajuste siendo principalmente el contraste de susceptibilidad del modelo.

## MSG-10 CARTEL

### MÉTODO DEL ESPACIO VECTORIAL DERIVADO APLICADO A UN SIMULADOR DE FLUJO SUBTERRÁNEO

Hernández García Guillermo de Jesús  
*Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM*  
 ghdez@geofisica.unam.mx

Con eficiencia de rendimiento en torno a valores de 90%, en la actualidad los algoritmos del Espacio Vectorial Derivado, DVS por sus siglas en inglés, están en el tope de la aplicación de software de Métodos de Descomposición de Dominios, DDM, altamente paralelizado a la solución de ecuaciones diferenciales parciales, PDE, o sistemas de tales ecuaciones [1] - [2]. Por otra parte, debido a sus bases axiomáticas, los algoritmos DVS poseen un rango de aplicabilidad de una amplitud excepcional. Para hacer efectiva una gama de aplicabilidad, el software DVS se ha organizado de la siguiente manera: se ha desarrollado un código central de aplicabilidad general, sobre la base de secuencias optimizadas que utilizan los algoritmos DVS; a continuación, en aplicaciones específicas, este código está precedido por interfaces, que son casos específicos. A modo de ejemplo del procedimiento, presentamos su aplicación a un software bien conocido y ampliamente utilizado [3]. Se trata de un simulador de flujo de agua subterránea usando el método de diferencias finitas; que fue desarrollado por el Servicio Geológico de EE.UU., que ha sido ampliamente utilizado durante décadas, que cuando se aplica para resolver problemas de gran escala el tiempo de cálculo puede ser excesivo. Para tales aplicaciones, en los últimos años, se ha paralelizado por algunos autores utilizando diferentes estrategias. Sin embargo, dado que en la actualidad DVS es un procedimiento eficaz para la resolución de sistemas elípticos en paralelo, esta presentación es probable que sea relevante para la mejora de la paralelización del código. Palabras clave: DVS, PDE, DDM, MODFLOW Referencias: [1] Herrera, I., de la Cruz L.M. and Rosas-Medina A. (2014) Non Overlapping Discretization Methods for Partial, Differential Equations. Numer Meth Part D E, 30: pp.1427-1454, DOI 10.1002/num.21852. (Open source) <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/num.21852/pdf>. [2] Herrera, I., and Contreras Ivan (2016) An Innovative Tool for Effectively Applying Highly Parallelized Software To Problems of Elasticity. Geofísica Internacional, 55(1),363-386. [3] Harbaugh, A.W., E.R. Banta, M.C. Hill, and M.G. McDonald. (2000). MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model—User guide to modularization concepts and the Ground-Water Flow Process. U.S. Geological Survey Open-File Report 00-92. Reston, Virginia: USGS.