

## ESTIMACIÓN DE COEFICIENTES DE DISEÑO Y DE PÉRDIDAS INDIRECTAS DEBIDAS A SISMOS

JAIME GARCÍA PÉREZ

El objetivo de la investigación es desarrollar métodos y técnicas para dividir una región sísmica, estableciendo tanto los parámetros de diseño como las fronteras, considerando costos como son los iniciales de la estructura y los daños ocasionados por los temblores.

### Antecedentes

En documentos normativos y en aquellos que han de servir como base para elaborarlos es usual presentar la sismicidad de una región como conjunto de curvas de ciertos parámetros relevantes (tales como aceleración máxima del terreno, aceleración efectiva máxima, velocidad máxima del terreno) correspondiente a determinados periodos de recurrencia que se supone gobiernan íntegramente el diseño. Otra forma es dividir la región en zonas aplicando ciertos criterios de optimación. El criterio más empleado es el que calcula el valor óptimo desde el punto de vista de balancear los costos como son el inicial, de mantenimiento y el de las pérdidas debidas a daños y falla. En este trabajo se presentan dos métodos de inteligencia artificial para dividir una región sísmica, y un modelo para tomar en cuenta las pérdidas de intangibles, como son las vidas humanas.

La zonación sísmica consiste en dividir una región de sismicidad conocida en porciones. En cada zona se especifican coeficientes de diseño constantes para los diversos tipos de estructuras construidas. Los coeficientes y fronteras interzonales son tal que minimizan la esperanza del valor presente del costo total de las estructuras que se construyen en la región. Dependiendo del número de tipos de estructuras construidas nos referiremos a soluciones en una o más dimensiones.

Se resuelve aquí el problema de zonificar por sismo una región en forma óptima. Se busca establecer tanto las fronteras que delimitan óptimamente las zonas como los coeficientes de diseño en las zonas, considerando tanto el costo inicial como el de mantenimiento y los daños por sismo de todas las estructuras que se construyan en la región. Es decir, conocido el número de zonas, sus fronteras y coeficientes de diseño deben ser tal que el costo por dividir la región sea el mínimo. Sean  $x, y$  las coordenadas de un punto de la región a zonificar, los subíndices  $i$  y  $k$ ,  $i=1, \dots, I$ ,  $k=1, \dots, K$  se refieren, respectivamente, a estructuras

tipo  $i$  y a la zona  $k$ . Sea  $\mathbf{Z}=\mathbf{Z}(x, y)$  el vector de las cantidades que definen la sismicidad,  $\mathbf{c}$  el vector de los coeficientes de diseño,  $v=v(\mathbf{c}, \mathbf{Z})$  la esperanza del valor presente del costo total de una estructura,  $\phi=\phi(x, y)$  la esperanza del valor presente del número de estructuras que se construyen por unidad de área,  $V$  la esperanza del valor presente del costo total de todas las estructuras. Entonces  $V_{ik} = \iint_k \phi_i v_{ik} dx dy$ ,  $V_k = \sum_{i=1}^I V_{ik}$ ,  $V = \sum_{k=1}^K V_k$ . El problema consiste en minimizar  $V$ .

### Métodos de inteligencia artificial

#### Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos son procesos que para la optimación de un sistema utilizan criterios análogos a los desarrollados en la naturaleza para la selección natural de las especies mejor adaptadas durante su evolución. Así, los principales procesos que constituyen al algoritmo genético son: evaluación de la adaptación, selección, cruza y mutación. El algoritmo genético inicia con la creación de una población constituida por un conjunto de cromosomas. Los cromosomas son vectores que contienen información de los parámetros necesarios para la función que se desea optimar (función objetivo). A los elementos que constituyen el vector se les conoce como genes y a los posibles valores que puede adquirir cada gen se les llaman alelos. Dicha creación puede ser aleatoria, definida o una combinación de ambas.

El problema de zonificar una región de sismicidad conocida se resuelve mediante un algoritmo genético considerando al cromosoma como la región zonificada, la cual está constituida de celdas (que pueden ser delegaciones, colonias, vías de comunicación u otros límites jurisdiccionales) representadas por los genes que se asocian a ellas según su posición en el cromosoma. A dichas celdas se les asigna un número (alelo) que corresponde a la zona a la cual pertenece. Por ejemplo, si se tiene una región constituida por cuatro celdas que se quiere dividir en dos zonas, un cromosoma que corresponde a este ejemplo puede ser  $\{1,2,1,2\}$  donde la primera y tercera celda corresponden a la primera zona, las restantes a la segunda. En adelante se hará referencia indistinta a los cromosomas como regiones zonificadas, genes como celdas y alelo como número de zona asignada a la celda, dependiendo si el contexto trata sólo del algoritmo genético o éste aplicado a la zonación. La función objetivo está definida por la función que calcule la esperanza del valor presente del costo ocasionado por zonificar.

Se aplica el método para dividir una región sísmica en tres zonas para un tipo estructural definido por su periodo de vibración (0.2 s.), representativo de una estructura de dos niveles. Los resultados se muestran en la figura 1.

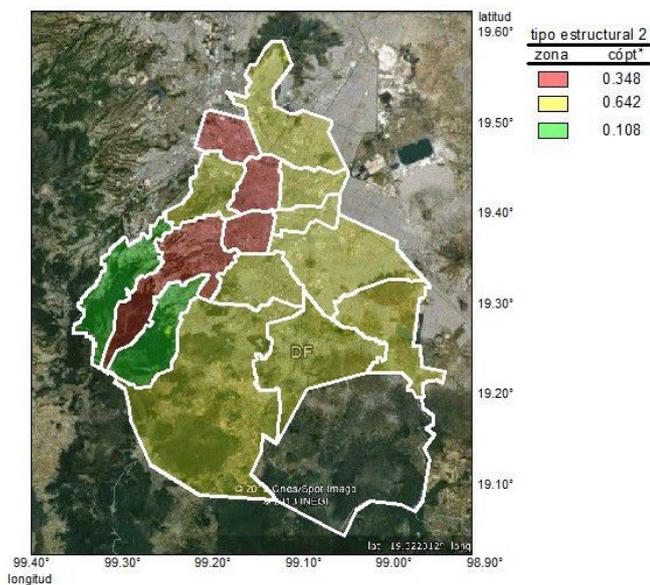


Figura 1. Zonación sísmica óptima y coeficientes para el tipo estructural 2

### Redes neuronales

Una red neuronal artificial (RNA) es un sistema de procesamiento de información con características similares a las de una red neuronal biológica, con base en lo siguiente: El proceso de la información ocurre en un conjunto de elementos simples denominados neuronas. Las señales se transmiten entre las neuronas por enlaces de conexiones, con cada enlace de conexión asociado a un peso que multiplica la señal transmitida; cada neurona aplica una función de activación a su red de entrada (la suma de las señales multiplicada por sus pesos) para producir una salida. Además, una RNA se define por su arquitectura, por el algoritmo de entrenamiento o aprendizaje, y por su función de activación. La arquitectura corresponde al arreglo de neuronas en las capas, el entrenamiento del método para determinar los pesos entre neuronas, y la función de activación a la transformación de la red de entrada.

Existen mapas auto-organizados dentro de las RNA, que reducen la dimensión de los datos a través del uso de las redes neuronales auto-organizadas. La manera en que se reduce la dimensión es produciendo un mapa generalmente de 1 o 2 dimensiones que grafica las similitudes de los datos a partir de los grupos con características similares. Entonces, se cumplen dos cosas; se reducen las dimensiones y se despliegan las

similitudes. Debido a estas características, los mapas auto-organizados son adecuados para la solución del problema de zonación sísmica. La red de Kohonen es de especial interés ya que es la que se emplea en este trabajo.

Empleando la red neuronal de mapas auto-organizados se divide una región sísmica en tres zonas considerando tres tipos estructurales con periodos de 0.1, 0.2 y 0.7 s., representativos de estructuras con 1, 2 y 7 niveles. El resultado se muestra en la figura 2.

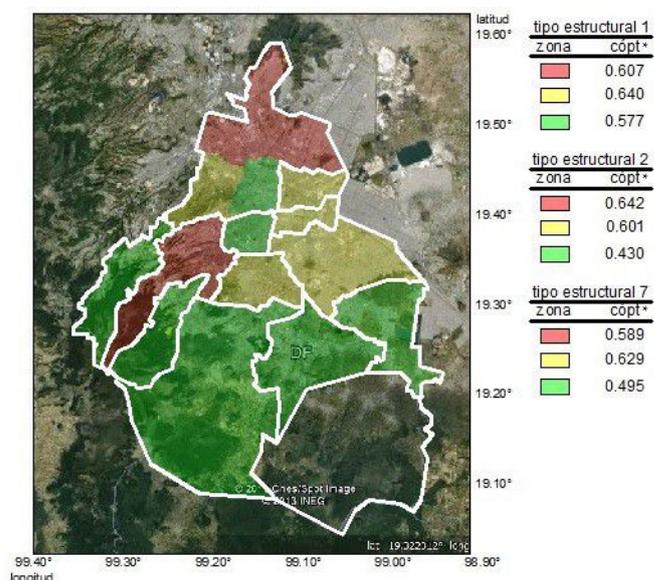


Figura 2. Zonación sísmica óptima y coeficientes para tipos estructurales 1, 2 y 7

### Costos indirectos

Como hemos visto, cuando se desea calcular valores óptimos de los parámetros de diseño, se minimiza la esperanza del costo total dado por la suma del costo inicial y los costos ocasionados por los daños de los temblores. En estos últimos se consideran los costos indirectos tal como la cantidad que está dispuesta a invertir la sociedad para preservar una vida humana. A continuación, se describe un modelo para el cálculo de esta cantidad.

El cálculo de un intangible como el valor de la vida humana requiere conocimiento de las formas de las curvas de utilidad en función de la riqueza e ingreso de los individuos en cuya

\*Coeficiente de diseño óptimo

# COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL

vida estamos interesados. Cuando damos a la utilidad su significado habitual de intensidad de deseo, o el de preferencia *a priori*, estas curvas deben cumplir ciertas condiciones. Estas condiciones aplican a la utilidad en función de la riqueza total incluyendo la esperanza del valor presente de ingresos futuros. Expresaremos estas curvas como  $U=U(W)$ , es decir, la utilidad de la riqueza  $W$ , así como  $W_{min}$  como el mínimo valor de  $W$  para sobrevivir. Además,  $W$  y  $U$  son las esperanzas del valor presente de la riqueza y la utilidad respectivamente. En la figura 3 se representan dos formas de curvas de utilidad.

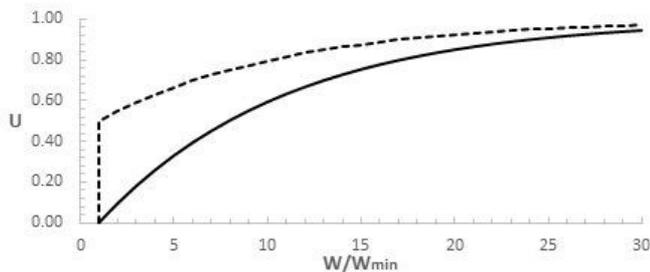


Figura 3. Función de utilidad con  $U_{min}=0$  (continua) y 0.5 (punteada)

Cuando lidiamos con riesgos pequeños la cantidad que se está dispuesto a invertir para preservar una vida humana, puede calcularse como  $L=U/U'$ , donde la prima significa derivada. El valor obtenido de esta manera puede añadirse a las pérdidas en la formación de la función objetivo anteriormente definida, para obtener así los coeficientes de diseño sísmico

con los métodos descritos en los párrafos anteriores. Los detalles de este método se pueden consultar en las dos referencias que se consignan al final de este trabajo.

## Conclusiones

Los métodos de inteligencia artificial como son los algoritmos genéticos y las redes neuronales, son una herramienta muy útil y eficiente en el proceso de obtención de parámetros de diseño en zonas sísmicas, esto debido a que permiten el manejo adecuado de gran cantidad de datos como son el número de celdas en que se divide la región, las características de los diferentes tipos estructurales empleados, y la información sísmica de la zona. Asimismo, es de importancia incluir en el cálculo de los parámetros óptimos las pérdidas ocasionadas por los sismos, una de ellas es la cantidad que está dispuesta la sociedad a invertir para preservar una vida humana. Determinar esta cantidad es complejo porque las variaciones son enormes, pero se espera que al término de la investigación se pueda contar con un modelo razonable para su cálculo. |

## Referencias

- García-Pérez, J. y García López, E. (2019), "Assessment of Seismic Indirect Losses Based on Utility Curves". *Open Journal of Civil Engineering*, Scientific Research Publishing Inc. Vol 9, pp. 211-229. ISSN 2164-3164, <https://doi.org/10.4236/ojce.2019.93015>, Sep.
- García-Pérez, J. y García López, E. (2021), "Ethical principles underlying the assessment of indirect losses due to earthquakes", *Open Journal of Civil Engineering*, Scientific Research Publishing Inc. Vol 11, pp 179-199. ISSN 2164-3164, <https://doi.org/10.4236/ojce.2021.112012>. jun.