

Sesión Especial

# **Modelado de procesos terrestres**

Organizadores:  
Juan Contreras  
Gustavo Tolson

SE02-1

**A SIMPLE MODEL FOR LOW AMPLITUDE DETACHMENT FOLDING AND SYNTECTONIC STRATIGRAPHY BASED ON THE BALANCE OF MASS EQUATION**

Contreras Pérez Juan

*División de Ciencias de la Tierra, CICESE*

juanc@cicese.mx

This paper presents a model for the structural and stratigraphic evolution of detachment folds using continuum mechanics principles. The model assumes that the vertical flux at the core of this class of folds follows a simple cosine function whereas the horizontal flux due to tectonic transport remains constant with depth. Those boundary conditions are used to derive analytical expressions for the velocity field inside the folded rocks that satisfy the continuity (conservation of mass) equation of fluid dynamics. It is shown that trajectories of material particles in the model describe hyperbolae, and that the wavelength of folded layers at different structural levels remains constant. Also is shown that fold amplitude increases in proportion to the height of the structural level with respect to the basal detachment.

The syntectonic stratigraphy is obtained by means of the transport-diffusion equation, which also obeys the principle of mass conservation. Exact expressions for the change in elevation show that initially the topography grows following an exponential decay curve asymptotic to a steady state whose amplitude is controlled by the square of the wavelength, the diffusion (erosion) constant, and the rate of tectonic uplift. The topography reaches steady state after a characteristic time, given by the square of the wavelength of the fold divided by the diffusion constant, has been elapsed. Synthetic stratigraphy exhibits the typical thinning and truncation of timelines toward the core of the anticline often observed in reflection seismic lines. The model is in excellent agreement with low-amplitude detachment folds observed in fold-and-thrust belts and in analog experiments.

SE02-2

**MODELADO ANALOGICO DE LA SALIENTE DE MONTERREY**

Portillo Pineda Rodrigo y Cerca Mariano

*Centro de Geociencias, UNAM*

rportillo@geociencias.unam.mx

En cualquier sistema estratificado que involucre deformaciones con despegue, entender la cinemática y dinámica de estos procesos resulta una tarea no muy sencilla, ya que la reología que presenta cada litología en la mayoría de los casos heterogénea genera un abanico compuesto de diferentes variables dependientes tales como la densidad, fricción interna, presión de poro para el caso de rocas con comportamiento quebradizo; viscosidad, espesor y tasa de deformación para capas con comportamientos dúctiles.

Cabe resaltar que en cualquier sistema mecánicamente estratificado el desacoplamiento mecánico es disparado por el aumento de energía potencial cuando aumenta el espesor principalmente de la capa viscosa. La viscosidad efectiva que constituye a cualquier capa dúctil de despegue (relacionada con la historia geológica como el tipo de depósito que forme capas de sal, yeso o anhidrita) determina las condiciones de flujo y la

interacción con capas y estructuras quebradizas con las que se encuentre interactuando.

También los contrastes de resistencia que hay en un perfil mecánicamente estratificado son una indicación del potencial de despegue a lo largo de la interface bien diferenciada quebradizo-viscoso. En el caso de capas con alta viscosidad los contrastes de resistencia menores favorecen una interface acoplada generando pliegues de despegue y flujo preferentemente vertical. Mientras que por otra parte en capas con baja viscosidad los contrastes de resistencia mayores producen flujos preferentemente sub-horizontal favoreciendo su inyección en las estructuras con vergencia igual y/o opuesta a la dirección de acortamiento. Para ambos casos se manifiesta una transferencia o flujo de energía a través de la capa viscosa que genera deformación (despegues) en zonas alejas hacia el frente.

En el caso de los pliegues de despegue en la saliente de Monterrey donde los diferentes espesores de las capas viscosas y la diferente reología de estas (yeso y sal) controlan el arreglo estructural tal y como lo reflejan los modelos analógicos realizados.

De acuerdo a la geometría presentada en la saliente de Monterrey se considero tomar la escala de 1 cm en el modelo representa 10 km en el prototipo natural, de esta manera  $L^* = 1 \times 10^{-6}$ ;  $g^* = 1$ ; para medios quebradizos se utilizó arena homogénea de cuarzo con una densidad aparente de 1520-1600 kg/m<sup>3</sup>. Los valores de densidad en la naturaleza para la corteza superior se encuentran alrededor de 2650-2700 kg/m<sup>3</sup>, de tal manera que:  $esfuerzo^* = (0.573)(1)(1 \times 10^{-6}) = 5.73 \times 10^{-7}$ . Mientras que para representar comportamientos dúctiles se utilizó silicón SGM36 con una densidad de 965 kg/m<sup>3</sup>; una viscosidad efectiva de 20170 Pa\*s; deformado a una velocidad de 1.4cm/hr, sometido a una tasa de deformación de:  $6.5 \times 10^{-5} s^{-1}$ .

SE02-3

**UNDERGROUND LOSS OF MASS INDUCING FLOW: COMPARISON BETWEEN CONTRASTING PHYSICAL AND NUMERICAL EXPERIMENTS**

Carreón Freyre Dora Celia<sup>1</sup>, Cerca Mariano<sup>1</sup>,  
Barrientos Bernardino<sup>2</sup> y Ochoa Gil<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Geociencias, UNAM

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.

<sup>3</sup>Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM

freyre@geociencias.unam.mx

Water withdrawal from aquifer units generates an unstable stage of mechanic and hydraulic conditions of the granular sequences. We aim at relating the vertical deformation of the surface with specific flow conditions and specific volumes of lost material directly related to groundwater extraction in two contrasting settings of analogue sandbox and numerical experiments. The analogue experiment represents the loss of mass below a constant thickness sand layer in a sandbox. The sand is permitted to flow through two holes located at the box base producing two depleting cones that growth progressively until they interact and stabilize. Granular displacement occurs in the surface and the three-dimensional strain can be measured. Three different flow conditions are observed at the surface during sand depletion: linear surface flowing in quasi-static conditions (a transient initial slow flow), gravity controlled granular flow, and inertia controlled flow. The surface deformation field is obtained a combination of two full-field optical techniques, fringe projection

and speckle photography, in the analogue model. The numerical model that considered water flow produced by groundwater extraction in an elastic porous media reproduces theoretical approaches for non-linear consolidation, and was performed using a finite difference method. The resulting morphology of water depletion cones in the numerical model can be compared to the first stage of flow in the analogue model. Although there are important differences in initial and boundary conditions of both experiments, the comparison of the first order results allows establishing that consolidation of sediments can also be defined in terms of flow of granular materials associated to the diminution of pore pressure.

SE02-4

### PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE DESPRENDIMIENTOS MEDIANTE SIG. UN CASO DE APLICACIÓN REAL EN MÉXICO

Guzmán López Adair, Vera Sánchez Pedro, González Verde Oscar, Ruiz Hernández Marco Polo, Yáñez Vázquez Rodrigo, Valdez Flores Germán, Canales Rubiales Erasto y Balderas López Sergio

*Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN*

cox\_1985@hotmail.com

La variada morfología del terreno, contraste litológico, complejidad estructural y actividad tectónica hacen a nuestro País, altamente vulnerable a los procesos de remoción en masa de todo tipo. Pudiendo inclusive zonificarse en su totalidad. Los resultados obtenidos al aplicar la metodología que en este trabajo se propone, han probado ser muy precisos. Esto es debido en parte a la calidad de los datos utilizados. El caso de estudio requirió del uso de imágenes LIDAR y de satélite, así como de intenso trabajo de campo; la información documental y de imágenes fue proporcionada por el Servicio Geológico Mexicano, y el trabajo de campo se llevo a cabo por especialistas de la escuela de ciencias de la tierra del IPN. El procesamiento preliminar de los datos permitió identificar los sitios con problemas por desprendimientos de rocas, mismos que fueron corroborados en campo y estudiados en detalle, prestando especial atención a las discontinuidades estructurales, litología y geomorfología. Posteriormente se depuro y complementó el modelo inicialmente propuesto. La metodología es resultado del uso combinado de los sistemas de información geográfica y de las imágenes de satélite, para generar los mapas que se procesaron haciendo uso del álgebra de mapas en ArcGis 9.2. Inicialmente se elaboraron tantos mapas como factores se identificaron influyen en el proceso de desprendimientos de roca (volteos o vuelcos, deslizamientos de falla plana y cuña). Posteriormente se les asignó un valor con base en una matriz analítica para que pudieran ser evaluados, obteniendo como resultados mapas de susceptibilidad al fenómeno, vulnerabilidad y riesgo con gran detalle. El presente trabajo pretende mostrar las bondades de esta metodología y difundir su aplicación para ser probada en otras áreas, bajo las consideraciones específicas de cada región donde se decida aplicar. Dichas consideraciones como se mencionó anteriormente son una función de la litología (particularmente de las propiedades mecánicas de las rocas presentes), las discontinuidades y sus atributos, así como de la morfología del terreno principalmente.

SE02-5

### ACERCA DEL MÉTODO DE GAUSS-NEWTON REGULARIZADO PARA RESOLVER PROBLEMAS INVERSOS NO-LINEALES

Frez Cárdenas José

*Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE*

jofrez@cicese.mx

El método de Gauss-Newton estabilizado sirve para resolver un problema no-lineal, indeterminado y de mediana escala (es decir, para unos pocos cientos de incógnitas). La literatura no contiene un procedimiento para evaluar la solución en el caso mencionado, particularmente por la no-linealidad.

En este trabajo, aplico regularización como método de estabilización y obtengo expresiones aproximadas para calcular las matrices de resolución y de covariancias de la solución. Para ello y en un primer paso, una transformación algebraica simplifica el algoritmo iterativo de Bakushinskii (1992) y produce uno equivalente; como consecuencia de lo anterior, resultan expresiones para el cálculo aproximado de las mencionadas matrices. Estas expresiones dependen sólo de resultados de la última iteración, bajo la suposición de que el esquema iterativo converge a una solución válida y que, consecuentemente, la diferencia entre las soluciones de las dos últimas iteraciones es pequeña. Con dos ejemplos de aplicación (ambos, 1-D y con datos MT), se comprueba la equivalencia numérica entre el algoritmo original, el modificado y el utilizado previamente a Bakushinskii (1992). Además, se calcula y dibujan las funciones de resolución para elementos del vector incógnita, las que se comparan positivamente con resultados de Parker (1994). Siguiendo la receta de esta última referencia, las funciones de resolución también se obtienen con un procedimiento más directo en el que, primero, se mide el efecto, en los datos, de la perturbación al modelo preferido con una función delta discreta; en un segundo paso, invertimos dicho efecto con la aproximación lineal.

Las comparaciones numéricas indican que la formulación que se presenta entrega resultados correctos y estables. En un trabajo próximo, el método se aplicará a problemas bidimensionales.

SE02-6

### LOS MODELOS COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA

Tolson Gustavo

*Instituto de Geología, UNAM*

tolson@servidor.unam.mx

Quando los investigadores y profesores necesitamos tomar decisiones acerca del cómo y qué enseñar a nuestros alumnos en los niveles de licenciatura y posgrado, la tendencia actual se centra en los perfiles de conocimiento definidos por las instituciones educativas con aportaciones de los sectores que contratarán a los egresados. A juzgar por los planes de estudio de las instituciones de educación superior que ofrecen estudios en ciencias de la Tierra, los planes de estudio se desarrollan alrededor de contenidos temáticos con poca preocupación de los métodos de enseñanza y de la formación integral de los alumnos en términos cognoscitivos, afectivos y filosóficos.

Las ideas robustamente útiles son un aspecto importante a desarrollar en cualquier profesionista. Ejemplos de ideas robustamente útiles incluyen el método científico (Formular pregunta, elaborar protocolo, evaluar resultados, comunicar descubrimientos), el contexto histórico, el equilibrio (estático, dinámico y el desequilibrio), el concepto de escala, los umbrales (círculo de Mohr, cambio climático global), la taxonomía (biología, clasificación de rocas) y la elaboración de modelos.

Los modelos como herramientas didácticas y como herramientas para investigación se pueden concebir de distintas maneras: modelos conceptuales, modelos analógicos y modelos numéricos, cada uno con sus bondades y sus limitaciones.