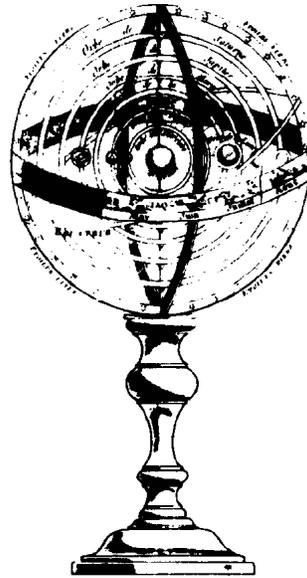


INNOVACIONES DIDÁCTICAS



GEOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA: EL PROGRAMA *SUPERPOSICIÓN* COMO RECURSO PARA SU ENSEÑANZA

VACAS PEÑA, JOSÉ MANUEL

Departamento de Didáctica de la Matemática y Didáctica de las Ciencias Experimentales
Facultad de Educación. Paseo de Canalejas, 169. 37008 Salamanca
E-mail: jmvp@gugu.usal.es

SUMMARY

The computer program *Superposición* has been developed in Pascal and compiled with Borland Delphi 2.0, to simulate the relationships between topography and geology. The program allows to create very simple geologies, formed by horizontal layers, or very complicated interference patterns, formed by three fold system, faults and a discordance. The interference patterns and their topographic expression are generated by using matrix methods.

Superposición permits its employ as a didactic resource for teaching. The program can be used to resolve field observations as a part of a research project subject to the validity of the simple shear deformation model.

INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo del programa se han seguido una serie de pasos (Vacas y Juanes, 1991) que parten desde la concepción del programa hasta la evaluación final de éste.

La adaptación del programa al ambiente de Windows 95-98 ha simplificado su utilización y ha permitido su uso como un recurso didáctico para la enseñanza.

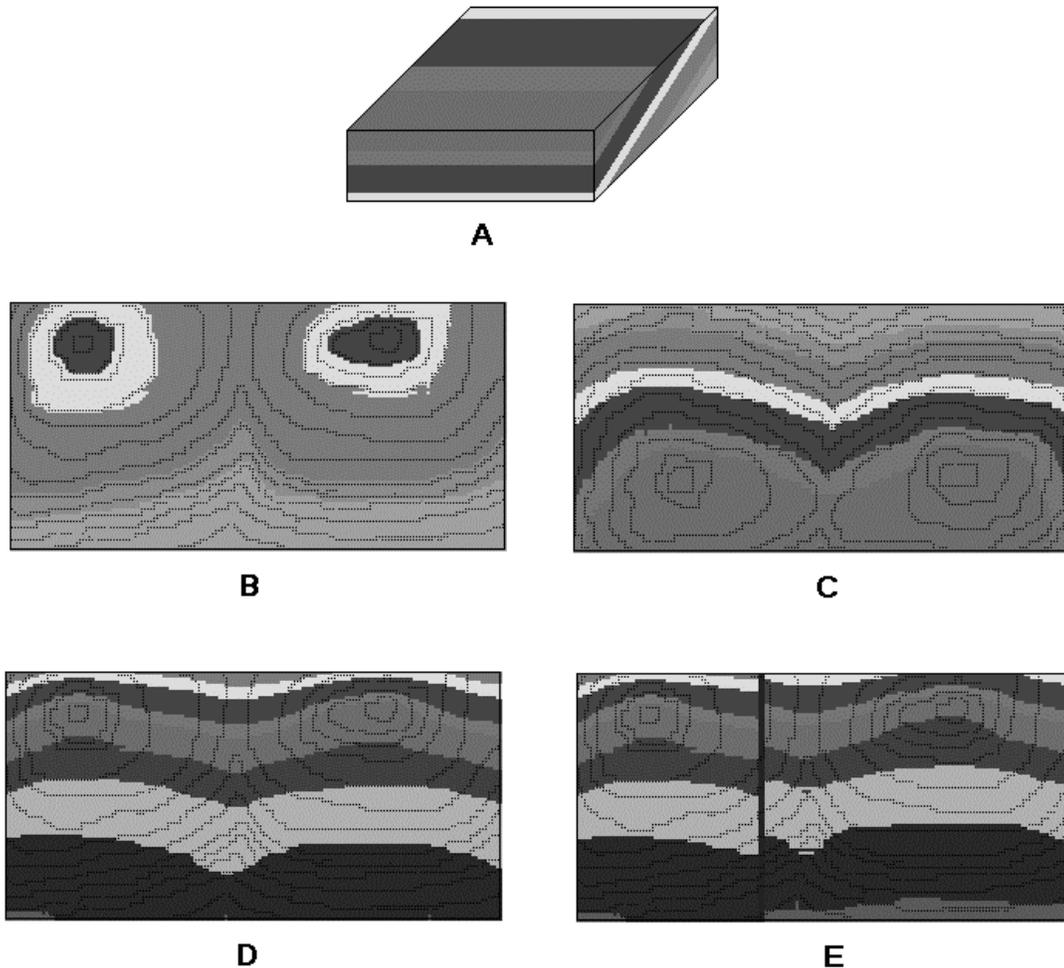
Superposición puede ser usado para enseñar, a los alumnos que se inician en el estudio de los mapas geológicos, las relaciones que pueden establecerse entre la geología

y la topografía. Si se supone que la superficie terrestre es un plano horizontal geoméricamente perfecto, la intersección de capas inclinadas con esta superficie da como resultado un modelo geológico muy simple. El modelo de afloramiento está limitado a líneas rectas paralelas a la dirección de las capas (Fig. 1A).

En relieves inclinados, el problema se complica. Las relaciones entre buzamiento de las capas y topografía cumplen una serie de reglas, llamadas conjuntamente Regla de la V (Figs. 1B, 1C, 1D y 1E). Según esta regla «el vértice del afloramiento en V apunta hacia la dirección en la cual la formación se mete bajo el río» (Screven, 1963).

Figura 1

En A se muestra un bloque diagrama en el que, al ser la topografía plana, el modelo de afloramiento está formado por líneas rectas paralelas a la dirección de las capas. En B la topografía es paralela a las curvas de nivel; el patrón de afloramiento es el de una V con el vértice aguas arriba, como el de las curvas de nivel. En C los estratos están inclinados aguas arriba; la V es bastante abierta pero con el vértice apuntando aguas arriba. En D las capas están inclinadas aguas abajo y, como el buzamiento es mayor que el gradiente del valle, la V apunta aguas abajo. En E tenemos el mismo caso pero afectado por una falla vertical. En este caso, la traza del afloramiento de la falla es recta y paralela a la dirección de la topografía.



Superposición puede ser utilizado también por los estudiantes de la licenciatura de geología, ya que aún se puede complicar el problema mucho más si, en lugar de utilizar capas horizontales o inclinadas, se usan capas plegadas o incluso capas en las que se han superpuesto dos o tres sistemas de pliegues. Los estudiantes pueden generar multitud de tramas de superposición de pliegue y así aprender en el ordenador a reconocer los modelos de superposición que ocurren en la naturaleza.

La superposición de pliegues puede producir formas tridimensionales extremadamente complejas y la intersección de éstas con la topografía puede producir modelos que son difíciles de interpretar. Estas estructuras se han analizado en el campo, en modelos analógicos usando materiales deformables y en modelos matemáticos. Entre los trabajos que pueden considerarse pioneros en pliegues superpuestos está el de Holmes y Reynolds (1954); en los años sesenta y setenta tenemos los de O'Driscoll (1962), Freedman y otros (1964), Ramsay (1967), Brown (1967), Ghosh y Ramberg (1968) y Ghosh (1970); en los ochenta y noventa, Thiessen y Means (1980), Watkinson (1981), Thiessen (1986), Ghosh y otros (1992, 1993), Grujic (1993) y Jessell y Valenta (1996).

Como Ramsay (1967), pensamos que la interferencia de pliegues puede tratarse como la perturbación de una

superficie inicialmente plana. La manera más fácil de modelar la superposición de pliegues es emplear el cizallamiento simple. El cizallamiento simple no es el único modelo de plegamiento que puede producir superposición de pliegues; pero Ramsay y Huber (1987) sugieren que es un modelo geológicamente realista, como lo evidencia la abundancia de pliegues similares en la naturaleza. Nosotros usamos pliegues similares porque el cizallamiento simple puede ser simulado con mucha facilidad manipulando matrices tridimensionales. Otros modos de plegamiento como el *buckling* requieren modelos numéricos extremadamente complejos y no añaden ventajas significativas al propuesto para estudiar las interferencias o simplemente formar una base geológica.

Esta forma de generar interferencias a través del cizallamiento simple permitió a Ramsay y Huber (1987) establecer cuatro tipos básicos de interferencias y que el programa puede simular:

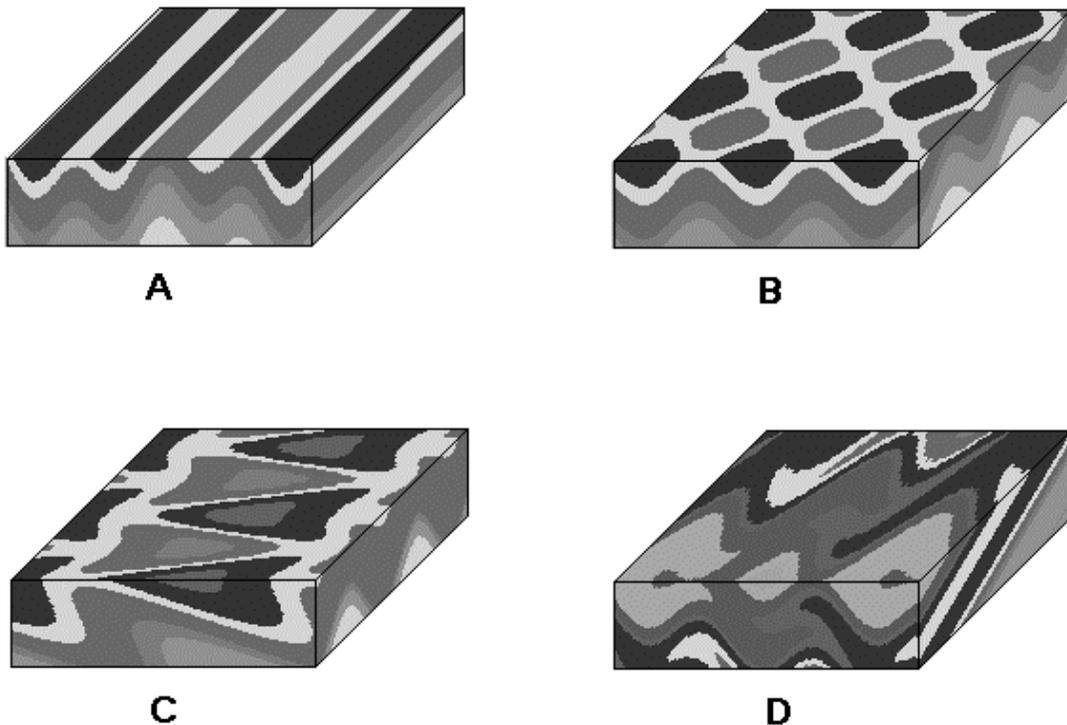
Tipo 0. Superposición redundante (Fig. 2A).

Tipo 1. Modelo domos y cubetas (Fig. 2B).

Tipo 2. Modelo domo-creciente-hongo (Fig. 2C).

Tipo 3. Modelo convergente-divergente (Fig. 2D).

Figura 2
Representación de los cuatro tipos de superposición de Ramsay y Huber (1987): en A, el tipo 0; en B, el tipo 1; en C, el tipo 2; en D, el tipo 3.



Otras estructuras que pueden añadirse a la base geológica son fallas: normal, inversa y vertical (Fig. 3A). También puede añadirse al modelo una discordancia (Fig. 3B).

Además, *Superposición* puede usarse para interpretar observaciones de campo siempre que el modelo de deformación por cizalla simple sea válido.

La fundamentación matemática de *Superposición* y su programación en Pascal se halla extensamente desarrollada en Vacas (2000).

Estructura y uso del programa

El menú principal se ha organizado en seis opciones: datos, interferencia, topografía, intersección en 2D, intersección en 3D y cortes geológicos (Fig. 4A). Cada una de éstas opciones se divide en otras que describimos a continuación.

Datos

- *Primer sistema.* Permite introducir en el programa los parámetros básicos del primer sistema de pliegues que puede superponerse: amplitud, longitud de onda, buzamiento del plano axial del pliegue y buzamiento del eje.
- *Segundo sistema.* Permite introducir en el programa los parámetros básicos del segundo sistema de pliegues: longitud de onda, amplitud y ángulo de interferencia.
- *Tercer sistema.* Permite introducir en el programa los parámetros básicos del tercer sistema: longitud de onda, amplitud y ángulo de interferencia.
- *Estructuras.* Con esta opción se selecciona la presencia de fallas: normal, inversa y vertical. También se puede añadir una discordancia.
- *Colores.* Cambia los colores de las capas.

- *Interferencia de pliegues en 3D.* Muestra información sobre el programa, autor y dirección electrónica.

- *Terminar.* Permite salir del programa.

Interferencia

- *Superponer segundo sistema.* Genera una interferencia con los dos primeros sistemas de pliegues.
- *Superponer tercer sistema.* Genera una interferencia con los tres sistemas de pliegues.
- *Planos interiores primer sistema.* Permite estudiar todos los planos interiores, XY, YZ y XZ, del primer sistema.
- *Planos interiores primer y segundo sistema.* Permite estudiar todos los planos interiores, XY, YZ y XZ, formados por la superposición del primer y segundo sistema de pliegues (Fig. 4B).
- *Planos interiores de los tres sistemas.* Permite estudiar todos los planos interiores, XY, YZ y XZ, formados por la superposición de los tres sistemas de pliegues.

Topografía

- *Crear topografía.* Permite al usuario construir una determinada topografía. Para ello se dispone de un programa de dibujo con el que se pueden trazar las curvas de nivel (Fig. 5).
- *Guardar topografía.* Permite al usuario salvar una determinada topografía.
- *Cargar topografía.* Permite al usuario importar una determinada topografía previamente guardada.

Intersección en 2D

- *Primer sistema.* La intersección del primer sistema de pliegues con la topografía en dos dimensiones.

Figura 3

En A aparece un bloque diagrama con un sistema de pliegues afectado por tres fallas, una normal, otra inversa y otra vertical. En B aparece el mismo sistema de pliegues con una discordancia.

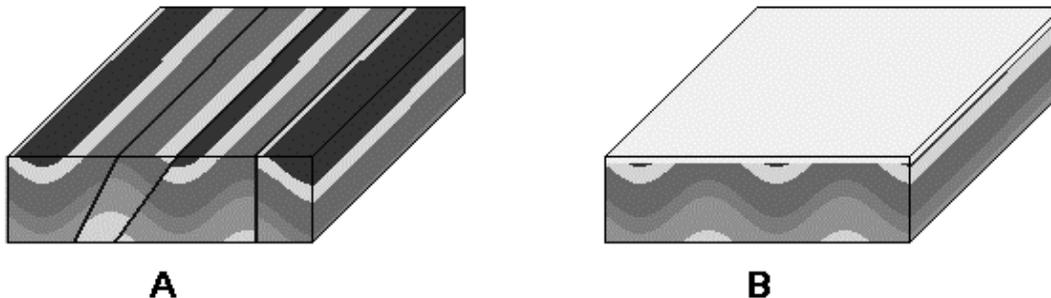
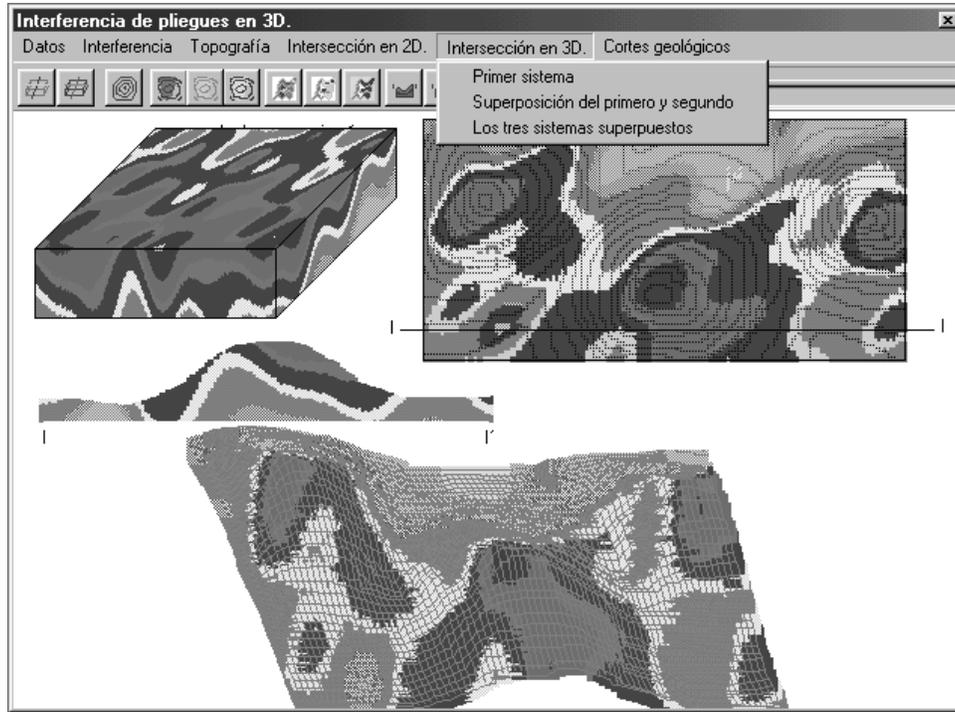
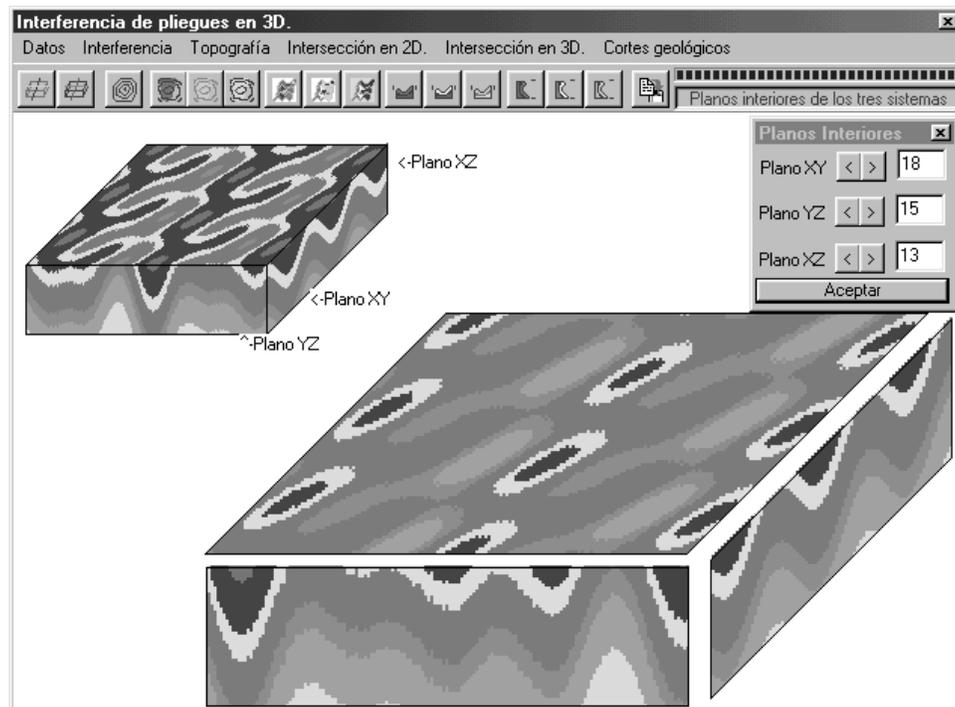


Figura 4

En A se muestra una pantalla del programa en la que aparece el menú principal con un submenú y la barra de herramientas para facilitar el acceso a las opciones más utilizadas. En B aparece un bloque diagrama con una interferencia formada por la superposición de dos sistemas de pliegues y tres de sus planos interiores.



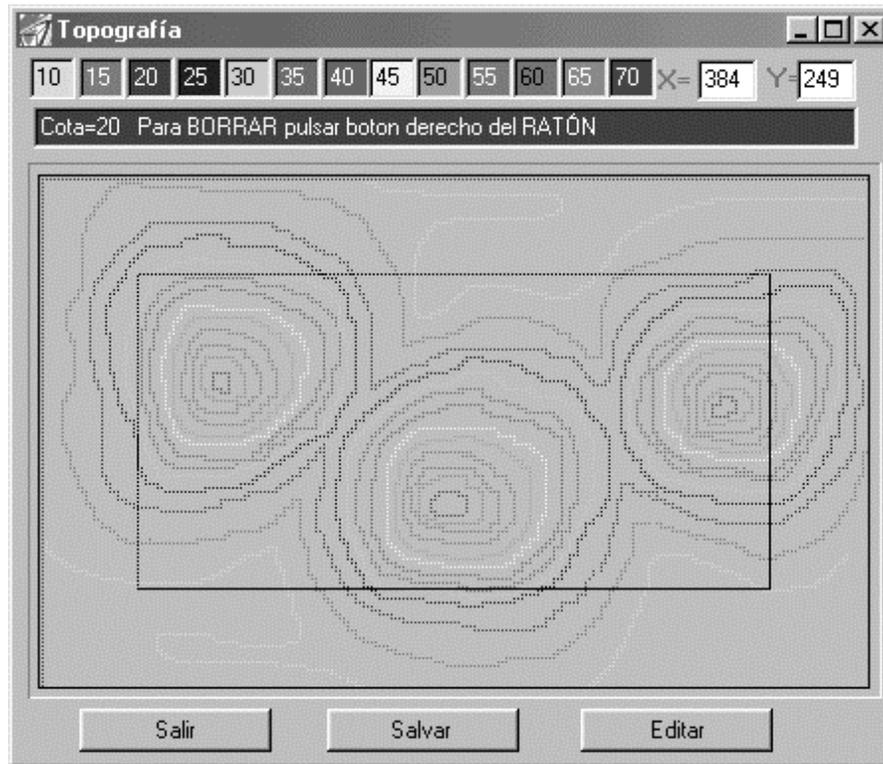
A



B

Figura 5

Ventana de diálogo en la que podemos dibujar una superficie topográfica mediante curvas de nivel.



- *Superposición primero y segundo.* La intersección de la geología formada por la superposición del primer y segundo sistema de pliegues, con la topografía en dos dimensiones.

- *Los tres sistemas superpuestos.* La intersección de los tres sistemas con la topografía en dos dimensiones (Fig. 6A).

Intersección en 3D

- *Primer sistema.* La intersección del primer sistema de pliegues con la topografía en tres dimensiones.

- *Superposición primero y segundo.* La intersección de la geología formada por la superposición del primer y segundo sistema de pliegues, con la topografía en tres dimensiones (Fig. 6B).

- *Los tres sistemas superpuestos.* La intersección de los tres sistemas con la topografía en tres dimensiones.

Cortes geológicos

- *E-O. Primer sistema.* Los cortes geológicos para el primer sistema del pliegue, en la dirección este-oeste.

- *E-O. Superposición primero y segundo.* Los cortes geológicos para la superposición del primer y segundo sistema de pliegues, en la dirección este-oeste (Fig. 7A).

- *E-O. Los tres sistemas superpuestos.* Los cortes geológicos para la superposición de los tres sistemas de pliegues, en la dirección este-oeste.

- *N-S. Primer sistema.* Los cortes geológicos para el primer sistema del pliegue, en la dirección norte-sur.

- *N-S. Superposición primero y segundo.* Los cortes geológicos para la superposición del primer y segundo sistema de pliegues, en la dirección norte-sur.

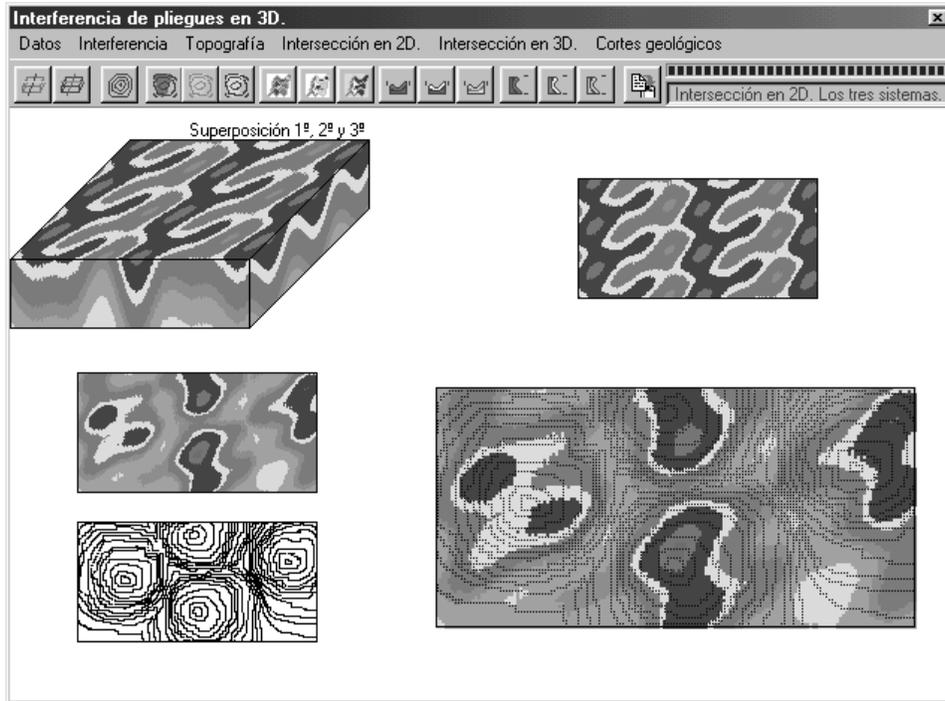
- *N-S. Los tres sistemas superpuestos.* Los cortes geológicos para la superposición de los tres sistemas de pliegues, en la dirección norte-sur (Fig. 7B).

Evaluación del programa de ordenador

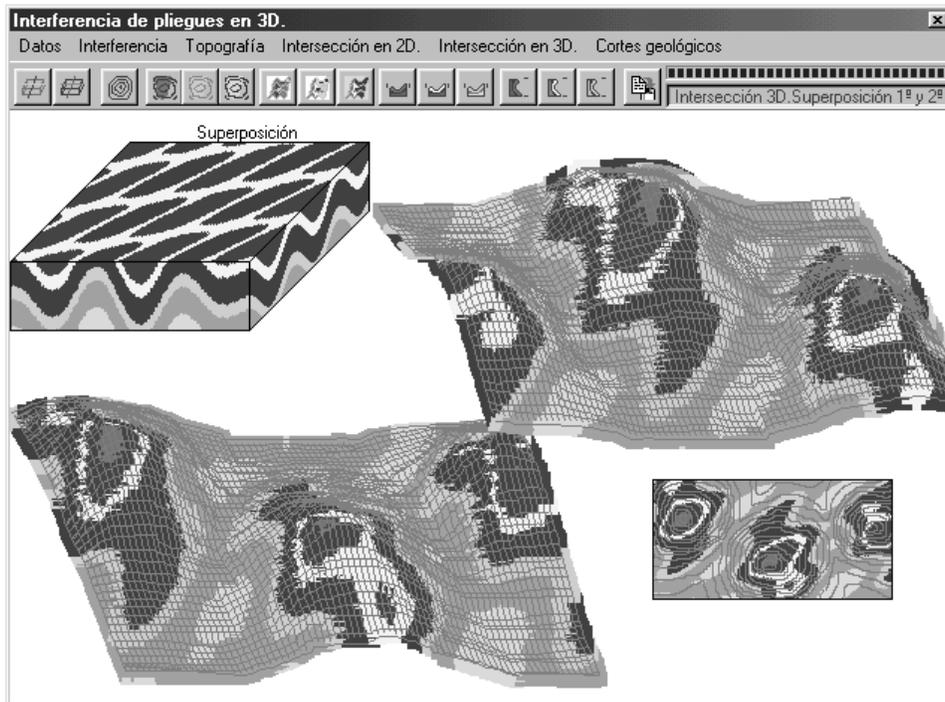
Para la evaluación hemos adaptado a nuestro programa los criterios propuestos por Kuittinen (1998). Se ha tenido en cuenta:

Figura 6

En A se puede observar la superposición de tres sistemas de pliegues y el efecto, en dos dimensiones, de la intersección con una superficie topográfica formada por cuatro colinas. En B se puede observar la superposición de dos sistemas de pliegues y el efecto, en tres dimensiones, de la intersección con una superficie topográfica formada por tres colinas.



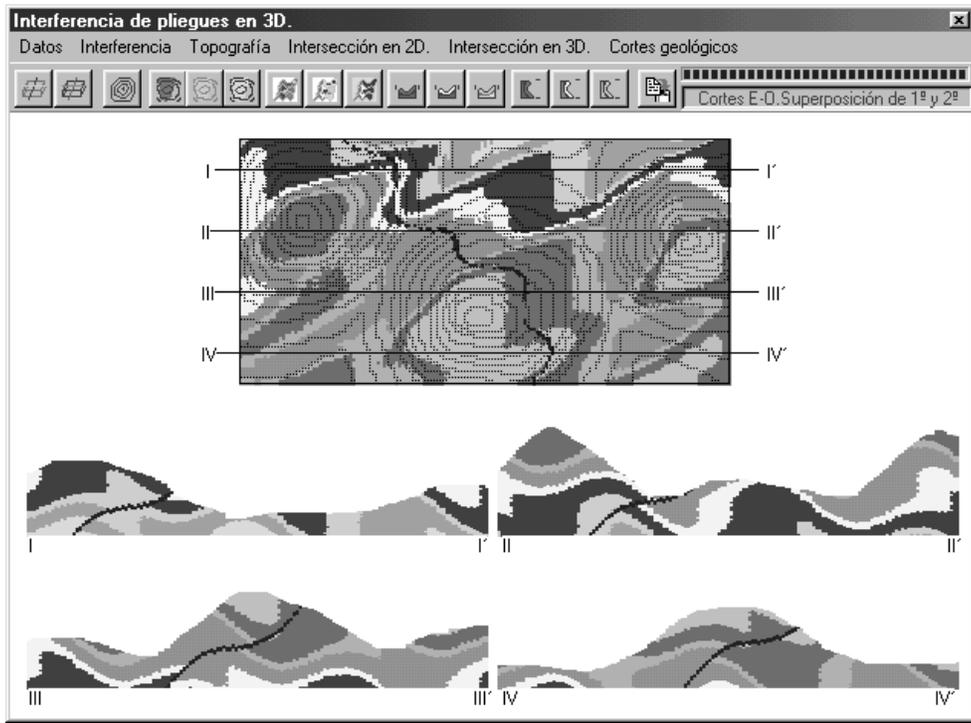
A



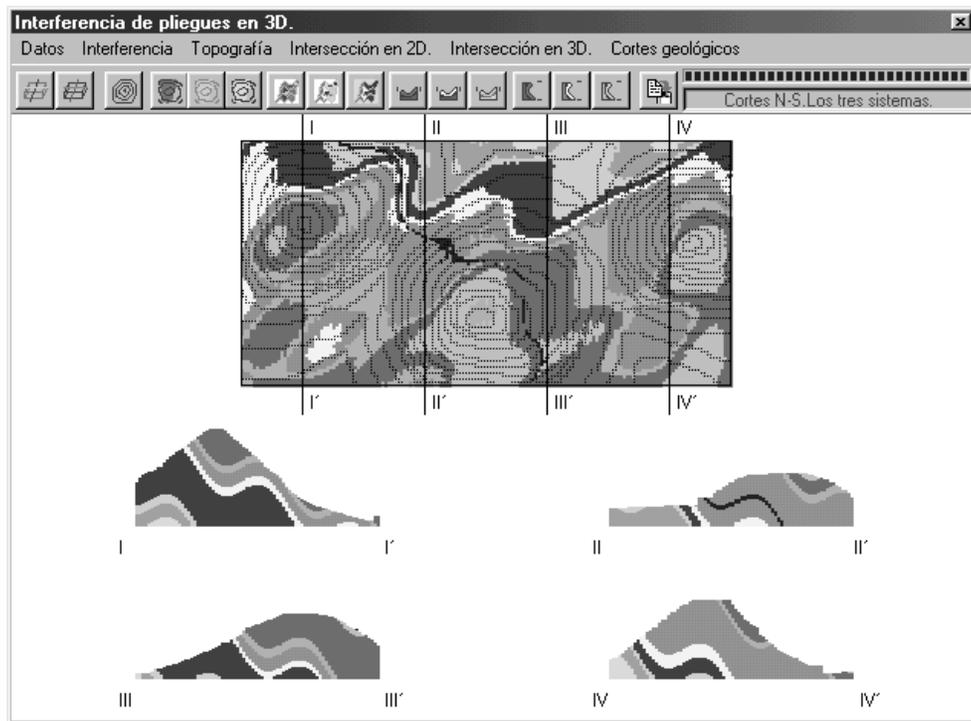
B

Figura 7

En A aparece el efecto de la superposición de dos sistemas de pliegues con una topografía formada por tres colinas y cuatro cortes geológicos orientados este-oeste. En B aparece el efecto de la superposición de tres sistemas de pliegues con una topografía formada por tres colinas y cuatro cortes geológicos orientados norte-sur.



A



B

- Al alumno que utiliza el programa.
- Los criterios educativos y de diseño del programa: motivación, contenidos del programa, estructuración, interactividad, dibujos, colores, etc.
- Criterios pragmáticos: tipo de ordenador y otros programas necesarios (sistema operativo).

En relación con el primer criterio, la evaluación de un programa de ordenador resulta siempre una tarea difícil y complicada, ya que el aprendizaje es una experiencia interactiva y multifactorial. Eso significa que, en los datos recogidos para establecer como la utilización del programa influye en la enseñanza, necesita tenerse en cuenta al estudiante individualmente y, en este caso, los grupos eran muy diferentes, estudiantes de geología, profesores de enseñanza media en formación (Curso de Aptitud Pedagógica de Ciencias Naturales) y alumnos de Magisterio de la Facultad de Educación, y también heterogéneos (los alumnos del CAP eran licenciados en biología o geología y los de magisterio tenían conocimientos muy diferentes que dependían del bachillerato cursado).

Durante el trabajo de los alumnos con el ordenador se observaban y se tomaban notas de los dibujos que aparecían en pantalla y de los ficheros topográficos que se salvaban. También se interrogó a los alumnos en el mismo momento en que interactuaban con el ordenador.

Las actividades con cada uno de los grupos mencionados fueron distintas. Los estudiantes de geología realizaron actividades centradas en el estudio de las interferencias generadas al superponer dos sistemas de pliegues y consideraron como muy positivas y motivadoras las posibilidades de visualización del programa, tanto en dos como en tres dimensiones, y también las opciones que permiten estudiar una interferencia plano a plano.

Los alumnos del CAP realizaron actividades centradas en la regla de la V, con bases geológicas sencillas (capas horizontales e inclinadas y sólo una fase de plegamiento), algunos biólogos mostraron interés por las posibilidades del programa para generar mapas y cortes geológicos y los geólogos se interesaron por las interferencias de pliegues y resaltaron las posibilidades de visualización del programa.

Los estudiantes de magisterio realizaron actividades centradas en la regla de la V y la evaluación demostró que el grupo había comprendido las relaciones que se establecen entre geología y topografía.

En relación con el diseño del programa, la tabla I muestra los resultados de una encuesta realizada a los alumnos del CAP. Se aprecia como la mayoría consideró los menús como asequibles, los dibujos como buenos y el

manejo del programa como sencillo. En cuanto al colorido, que fue calificado como chillón, hay que señalar que en la última versión del programa se ha añadido en el menú *Datos* la opción *Color*, que permite al usuario seleccionar el colorido que le resulte más agradable.

En cuanto al tercer criterio, el programa funciona en los sistemas operativos Windows 95, 98 o NT 4.0, pero no en DOS y Windows 3.1, y requiere 16 MB de RAM como mínimo. Son características que permiten al programa su utilización en la mayoría de los ordenadores actuales.

Tabla I

Los menús son:	
Complicados	12
Asequibles	51
Fáciles de entender	9
Los dibujos que genera el ordenador son:	
Buenos	66
Regulares	6
Malos	0
El colorido te parece:	
Discreto	9
Chillón	63
Fatigante	0
El manejo es:	
Sencillo	54
Complicado	15
Muy complicado	3

CONCLUSIONES

Programas como éste permiten a los estudiantes entender conceptos topográficos y geológicos básicos que necesitan un alto grado de abstracción. El uso del programa incrementa la eficacia del aprendizaje, al aumentar la atención de los estudiantes, su receptividad, su juicio y razonamiento. Pero, como siempre que para la enseñanza de las ciencias naturales es utilizado el ordenador, los nuevos conocimientos deben ser contrastados con actividades tradicionales de campo y laboratorio, sin las cuales el aprendizaje no llegará a ser significativo.

NOTA

El programa puede ser adquirido gratuitamente enviando un e-mail al autor en el que se indique la dirección de *correo electrónico* donde quiera que le sea enviado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, S.P. (1967). Anatomy of a re-fold. An empirical approach. *Empire State Geogram* 5, pp. 9-14.
- FREEDMAN, J., WISE, D.U. y BENTLEY, R.D. (1964). Pattern of folded folds in the Appalachian Piedmont along Susquehanna River. *Geological Society of America Bulletin* 75, pp. 621-638.
- GHOSH, G.K. (1970). A theoretical study of intersecting fold patterns. *Tectonophysics* 9, pp. 559-569.
- GHOSH, S.K. y RAMBERG, H. (1968). Buckling experiments on intersecting fold patterns. *Tectonophysics*, 5, pp. 89-105.
- GHOSH, S.K., MANDAL, N., KHAN, D. y DEB, K. (1992). Modes of superposed buckling in single layers controlled by initial tightness of early folds. *Journal of Structural Geology* 14, pp. 381-394.
- GHOSH, S.K., MANDAL, N., SENGUPTA, S., DEB, S.K. y KHAN, D. (1993). Superposed buckling in multilayers. *Journal of Structural Geology*, 15, pp. 95-111.
- GRUJIC, D. (1993). The influence of initial fold geometry on Type 1 and Type 2 interference patterns and experimental approach. *Journal of Structural Geology*, 15, pp. 293-307.
- HOLMES, A. y REYNOLDS, D.L. (1954). The superposition of Caledonian folds on older fold systems in the Dalsradians of Malin Head, Co. Donegal. *Geol. Mag.* 91, pp. 417-444.
- JESSELL, M.W. y VALENTA, R.K. (1996). Structural Geophysics: Integrated structural and geophysical mapping, en DePaor, D.G. (ed.). *Structural Geology and Personal Computers*: Elsevier Science Ltd, Oxford, pp. 303-324.
- KUITTINEN, M. (1998). Criteria for evaluating CAI applications. *Computers & Education*, 31, pp. 1-16.
- O'DRISCOLL, E.S. (1962). Experimental patterns in superimposed similar folding. *Journal of the Alberta Society of Petroleum Geologists*, 10, pp. 145-167.
- RAMSAY, J.G., y HUBER, M.I., (1987). *The techniques of modern structural geology*, Vol. 2, Folds and fractures. Nueva York: Academic Press.
- RAMSAY, J.G., (1967). *Folding and fracturing of rocks*. Nueva York: McGraw-Hill.
- SCREVEN, R.W. (1963). A simple rule of V's of outcrop patterns. *Journal Geology*, 11, pp. 98-100.
- THIESSEN, R.L. y MEANS, W.D. (1980). Classification of fold interference patterns. *Journal of Structural Geology*, 2, pp. 311-316.
- THIESSEN, R.L. (1986). Two-dimensional re-fold interference patterns. *Journal of Structural Geology*, 8, pp. 563-573.
- VACAS, J.M. y JUANES, J.A. (1991). Creación de un programa docente informatizado. *Apuntes de Educación*, 42. pp. 2-5.
- VACAS, J.M. (2000). A program in Pascal to simulate the superposition of two or three fold systems. *Computers & Geosciences*, 26, pp. 341-349.
- WATKINSON, A.J. (1981). Patterns of fold interference: influence of early fold shapes. *Journal of Structural Geology*, 3, pp. 19-23.

[Artículo recibido en enero de 2000 y aceptado en mayo de 2000.]