



# II

## Taller Iberoamericano de Reconocimiento de Patrones

La Habana, Cuba  
Marzo 24-28, 1997

Memorias

# TIARP 97

# ZONACIÓN SÍSMICA DE LA ISLA DE CUBA MEDIANTE ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN LÓGICO-COMBINATORIOS

RAMÓN PICO  
LEONARDO ÁLVAREZ  
MARIO COTILLA

## RESUMEN

La primera etapa de una zonación sísmica son los mapas con información acerca del comportamiento espacial de indicadores particulares de la peligrosidad (intensidades máximas, intensidades para tiempos de recurrencia fijos o combinaciones de tiempos de espera y probabilidades de no excedencia). Se obtuvo un nuevo tipo de zonación sísmica para Cuba procesando los períodos de recurrencia de cada punto con el sistema lógico-combinatorio de reconocimiento de patrones PROGNOSIS. Dichos períodos de recurrencia para la isla de Cuba fueron obtenidos de un trabajo de estimación de la peligrosidad sísmica realizado con anterioridad. Los grupos de puntos con comportamiento similar de la peligrosidad fueron definidos como clases de un problema de clasificación supervisada, cada uno fue representado por "holotipos" y posteriormente clasificados todos los puntos.

## INTRODUCCIÓN

El resultado básico de un trabajo de estimación de la peligrosidad sísmica está formado por los períodos de recurrencia (o retorno) de las sacudidas con valores del efecto mayores o iguales que una magnitud dada. Este efecto puede ser intensidad sísmica, aceleración, velocidad o cualquier otro parámetro de interés ingenieril. Cuando se estudian zonas amplias, dichos valores se calculan para todos los puntos de redes regulares, por lo que podemos hablar de resultados en forma de matrices de períodos de recurrencia o retorno  $T(\alpha_k)_{ij}$  [ $T$ - período de recurrencia,  $\alpha_i$ -efecto]. Si se añade un modelo estadístico de ocurrencia de las sacudidas, se pueden hacer estimados de la probabilidad de no excedencia en diferentes intervalos  $p(\alpha_k, t)_{ij}$  [ $p$ -probabilidad,  $t$ -tiempo, llamado de espera]. Sin embargo la forma común de representar gráficamente estos estimados es a través de mapas del tipo  $\alpha(T)$ ,  $\alpha(p, t)$ , y  $\alpha_{max}$ - tantos como valores de  $T$  o de  $(p, t)$  se seleccionen -, por lo que se requiere un procesamiento ulterior de los resultados iniciales.

Para la confección de un mapa de zonación sísmica de la forma tradicional se reelabora uno de los mapas obtenidos en la etapa anterior para convertirlo en un mapa de zonas de comportamiento "similar" de las manifestaciones del efecto sísmico. Algunas veces se toman como fronteras de las zonas las isolíneas representadas, en otros casos se delimitan franjas y en numerosas ocasiones las fronteras son

"rectificadas" atendiendo a la división político-administrativa del territorio. Sin embargo, cada uno de estos mapas es una realización particular del fenómeno estudiado, lo que hace que el mapa final lleve un carga subjetiva grande, y no se pueda garantizar que dentro de las zonas representadas sean uniformes las manifestaciones del efecto sísmico.

En un trabajo anterior (Alvarez, Pico, Cotilla, 1995) se obtuvo la zonación sísmica de las islas Jamaica y La Española con buenos resultados, definiéndola como un problema de clasificación no supervisada. En este trabajo se busca realizar la zonación, también directamente desde las matrices de períodos de recurrencia  $T(I)_{ij}$ , pero esta vez usando técnicas de clasificación supervisadas mediante el algoritmo lógico-combinatorio denominado ALVOT, incluido en el sistema PROGNOSIS (ICIMAF, 1992) para el caso de la isla de Cuba.

### FORMALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Usando el programa SACUDIDA (Alvarez y Bune, 1985) que se basa en el cálculo de los períodos de recurrencia de las sacudidas y de las probabilidades de no excedencia asociadas según un modelo poissoniano, a partir de considerar la atenuación de las intensidades en forma de isosistas elípticas y los gráficos magnitud-frecuencia acumulativos como del tipo "distribución exponencial truncada", se obtuvieron los períodos de recurrencia para el caso de la isla de Cuba.

Los períodos de recurrencia normalmente aumentan de forma exponencial en función de la intensidad, por lo que el presente estudio se realizó a partir de sus logaritmos en base 10. Por tanto, para la clasificación cada punto de la red se puede caracterizar por un conjunto de 6 valores (se tomaron solamente los valores enteros de Intensidad Sísmica) de los logaritmos de sus períodos de recurrencia:

$$\{\lg T(I_i), I_i = 5, 6, \dots, 9, 10\},$$

donde  $I$  es la identidad que constituyen las 6 variables que describen los períodos de recurrencia en el problema de reconocimiento.

La región de estudio se dividió en grupos de curvas de recurrencias, que representen igual intensidad máxima como se muestra en la Tabla 1.

Para construir la muestra de entrenamiento o matriz de aprendizaje, primeramente se particionó cada grupo de intensidades, mediante el algoritmo HOLOTIPO (Ruiz, 1992), conformándose así las clases y posteriormente se procedió a la reducción de las mismas.

Una vez obtenidas las clases se aplicó el algoritmo ALVOT (Ruiz, 1992) para la clasificación.

| Intensidad Máxima | Número de objetos |
|-------------------|-------------------|
| 5.0               | 31                |
| 6.0               | 91                |
| 7.0               | 123               |
| 8.0               | 76                |
| 9.0               | 22                |
| 10.0              | 32                |

**TABLA 1. *Número de objetos en cada uno de los grupos formados para la clasificación***

La formalización realizada del problema, para la aplicación de los algoritmos lógico-combinatorios de reconocimiento de patrones, tuvo en cuenta los siguientes parámetros:

- Todos los valores de las variables están en el dominio de los números reales.
- En la comparación entre dos valores de cada variable, se admite un error máximo de semejanza con un valor del 10 % del rango de sus valores.
- El sistema de conjuntos de apoyo: formado por un solo conjunto de apoyo, que indica el uso de todas las variables, que describen los objetos.
- Para la comparación entre dos objetos se tuvo en cuenta, como función de semejanza, la suma ponderada de los valores de los criterios de comparación entre variables, dada la naturaleza real de los datos y para permitir una mayor variación ente los valores de comparación entre objetos.
- Como criterio agrupacional de utilizó el de componentes  $\beta_0$ -conexas, para poder obtener rápidamente los resultados mediante el método propuesto por Pico (1995).

En el caso de la clasificación con aprendizaje, se utilizaron además los siguientes parámetros:

- La valoración de cada objeto, para un conjunto de apoyo, igual a la función de semejanza entre objetos.
- La votación de una clase, para un conjunto de apoyo, como la suma de las valoraciones de los objetos de la clase, promediada por el número de objetos de la clase.
- La votación de una clase, para el sistema de conjuntos de apoyo, como la suma de las votaciones para cada conjunto de apoyo, promediada con el número de conjuntos de apoyo.
- Como regla de solución se utilizó la de clasificar en la clase de votación máxima y que se abstuviera en caso de multclasificación o en el caso que no se clasificara en ninguna.

### SOLUCIÓN DEL PROBLEMA Y DISCUSIÓN

En la definición de los objetos que formarían cada una de las clases, se tomó en cuenta los holotipo de cada uno de los agrupamientos encontrados, tras haber aplicado el algoritmo HOLOTIPO. Pero producto a la heterogeneidad de las curvas de recurrencias obtenidas para Cuba, los holotipos obtenidos no fueron suficientes para representar las clases de curvas que se pretendían clasificar (al clasificar la región con esta muestra de entrenamiento, el clasificador se abstuvo en un número de veces significativo). Dada esta situación, se determinó incorporar otros objetos pertenecientes al grupo que representaba cada holotipo y para ello se realizaron los siguientes procedimientos:

- 1- se particionó cada muestra usando el criterio agrupacional por componentes conexas (ver Tabla 2)
- 2- se seleccionaron los holotipos encontrados en cada uno de los grupos y se incorporaron a la matriz de aprendizaje.
- 3- a cada grupo se le encontró un cubrimiento con grupos homogéneos (grupo cuyos miembros son todos  $\beta_0$  - semejantes entre sí), eliminando los elementos repetidos.
- 4- se extrajeron de los grupos formados los holotipos no repetidos.

Con los holotipos obtenidos así se construyó una matriz de aprendizaje cuyas clases estaban formadas por los holotipos encontrados en el paso 3, en los obtenidos en el paso 1 (ver Tabla 3)

| Intensidad Máxima | No. de Holotipos ( $\beta_0$ ) |
|-------------------|--------------------------------|
| 5.0               | 3 (0.15)                       |
| 6.0               | 6 (1.0)                        |
| 7.0               | 2(0.4) 7 (0.8)                 |
| 8.0               | 4 (0.8)                        |
| 9.0               | 4(0.3) 5 (0.7) 7 (0.9)         |
| 10.0              | 2(0.4) 3(0.6) 7(0.8) 11(0.9)   |

**TABLA 2. Resultados de la clasificación no supervisada o de agrupamientos con HOLOTIPO.**

Con la muestras de entrenamiento confeccionadas para cada grupo de intensidad sísmica esperada se clasificaron todos los períodos de recurrencia obtenidos para la región. Los resultados obtenidos con ambas muestras fueron diferentes, observándose que en el caso de la muestra con adición de los holotipos de los grupos homogéneos mejoró sustancialmente la clasificación. ( ver Tabla 3).

| Intensidad Máxima<br>Sísmica | % de clasificación o efectividad de la clasificación |           |
|------------------------------|--|-----------|
|                              | Muestra 1  | Muestra 2 |
| 5.0                          | 52.0   | 87.09     |
| 6.0                          | 67.0   | 84.6      |
| 7.0                          | 55.28  | 82.114    |
| 8.0                          | 40.78  | 50.0      |
| 9.0                          | 86.3   | 90.9      |
| 10.0                         | 90.6   | 100.0     |

**TABLA 3 . Comportamiento de los resultados de las clasificaciones para ambas muestras**

El hecho de que se cuente con muestras de entrenamiento, nos permite clasificar nuevos períodos de recurrencia, sin tener que realizar todo el proceso de entrenamiento.

La zonación sísmica está constituida por los mapas y gráficos en conjunto. Los primeros indican la distribución espacial del tipo de comportamiento del efecto sísmico, y los segundos particularizan el comportamiento temporal y por intensidad de dicho efecto. Una zonación realizada de tal forma es cualitativamente superior a las que habitualmente se emplean en los códigos de construcción en zonas sísmicas.

### CONCLUSIONES

- Se realizó la zonación sísmica de la Isla de Cuba a través de resolver problemas de reconocimiento supervisado y no supervisado.
- Se obtuvo una heurística para los casos en que los holotipos no sean representantes del grupo del cual parten (no se clasifican todos los objetos a través de él). La búsqueda de subgrupos homogéneos de un grupo es dependiente del orden en que se busquen. En el presente trabajo se realizó a partir del objeto con mayor tipicidad.
- Se comprobó la factibilidad de los métodos lógico-combinatorios de agrupamiento y clasificación con aprendizaje en la zonación sísmica.

### BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ, L. (1995): SACUDIDA, versión 2.0. Un programa para la estimación de la peligrosidad sísmica. La Habana, Editorial Academia, 64 p.
- ÁLVAREZ, L.; BUNE, V.I. (1985): A computer program for seismic hazard estimation. Proceedings of the 3rd. International Symposium on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk, Liblice Castle, Czechoslovakia, June 17-22, pp. 432-439.



- ÁLVAREZ, L.; MIJAILOVA, R.S.; CHUY, T. (inédito): Catálogo de terremotos fuertes de la región [16°-24° N., 70°-86° W.] desde el siglo XVI hasta 1988. Fondos del CENAI, CITMA.
- ÁLVAREZ, L.; PICO, R.; COTILLA, M. (1995). Clasificación no supervisada por métodos lógico-combinatorios en problemas de zonación sísmica. Reporte de Investigación del ICIMAF. ICIMAF 95-09. ISSN 0318-8916. CITMA. Cuba.
- COMISIÓN AD HOC (1991): Dictamen de la Comisión Ad-hoc para la determinación de las zonas sismogeneradoras de la región oriental de Cuba y zonas aledañas. La Habana, p., 2 fig. Fondos del CENAI, CITMA.
- ICIMAF (1992): PROGNOSIS, versión 2.1. Software para las geociencias. Manual de usuario, 154 p.
- PICO, R. (1995): Determinación del parámetro  $\beta_0$  para los algoritmos de agrupamiento lógico-combinatorios. Conferencia Internacional "Ciencia y tecnología para el desarrollo", CIMAF'95. I Taller Iberoamericano de Reconocimiento de Patrones. Resúmenes, pp. 99-100.
- RUIZ, J. (1992): Modelos de algoritmos de reconocimiento con aprendizaje parcial. En: 3er Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial, IBERAMIA-92, La Habana, 17 al 22 de enero de 1992, Memorias, pp. 541-559. México, LIMUSA, 1992.
- RUIZ, J.; PICO, R.; LÓPEZ, R.; ALAMINOS, C.; LAZO, M.; BOGGIANO, M.; BARRETO, E.; SANTANA, A.; ÁLVAREZ, L.; CHUY, T. (1992): PROGNOSIS y sus aplicaciones a las geociencias. En: 3er Congreso Iberoamericano de Inteligencia Artificial, IBERAMIA- 92, La Habana, 17 al 22 de enero de 1992, Memorias, pp. 561-586. México, LIMUSA, 1992.