

# REPRESENTACION DE LA VARIACION Y DE LA VARIABILIDAD ESPACIO-TEMPORAL DE EVENTOS GEOLOGICOS

(CRA)

ALEA, Alfredo(\*) y CASTELLANOS, Enrique(\*\*)

(\*) Centro Universitario de Pinar del Río, Martí #270 CP 20 100, Pinar del Río, CUBA.

(\*\*) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca S/N y Carr. Central, San Miguel del Padron, CP 11 000, Ciudad de la Habana, CUBA.

## RESUMEN

El trabajo presenta un nuevo método de visualización que representa la variación y la variabilidad en el espacio o en el tiempo de un parámetro geológico  $K(t)$  cualquiera. Como todos los métodos de visualización este persigue el propósito de encontrar una forma de representación más adecuada, de manera que se facilite la interpretación del fenómeno que se visualiza. Cualquier parámetro geológico  $K(t)$  puede ser representado espacialmente usando el llamado Modelo de Elevación Digital (MED), cambiando la coordenada espacial  $Z$ , por el parámetro a representar. El método que nosotros discutimos aquí logra la representación de  $K(t)$  para diferentes valores de  $t$  o en diferentes valores de  $z$ . Esto se obtiene mediante una imagen animada de diferentes planos, donde cada plano es un MED y se corresponde con determinado parámetro  $K$ . Este método encuentra aplicación directa en los trabajos hidrogeológicos con mediciones espacio-temporales y en los estudios geofísicos de continuidad analítica ascendente o descendente. El método incluye una interfase inteligente que procesa los datos y obtiene algunos planos resúmenes como la media aritmética, la varianza, máximas fluctuaciones entre otros.

## INTRODUCCION

Con el desarrollo de los medios de computo y la modelación matemática, se han ido desarrollando formas más asequibles a la vista humana, para representar (visualizar) los diferentes fenómenos geológicos espaciales. Se persigue, con ello, que el interpretador capte la mayor cantidad de información posible y vea representado fenómenos geológicos que hasta el momento solo eran representados por el hombre en el cerebro.

En la actualidad, la mayor cantidad de estos métodos de análisis, están ubicados en los llamados Sistemas de Información Geográfica (Geography Information Systems-GIS) y en los Sistemas de Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes (SPADI). "El objetivo

fundamental del análisis de datos espaciales es extraer o preguntar sobre información que satisfaga los requerimientos u objetivos de la toma de decisiones a todos los niveles [1]. Para lograr este análisis se ejecutaron un conjunto de procesamientos llamados "Funciones de Análisis". Una clasificación de las Funciones de Análisis es propuesta por Valenzuela, Carlos, R., (1992):

### **-Funciones de recuperación, clasificación y mediciones**

- .Operaciones de recuperación
- .Procedimientos de reclasificación
- .Funciones de medición
- **Operaciones de superposición**
- **Operaciones de vecindad**
  - .Funciones de búsqueda
  - .Funciones topográficas

#### -Funciones de conectividad

- .Continuidad
- .Proximidad
- .Redes
- .Tendencia

Las funciones topográficas revelan características superficiales tales como forma, relieve, inclinación, etc. La forma

más usada de representar la superficie es por medio de un Modelo de Elevación Digital (MED). Un MED es un conjunto de valores de elevación (Z) medidos a un número finito de puntos (Tempfli, 1982). Por ejemplo la figura 1 muestra al modelo de elevación digital del municipio San Miguel del Padrón, Ciudad Habana, realizado en un GIS por Pérez, R., et al.

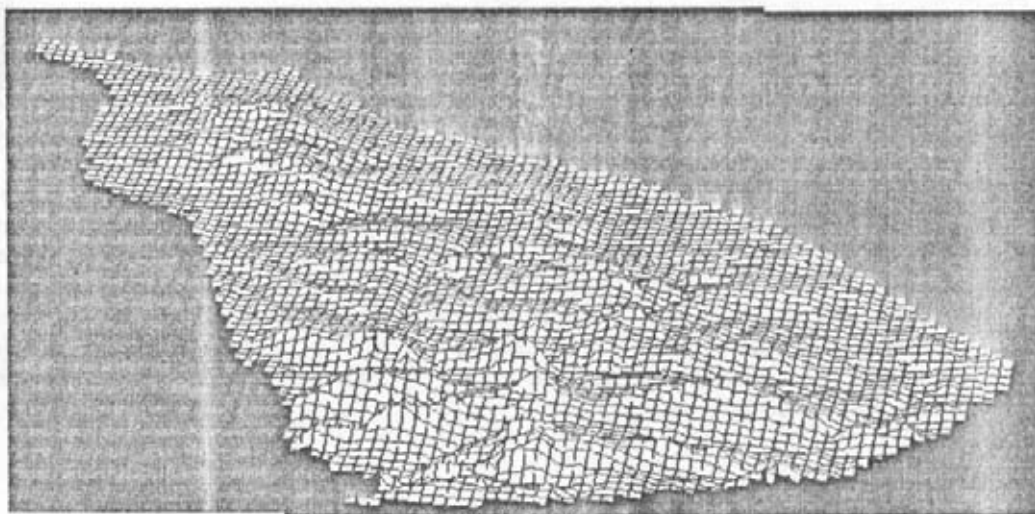


Fig. 1, MED del municipio San Miguel del Padrón (PEREZ, R et. al.)

Sobre los MED hay dos aplicaciones frecuentes actualmente:

- 1- Superposición de mapas temáticos sobre el MED (como mapa geológico, etc).
- 2- La confección del MED con un parámetro geológico sustituyendo la altura Z.

La segunda aplicación permite obtener un Modelo Tridimensional de Falso Relieve donde puede observarse el comportamiento de un parámetro geológico cualquiera en un espacio X, Y. Este tipo de modelo puede ser muy usado para localizar zonas fronteras o cambios direccionales. Sin embargo, la

visualización tridimensional (3D) de este parámetro tiene dos limitantes:

- a- Dicho parámetro no podría ser representado en un sólo modelo 3D si tuviéramos los valores puntuales para diferentes niveles de (Z),y
- b- Tampoco podría ser representado si tuviéramos valores para diferentes instantes de tiempo (t).

En resumen, las limitantes presuponen una cuestión lógica. Cómo pudieramos representar una cuarta, quinta o n-ésima dimensión ( $t_1, t_2, \dots, t_n; Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ ) de un parámetro geológico  $K(t)$  cualquiera para un

dimensión  $(t_1, t_2, \dots, t_n; Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$  de un parámetro geológico  $K(t)$  cualquiera para un espacio  $X, Y$ , con un Modelo 3D de Falso Relieve?. Nosotros presentamos un método en el presente trabajo que podría ser una respuesta a esta pregunta: logrando la cuarta dimensión del parámetro con una visualización animada para  $n$  instantes de tiempo o  $n$  niveles de  $Z$ .

Con este método se logra visualizar claramente cuál es la variabilidad y la varianza de un parámetro geológico en una  $n$ -ésima dimensión. Porque el parámetro  $K_i(t)$  es compuesto por  $n$  MEDs y la variabilidad del parámetro se ve en una imagen animada en la que cada plano es una dimensión  $n$ .

## DESARROLLO DEL METODO

### Fundamentación Teórica

Al igual que con los MED, se trabaja con una "red regular", porque así es más fácil para la manipulación directa en la computadora. Esta red está formada por un conjunto finito de puntos  $(i, j, k)$ , situados equidistantes. Cada punto es extraído de la unidad informacional puntual usada:

$$P_i = \{X, Y, Z; D_1, \dots, D_j, \dots, D_m; K_1(t), \dots, K_n(t), \dots, K_n(t)\}$$

Donde  $P_i$  es el punto  $i$ -ésimo del espacio y está representado, al menos geológicamente, por tres conjuntos:

- I- Conjunto de ubicación espacial; Dado por las tres coordenadas  $X, Y$  y  $Z$ .
- II- Conjunto de distancias relativas; Dado por  $D_1, \dots, D_j, \dots, D_m$  que no son más que  $m$  distancias medidas en la recta

más corta es de el punto  $P_i$  a  $m$  objetos considerados.

### III- Conjunto de parámetros variables:

$$K_1(t), \dots, K_n(t), \dots, K_n(t)$$

Donde:

$$K_n(t) \in [K_n(t_0), \dots, K_n(t_1), \dots, K_n(t_1)]$$

Este conjunto está formado por los parámetros que caracterizan al punto  $P_i$  y que a su vez cada uno puede ser variable en el tiempo (desde  $t_0$  hasta  $t_1$ ).

"En la práctica geológica muchos muestreos son realizados de forma aleatoria" [2]. Por lo tanto nosotros proponemos que en caso de no tener red regular, los datos pueden ser interpolados, usando preferiblemente el método Kriging. La efectividad de este método de interpolación viene dada porque tiene en cuenta para los puntos considerados en el radio de búsqueda, la distancia al punto a estimar y apantallamiento o efecto de sombra que pueda producir algún dato por estar entre el punto a estimar y un punto conocido.

## METODOLOGIA PROPUESTA

En esencia, el trabajo presupone la creación varios planos (Modelos Tridimensionales de Falso Relieve) con los cuales se logrará una visualización animada que represente la variabilidad del parámetro medido. Esto se basa en el uso de los softwares ya existentes y una interfase inteligente que fue necesario confeccionar.

El método consta de 7 pasos fundamentales mostrados en la figura 2.

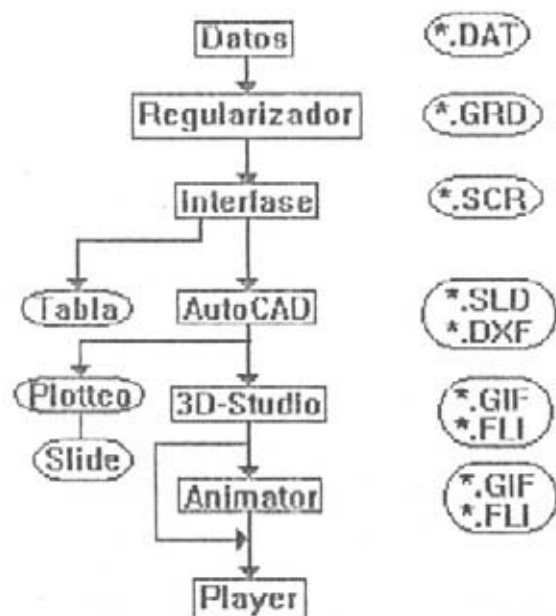


Fig. 2, Metodología para la obtención de imágenes animadas.

Paso 1: Adquisición de datos. Una vez elegido el parámetro a emplear, hay que definir su dimensión  $n$ , o sea, cuantos planos van a usarse. Los datos deben estar separados (regularizado o no) por planos y de cada plano hay que tener tres columnas de valores; coordenada X, coordenada Y y el parámetro  $K_h(t_i)$  o  $K_h(t_j)$  para Z'. Donde Z', es uno de los niveles de Z que representará el parámetro (Ver figura 3).

X	Y	$K_h(t_0)$	:	X	Y	$K_h(t_1)$	:	X	Y	$K_h(t_n)$	etc.

Fig. 3, Organización de la información para su procesamiento.

Paso 2: Regularización o ajuste de la red. En caso de no estar regularizada la red de cada plano, debe realizarse la interpolación usando un método y software conocido al efecto. Una vez regularizada la red, en este

paso se debe ajustar la resolución espacial de la red; que no es más que definir el tamaño real de cada celda unidad. Esto es importante ya que una celda pequeña definiría mejor el espacio, pero el trabajo pudiera ser costoso computacionalmente. Un indicador bueno para esta elección, es la escala a la cual se realicen los trabajos y grado de detalle que se quiera alcanzar en la interpretación. En resumen, aquí se obtendrán,  $n$  planos igualmente regularizados en un formato SURFER GEOEAS, GEOSOFT, etc.

Paso 3: Interfase y preprocesamiento. Los  $n$  planos, en ficheros son procesados por la interfase, la que:

- Estandariza, según escoja el usuario, los valores de Z con respecto a X, Y.
- Ubica cada plano en la posición más adecuada para su visualización.
- Calcula, opcionalmente, planos resúmenes. En el que cada uno es un descriptor; media aritmética, varianza y máximas fluctuaciones.

Los cálculos representados en los planos resúmenes, se realizan como esquemáticamente muestra la figura 4. Es decir, cada punto es calculado con su homólogo en el próximo plano y así cada plano resumen será un modelo 3D de Falso Relieve donde la altura representa el valor obtenido por el descriptor calculado, según sea el caso, para una celda.

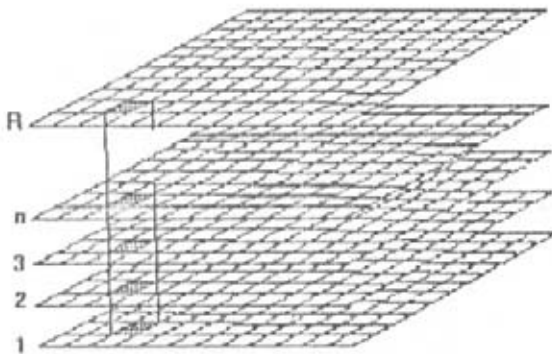


Fig. 4, Representación esquemática del cálculo por celda o pixel.

La media aritmética es calculada por medio de la siguiente fórmula:

$$\overline{P}_i := \frac{\sum K_n(t_n)}{n}$$

Donde el punto i está ubicado con un par de coordenadas X, Y para n planos que cada uno representa un tiempo  $t_n$  del parámetro  $K_n$ .

La varianza de cada punto se obtiene por la fórmula:

$$V_i := \frac{\sum (K_n(t_n) - \overline{P}_i)^2}{n}$$

El último plano resumen que se obtiene es el de máximas fluctuaciones. Donde cada punto toma un valor que representa todo lo que ha fluctuado a lo largo de n planos.

Los planos quedan finalmente ubicados de la forma más adecuada para próximos trabajos y los resultados pueden ser dados en forma de tabla o en un fichero tipo "script" para ser asimilado por AutoCAD.

Paso 4: Visualización y preanálisis. Los planos quedan ubicados en AutoCAD en forma de mallas tridimensionales y desde

este momento pasan a ser "cuerpos" tridimensionales. Un preanálisis por medio de la observación "fija" puede ser realizado y pueden tomarse tres decisiones:

- Obtener una copia dura de la imagen vectorial.
- Obtener un fichero tipo SLIDES (\*.SLD), para visualización.
- Obtener un fichero de intercambio tipo DXF para lograrla animación, posteriormente.

Paso 5: Conformación de la Imagen Animada. Los cuerpos tomados adquieren superficie, textura e iluminación adecuada. Estos aspectos son importantes pues garantizan una mejor percepción de las formas. Luego se realiza la Animación, convirtiendo cada cuerpo en una toma de la imagen.

En caso de que los cuerpos sean pocos, se puede realizar un método llamado Morphing, que no es más que realizar una interpolación de un cuerpo a otro, creando n subcuerpos, a fin de que los cambios en la imagen final no sean bruscos.

Aquí pueden agregarse cuerpos de superficies planas semitransparentes que permitan delimitar los umbrales anómalos en la visualización.

Este paso puede realizarse en un animador de imágenes como el 3DSTUDIO donde pueden obtenerse imágenes fijas (\*.GIF) o secuencias de imágenes (\*.FLI).

Paso 6: Ubicación de textos. No es un paso obligatorio y se usa para ubicar comentarios pertinentes en las animaciones, a fin de hacerlas más asequibles.



Paso 7: Visualización y Análisis. Con un programa visualizador de estos ficheros imágenes, pueden verse las animaciones obtenidas convenientemente para su análisis. La variabilidad del parámetro en el espacio podrá ser observada y analizada por el especialista, a través de n dimensiones.

### CONCLUSIONES

- 1- A partir del análisis de la imagen animada que se visualiza, se puede llegar a conclusiones acerca del comportamiento anómalo del parámetro que se estudia.
- 2- El desplazamiento de una zona anómala en el espacio y la variación en el tiempo de una región anómala, son dos hechos que pueden observarse muy fácilmente con este método. La variabilidad es obtenida como una expresión cualitativa del medio y nos permite definir, cualitativamente, cuán homogéneo es el parámetro que se analiza en n dimensiones. La variación es calculada cuantitativamente, en el segundo mapa resumen.
- 3- Un aporte, comparativamente superior, es el análisis que se puede hacer sobre el desplazamiento que toma una anomalía en n dimensiones. Este fenómeno es difícil de representarse mentalmente y no se ha encontrado métodos de procesamiento de imágenes que lo representen. Pues los métodos de superposición darían como resultado

toda un área anómala, cuando realmente es una misma anomalía desplazada, la figura 5 muestra como sería la operación por superposición de imágenes. En la imagen animada de estos seis planos, se vería como la anomalía se va desplazando hasta el plano n = 6.

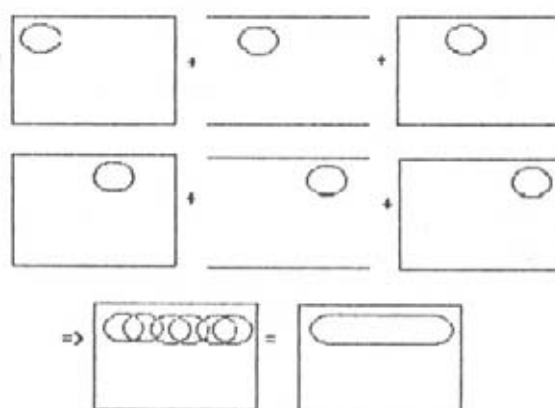


Fig. 5, Superposición de una anomalía (circulo) representada en 6 planos.

- 4- Con este ejemplo, proponemos el uso de esta metodología para un variado número de aplicaciones en Hidrogeología y Geofísica, pues facilita la interpretación de eventos geológicos.

### REFERENCIAS

- 1- Valenzuela, Carlos, R., "Introduction to Geography Information System".
- 3- Alfonso Roche, J.R. (1989). "Estadísticas en las Ciencias Geológicas" Editorial ISPJAE, Ciudad de la Habana, 2T.

## ABSTRACT

The work introduces a new method of visualization that represents the variation and the variability in the space or in the time of any geologic parameters  $K(t)$ . Like all the methods of visualization this follows the purpose of finding a form of more adequate representation, so that the interpretation of the phenomenon that is viewed could be facilitated viewed. Any geologic parameter  $K(t)$  could be represented spatially using the so-called Model of Digital Elevation (MED), changing the spatial coordinate  $Z$ , for the parameter to represent.

The method that we argued here achieves the representation of  $K(t)$  for several values of  $t$  or in several values of  $Z$ . This is obtained means of an dynamic image of several planes; where each planes a MED and goes together with certain  $K$  parameter. This method find direct application in the geohidrologic with spatial-temporary measurement and in the geophisic studies of upward or descending analytic continuity. The method includes an intelligent interface that processes the data and obtains some abstract planes like the arithmetic mean, variance, between others.