



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA CIVIL – ESTRUCTURAS

“ZONACIÓN DE UNA REGIÓN SÍSMICA CONSIDERANDO DISTINTOS TIPOS  
ESTRUCTURALES”

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
RENÉ RIAÑO SANDOVAL

TUTOR PRINCIPAL:  
DR. JAIME GARCÍA PÉREZ

MÉXICO, D. F. AGOSTO 2013

JURADO ASIGNADO:

**Presidente:** DR. ESCOBAR SÁNCHEZ JOSÉ ALBERTO

**Secretario:** DR. REINOSO ANGULO EDUARDO

**Vocal:** DR. GARCÍA PÉREZ JAIME

**1 er. Suplente:** DR. DÍAZ LÓPEZ ORLANDO JAVIER

**2 d o. Suplente:** M. I. GARCÍA DOMÍNGUEZ OCTAVIO

**Lugar o lugares donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERÍA,  
UNAM**

TUTOR DE TESIS:

**DR. GARCÍA PÉREZ JAIME**

-----  
FIRMA

## RESUMEN

Se presenta un método de mapas auto-organizados de las redes neuronales artificiales para la solución del problema de zonación de una región con sismicidad y densidad estructural conocidas. La solución consiste en determinar las fronteras y coeficientes óptimos de una región, minimizando el costo total asociado a la zonación, que incluye el costo inicial más el costo por daños debidos a sismos. El método se emplea para resolver el problema de zonación en una región discretizada en celdas, tomando en cuenta hasta cuatro tipos estructurales, primero sin considerar los límites jurisdiccionales para incluir posteriormente esta restricción. Los resultados se presentan en mapas que muestran las zonas obtenidas así como el coeficiente sísmico asociado a cada uno de los distintos tipos estructurales presentes en la región.

## ABSTRACT

A self-organizing method from artificial neural networks used in solving seismic zoning problems of a region with known structural density is presented. The solution consists in finding boundaries and optimum coefficients by minimizing the total cost associated to zoning, including initial cost as well as the damage cost due to earthquakes. The method developed is used to solve the zoning of a region discretized in cells, taking into account up to four different structural types, first without considering jurisdictional limits and later on including this constraint. The results are presented in maps showing the zones as well as the corresponding seismic coefficient associated to each one of the different structural types built in the region.

## INDICE

1. Introducción.....	2
1.1 Objetivos.....	4
2. Antecedentes.....	5
3. Planteamiento para la evaluación del costo total.....	9
3.1 Planteamiento general.....	9
3.2 Coeficientes óptimos considerando un tipo estructural.....	9
3.3 Coeficientes óptimos considerando varios tipos estructurales.....	13
4. Métodos de zonación sísmica óptima tomados de la inteligencia artificial.....	15
4.1 Redes Neuronales.....	15
4.2 Modelos de Redes Neuronales.....	17
4.2.1 El modelo del perceptrón.....	17
4.2.2 El modelo de Hopfield.....	18
4.2.3 El modelo de Boltzman (La máquina de Boltzman).....	19
4.2.4 El modelo de Red de Kohonen (Mapas auto-organizados).....	20
4.2.4.1 Arquitectura de la red de mapas auto-organizados.....	21
4.3 Mapas auto-organizados aplicados a la zonación sísmica.....	23
4.3.1 Evaluación de la función objetivo.....	23
4.3.2 Algoritmo computacional para la red de mapas auto-organizados aplicados a la zonación sísmica óptima.....	24
4.3.2.1 Diagrama de flujo para la red de mapas auto-organizados.....	26
5. Resultados de la aplicación de los Mapas Auto-organizados.....	27
5.1 Aplicación de los mapas auto-organizados para la Clasificación de vectores ortogonales.....	27
5.2 Aplicación de la red de mapas auto-organizados a la zonación sísmica óptima de una región geográfica discretizada en 16 celdas.....	30
5.2.1 Zonación sísmica óptima considerando solo un tipo estructural.....	31
5.2.2 Zonación sísmica óptima considerando dos tipos estructurales.....	36
5.3 Aplicación de la red de mapas auto-organizados a la zonación sísmica óptima de una región geográfica discretizada en 751 celdas.....	39
5.4 Aplicación de la red de mapas auto-organizados a la zonación sísmica óptima de una región geográfica discretizada en 751 celdas considerando los límites jurisdiccionales.....	54
6. Conclusiones y recomendaciones.....	64
7. Agradecimientos.....	66
8. Referencias.....	67
9. Apéndice A.....	72
10. Apéndice B.....	90

## 1. Introducción.

La reducción de los daños causados por un sismo en un área geográfica donde se han construido y se construirán diferentes tipos de estructuras puede lograrse al aplicar distintas medidas de prevención, a saber: la planificación territorial (urbanismo), las medidas de construcción sismo-resistente (edificación) y la preparación de medidas de emergencia (protección civil). Para poder actuar en cada uno de los casos anteriores es necesario conocer el nivel sísmico y el nivel de riesgo de la zona en cuestión, es decir, es necesaria una zonación sísmica. Cuando la zonación coincide con límites jurisdiccionales (como colonias, calles, límites de ferrocarril, delegaciones, etc) se conoce como zonación con restricciones, de otra manera es conocida como zonación sin restricciones.

La zonación como una medida para la construcción sismo-resistente generalmente se hace en función de la peligrosidad sísmica, expresada en alguno o algunos de los parámetros característicos esperables del movimiento del suelo, comúnmente se utiliza la aceleración, el espectro de respuesta o el coeficiente sísmico de diseño.

Los reglamentos han recurrido a la división de un área geográfica en zonas en las cuales el parámetro de diseño se mantiene constante para todas las estructuras ahí construidas. Las variaciones bruscas de los parámetros de diseño que se presentan al zonificar una región implican un incremento en el costo debido a la zonación, el cual depende de los criterios utilizados para realizarla. El criterio más común es utilizar el valor más desfavorable del parámetro en la zona, para el diseño de una estructura. Este criterio solo es justificado en zonas de alta sismicidad. Un criterio más sofisticado es aquel que minimiza el costo total de las estructuras, el costo total toma en cuenta el costo inicial por la construcción de una estructura más los costos debidos a los daños ocasionados por la ocurrencia de un sismo. De esta manera se obtiene un parámetro para el diseño de las estructuras, que minimiza el costo total. Zonificar de esta manera es coherente con los criterios ingenieriles que hacen hincapié en la propuesta de soluciones seguras y económicas.

En el presente trabajo emplearemos el segundo criterio mencionado en el párrafo anterior por lo que se desarrolla un planteamiento mediante el cual se calcula la esperanza del valor presente del costo total, y además se toma en cuenta la incertidumbre en la ley de atenuación de la aceleración espectral. Se considera que las propiedades estructurales son deterministas. La esperanza del valor presente del costo total es función del coeficiente sísmico de diseño y de la tasa de excedencia de la intensidad del tipo de estructura en estudio. La expresión resultante se utiliza para calcular el costo total asociado a la zonación sísmica de una región con sismicidad y densidad estructural conocidas, para cada uno de los diversos tipos estructurales considerados. La densidad estructural se refiere al número de estructuras por área de superficie presentes en la región en estudio.

Se presenta un método de optimización basado en un tipo de red neuronal artificial denominado red de Kohonen. Esta red neuronal artificial surge como una analogía matemática para la manera en que el cerebro, mediante la vista, logra una clasificación óptima de objetos observados, a partir

de las características comunes y las relaciones topológicas que guardan entre ellos. Se presenta a la red neuronal un conjunto de vectores de datos con características numéricas de sismicidad, costo total y localización geográfica de un conjunto de celdas en la región de estudio. Mediante el cálculo de la distancia euclidiana entre cada uno de los vectores presentados y un vector generado de manera aleatoria para cada uno de los patrones o zonas esperadas se logra una discriminación óptima, al asignar a una zona el vector que presente la distancia mínima, lo cual es un indicativo de la similitud entre las características del vector seleccionado y el vector propuesto para la zona. Se obtiene de esta manera una solución del problema de zonación sísmica que es más rápida en comparación con métodos como el de combinaciones y el algoritmo genético, y además se puede asegurar que la zonación obtenida conserva las relaciones topológicas y características que los datos utilizados presentan. Dada la rapidez con la que trabaja, este método se hace idóneo para la zonación de áreas geográficas o ciudades en las que se tengan registros con grandes cantidades de datos.

El presente trabajo se ordena como sigue:

En el capítulo dos se hace revisión exhaustiva de la literatura, para conocer los diferentes trabajos que se han realizado en el campo de la zonación sísmica óptima y las diferentes maneras en que se ha abordado para su solución. La mayoría de las zonaciones propuestas se efectúan mediante el criterio de diseño con los parámetros más desfavorables y minimizan el costo por zonación pero sin usar un planteamiento riguroso para ello, sino que se realiza de manera intuitiva al definir las zonas solo al agrupar celdas con intensidades similares y sin incluir ninguna otra variable discriminatoria. Algunos autores tales como Rosenblueth (1977) y Grandori (1977) y Rosenblueth y García-Pérez (1994) han profundizado en el tema de la búsqueda de una zonación que minimice el costo total, con un planteamiento más sofisticado. Estas investigaciones, efectuadas para definir los criterios y métodos para la zonación sísmica, sirven de base para iniciar el presente trabajo.

El capítulo tres trata sobre el planteamiento de la expresión para la evaluación de la esperanza del valor presente del costo total. Esta expresión queda definida en función del coeficiente sísmico de diseño y de la tasa de excedencia de la aceleración espectral normalizada con respecto a la aceleración de la gravedad. Esta expresión es susceptible a modificaciones para incorporar la incertidumbre en las diferentes variables involucradas. Las incertidumbres pueden estar relacionadas con las intensidades (incertidumbres en su ocurrencia, en las distancias focales a los sitios y en la ley de atenuación utilizada) o con las estructuras (incertidumbres en sus propiedades, en el costo de las pérdidas en su contenido). La expresión para la evaluación de la esperanza del valor presente del costo total utilizada en este trabajo toma en cuenta la incertidumbre en la ley de atenuación, suponiendo que las intensidades quedan descritas mediante una distribución lognormal con mediana igual a la proporcionada por la ley de atenuación y con una varianza definida a partir de Ordaz y col (1989).

En el capítulo cuatro se presentan las redes neuronales como una alternativa eficiente para resolver los problemas de optimización, se hace una revisión de los distintos modelos de redes neuronales que han aparecido y su aplicación en la solución de problemas de optimización. De

esta variedad de métodos se elige el modelo de mapas auto-organizados debido a que es el que más se ajusta a la solución del problema de la zonación sísmica óptima, ya que tiene la propiedad de realizar un mapeo de un conjunto de datos en un espacio multidimensional a un espacio de dimensión más baja, conservando las características topológicas entre ellos, tales características en este trabajo se refieren a la sismicidad, el costo total y la localización geográfica para cada una de los puntos que componen una región. El método realiza una zonación en cada iteración y conforme el número de iteraciones crece se tiende hacia aquella que presenta una distribución óptima de los atributos considerados, mediante el cálculo de la distancia euclidiana entre cada uno de los vectores de características presentados y un vector generado de manera aleatoria para cada uno de los patrones o zonas esperadas. Se logra una discriminación entre los vectores de entrada, al asignar a una zona la celda cuyo vector presente la distancia mínima al que fue generado de manera aleatoria para la zona, además se puede verificar la disminución del costo total conforme el número de iteraciones aumenta. Cuando se encuentra la zonación óptima, el costo total permanece constante aunque se sigan aumentando el número de iteraciones, lo cual es un indicativo de la convergencia del método.

En el capítulo cinco se muestran los resultados obtenidos para los diversos ejemplos realizados. En el primero se utiliza el método propuesto para la clasificación de vectores ortogonales y de esta manera probar su eficacia, en el segundo se realiza la zonación sísmica de un área geográfica discretizada en dieciséis celdas respetando los límites jurisdiccionales y en la que se consideran la presencia de uno y luego dos tipos estructurales. El tercer ejemplo considera un área geográfica discretizada en 751 celdas y se realiza la zonación sísmica considerando la presencia de uno, dos, tres y cuatro tipos estructurales respectivamente, sin tomar en cuenta las restricciones jurisdiccionales. En el quinto y último ejemplo se considera la misma área geográfica pero ahora la discretización se hace tomando en cuenta los límites jurisdiccionales lo que reduce el número de celdas a 15, se realiza nuevamente la zonación sísmica considerando la presencia de uno, dos, tres y cuatro tipos de estructuras respectivamente.

En el capítulo seis se presentan las conclusiones obtenidas a partir de la aplicación del método, las ventajas encontradas en su utilización, así como las recomendaciones para futuras investigaciones en el tema, que puedan ahondar en la precisión del cálculo de la esperanza del valor presente del costo total al considerar las diversas incertidumbres en las variables que involucra, así como en la propuesta de métodos que ofrezcan una alternativa de eficiencia en la solución del problema.

## **1.1 Objetivos.**

Determinación de los coeficientes de diseño sísmico y las fronteras interzonales óptimas que minimizan el costo total producido por la zonación de una región con sismicidad conocida, en la que están presentes distintos tipos estructurales cuya densidad también es conocida. Aplicación del método de mapas auto-organizados de las redes neuronales para la búsqueda de la zonación sísmica mediante la adaptación de un código programado en el lenguaje C++. Solución de un problema considerando la información de una región discretizada en 751 celdas en las cuales se encuentran presentes cuatro tipos estructurales, que puede utilizarse como base para la

implementación del método de mapas auto-organizados en problemas reales. Presentar los alcances y limitaciones en la utilización del método en problemas que competen a la práctica profesional.

## **2. Antecedentes.**

La aplicación de los parámetros de diseño sísmico en una región determinada se realiza generalmente a través de su zonación presentada en el reglamento de construcción correspondiente. La gran mayoría de los reglamentos en la actualidad utilizan criterios mediante los cuales se diseñan las estructuras con los parámetros más desfavorables presentes dentro de la zona correspondiente. El costo involucrado en este tipo de zonación está asociado al costo inicial de las estructuras. Se obtienen de esta manera, zonas cuyas fronteras son definidas al asociar áreas de terreno cuyos tipos de subsuelos sean parecidos, y como consecuencia, las zonas estarán constituidas por áreas donde las intensidades producidas por un evento sísmico sean similares.

En la práctica es común zonificar intuitivamente a partir de las curvas de sismicidad para períodos de retorno específicos. La primera investigación sobre el tema de zonación fue realizada por Marsal y col (1953), quienes realizaron una microzonación del Distrito Federal a través del conocimiento de las condiciones del subsuelo. Posteriormente Esteva y Trigos (1976), mostraron mapas de riesgo sísmico y de regionalización sísmica para la República Mexicana. Esta regionalización se presentó en el Manual de diseño sísmico de la Comisión Federal de Electricidad (1976) y siguió presente en la primera actualización de dicho manual (1993). Para la última actualización (2008) se ha sustituido por espectros de diseño sísmico con variaciones continuas dentro del territorio mexicano que se ajustan a la mayoría de las condiciones del terreno comunes en la práctica. Iglesias (1989) determina la distribución de intensidades a través de los daños sufridos en las estructuras debidos al sismo de septiembre de 1985, y con base en sus resultados propone una nueva zonación sísmica de la ciudad de México. Existen otras investigaciones encaminadas a la estimación de las intensidades que se presentan en la ciudad de México. Entre estos trabajos se encuentran algunos, cuya ley de atenuación se estima con base en sismos de subducción en la costa del Pacífico (Chávez y Castro, 1988; Ordaz y Singh, 1992). Otros estiman los efectos de sitio a partir de excitaciones controladas, tales como microsismos (Lermo y col, 1988; Lermo y Chavez-García, 1994), a partir de la propuesta de modelos de propagación de ondas (Sánchez-Sesma y col, 1993; Chávez-García y Bard, 1993a; Chávez-García y Bard, 1993b; Ordaz y Faccioli, 1994; Chávez-García y Bard, 1994; Avilés y Pérez-Rocha, 1998) y a partir de eso el uso de espectros de amplitudes de Fourier y de la teoría de vibraciones aleatorias (Ordaz y col, 1988; Pérez-Rocha y col, 1991; Ordaz y col, 1983; Singh y col, 1996; Reinoso y Ordaz, 1999; Pérez-Rocha y col, 2000). Los estudios anteriores han contribuido a la elaboración de modelos que evalúan el riesgo sísmico en la ciudad de México mediante la estimación de intensidades ocasionadas por sismos fuertes y sus correspondientes daños en las estructuras construidas en la ciudad (Ordaz y col, 1994; Ordaz y col, 1995; Ordaz y col, 2000). El modelo propuesto por Ordaz y col (1994) clasifica las estructuras construidas en la Ciudad de México en 14 tipos y discretiza el área correspondiente a la ciudad en 751 celdas, dentro de las cuales se consideran constantes los parámetros tales como la intensidad (dada por un espectro de aceleraciones), área de

construcción de los tipos de estructura, calidad de las construcciones, entre otros. Lomnitz y col (2004) con base en una revisión de trabajos que describen la geología del valle de México, proponen una nueva microzonificación para la ciudad. Con base en las investigaciones anteriores el reglamento de construcciones del Distrito Federal, junto con sus normas técnicas complementarias fue actualizado en 2004. Uno de los principales avances en los más de 50 años de existencia de este reglamento es el enfoque probabilista que se le ha dado, es decir, se contempla la posibilidad de que en la Ciudad de México puedan ocurrir sismos de fuerte intensidad, similar o incluso mayor al de 1985. Otro importante avance en este reglamento es la mejor comprensión del comportamiento del suelo arcilloso ante un sismo, conocimiento obtenido tanto en laboratorio como en campo. Wintergerst y col (2007) presentan los avances en el manejo del riesgo sísmico en la ciudad de México mediante la elaboración de un sistema de información geográfica dinámico que prevé la ocurrencia de un sismo con  $M_w = 8.2$ , asimismo presentan un plan de contingencia permanente para la ciudad. Ishizawa y Clouteau (2007) aplican el método de dispersión de ondas múltiples en medios aleatorios y basados en las características del tipo de suelo, la densidad y posición de los edificios en la ciudad, así como el tipo de onda incidente, proponen un análisis numérico y uno teórico sobre los efectos de sitio en la ciudad de México.

Como ejemplos de investigaciones realizadas sobre el tema en otras ciudades del país se tienen los de: Chávez y García-Rubio (1995) quienes proponen una zonación de la zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara con base en las características geotectónicas del suelo, además de una estimación de la vulnerabilidad sísmica existente en las construcciones presentes en el área de estudio. Chávez-García y col (1995) muestran un método de microzonación basado en la evaluación y la distribución geográfica de los efectos de sitio. Este método se ilustra en la microzonación propuesta para las ciudades de Oaxaca y Puebla. Algunos investigadores (Noguez y col, 1997; Osorio y col, 1997; Cruz y col, 1997) han sugerido zonaciones sísmicas para varias ciudades de la República Mexicana mediante la determinación de las propiedades del subsuelo con base en registros de vibración ambiental. Chávez y Cuenca (1998) proponen mapas de isoperiodos y de máxima amplificación relativa de la ciudad de Acapulco, Guerrero, a través del empleo de registros sísmicos fuertes y pequeños, así como también de mediciones de microsismos. Estos mapas se sugieren para mejorar la microzonación actual de dicha ciudad. Resultados de dos investigaciones en los efectos de sitios presentes en la ciudad de Guadalajara (Chávez y Ramírez, 1998; Chávez, 2000) sugieren modificaciones de su zonación actual. Vázquez y col (2005) propone una microzonificación sísmica para la ciudad de Zamora, Michoacán usando el método de Nakamura, basado en la medición de vibración ambiental, con el fin de obtener el periodo fundamental del suelo para tener un mejor conocimiento del comportamiento ante un evento sísmico. Lermo y Bernal (2006) proponen una zonificación para el estado de Tlaxcala con base en características sismotectónicas que permitieron realizar una zonificación sísmica, que consta de zonas de alta (I), media (II) y baja (III) sismicidad. Limaymanta (2009) presenta un método para la clasificación de terrenos al usar familias espectrales obtenidas con registros de sismos y microtemores, el método se aplica en las ciudades de Boca del Río, Oaxaca y Acapulco.

A nivel internacional en los últimos años también han aparecido investigaciones encaminadas sobre la zonación sísmica como: Gaull y col, (1995) quienes presentan una nueva microzonación en Perth, Australia. Esta microzonación se realiza a través de cocientes espectrales obtenidos de microsismos. Abdullah y col, (1995) realizan una zonación sísmica de las ciudades más importantes en Jordania a través del cálculo de isosistas de aceleraciones máximas esperadas en terreno firme asociadas a varios periodos de retorno. Los efectos locales presentes en las ciudades en estudio se toman en cuenta para realizar la microzonación. Panza y col, (1996) han efectuado investigaciones sobre modelos que definan el movimiento del terreno tomando en cuenta la heterogeneidad lateral, las propiedades de la fuente y de la propagación de ondas. Con base en dichos modelos se propone el cálculo de microzonaciones de las regiones en estudio. Cardona y Yamin (1997) evalúan el riesgo sísmico y presentan una microzonación en la ciudad de Bogotá, Colombia, realizando mediante estudios de laboratorio de dinámica de suelos, análisis de registros sísmicos recientes y mediciones de microsismos. Mackey, Fujita y col. (2003) utilizan información de la red de monitoreo sísmica de la región oriental de Rusia, la cual consta del número de eventos sísmicos registrados, tiempos de llegada y amplitud de las ondas, estos datos les sirven de base para afinar un modelo de velocidades de las ondas S y P en la corteza y presentar una regionalización que muestra la variación de estas velocidades sobre el área geográfica estudiada. Reyes y Cárdenas (2010) utilizan información sobre la frecuencia de eventos sísmicos y la localización geográfica de sus epicentros, basados en tal información utilizan el método de mapas auto-organizados de las redes neuronales para obtener una zonación sísmica en el país de Chile. Falconí R (2011) presenta los estudios para la microzonificación de Quito, Ecuador basada en las características geofísicas superficiales del suelo. Aguilar y col (2012) presentan una actualización de la microzonificación de Lima incorporando información de la conformación de la estructura superficial del suelo y sus características geofísicas.

El criterio para la zonación sísmica hasta ahora utilizado por los reglamentos (justificado en zonas de alta sismicidad) no toma en cuenta una disminución de los costos ocasionados por la zonación mediante el cálculo de fronteras y coeficientes de diseño óptimo. Algunos investigadores han llevado a cabo trabajos encaminados a establecer los criterios y procedimientos de cálculo para obtener una zonación sísmica óptima. Los primeros trabajos sobre el tema fueron realizados por Rosenblueth (1977) quien presenta un planteamiento para la regionalización sísmica en el que la optimización se entiende como la minimización de la esperanza del valor presente del costo inicial y las pérdidas debidas a la entrada en estados límites de falla y Grandori (1977) que desarrolla un método para calcular la razón entre los coeficientes sísmicos para dos lugares distintos con sismicidad conocida, de manera que la razón entre esos dos coeficientes sea tal que se minimicen las pérdidas esperadas. El tema fue retomado con mayor rigor y menos limitaciones en investigaciones posteriores: Rosenblueth y García-Pérez (1994a), en estos trabajos se estudia la zonación sísmica óptima para el caso en el que se considera un tipo estructural y cuando el costo de la zonación considera la esperanza del valor presente del costo inicial. En este caso, los parámetros de diseño asignados a una zona son los más desfavorables presentes en ella. Aquí, la optimización consiste en hallar las fronteras interzonales que minimizan el desperdicio producido por la zonación. Se presentan los casos con y sin restricción en el establecimiento de dichas

fronteras. Las restricciones mencionadas se refieren a los casos en que las fronteras tienen que coincidir con líneas preestablecidas (generalmente con límites jurisdiccionales) para facilitar su reglamentación. Los métodos propuestos para obtener la zonación óptima son análogos a los empleados en la optimación de catálogos de productos estandarizados. Se demuestra que en el caso de fronteras interzonales sin restricciones, las óptimas coinciden con curvas de intensidad constante. García-Pérez y Rosenblueth (1994b) presentan la zonación sísmica óptima cuando se minimiza la esperanza del valor presente del costo total y el problema es tratable al considerar solo un tipo estructural. El costo total toma en cuenta el costo inicial y los daños por sismo. Para resolver este caso se extienden los criterios propuestos cuando se considera el costo inicial. La optimización, en este caso, consiste en hallar los coeficientes de diseño y las fronteras interzonales óptimas que minimizan el costo total debido a la zonación. Se tratan los problemas con y sin restricciones en la posición de las fronteras. Se demuestra que para el caso del costo total, el criterio de optimización consiste en que sean iguales entre sí los costos totales unitarios de estructuras construidas a ambos lados de una frontera sin restricciones, que dichas fronteras coinciden con curvas de sismicidad constante y que el planteamiento en el que se considera un tipo estructural puede extenderse al caso en que habrá diversos tipos de estructuras siempre que se cumplan ciertas condiciones entre sus costos unitarios y entre los números de estructuras que se construirán de cada tipo. Para resolver este problema se presenta un método iterativo y uno de perturbaciones. García-Pérez y Rosenblueth (1995) estudian los casos en que los problemas no pueden reducirse a manera de considerar un solo tipo estructural. Se tratan las zonaciones con fronteras que se establecen con o sin restricciones, cuyos costos toman en cuenta el costo inicial o total. Se considera la presencia de dos tipos estructurales y se proponen diferentes métodos de solución obtenidos a partir de aquellos presentados en el caso en el que se considera solo un tipo estructural. En García-Pérez y col (1999) se propone una forma para evaluar la esperanza del valor presente de los costos totales, en la que se incluye la incertidumbre en la ley de atenuación. García-Pérez (2000) establece una forma para evaluar la esperanza del valor presente de los costos totales (costos iniciales y de los daños producidos por los sismos) que considera que los sismos son originados por un proceso múltiple de Poisson, sin considerar las incertidumbres en las leyes de atenuación, ni en las propiedades estructurales. Los costos así obtenidos se utilizan para calcular las zonaciones óptimas según los criterios establecidos en García-Pérez (1994). Castellanos y García-Pérez (2001) proponen un método basado en el algoritmo genético para la solución del problema de la zonación óptima de una región, este planteamiento está basado en la búsqueda del coeficiente óptimo que minimiza el costo total por zonación de una región, se considera que los sismos son originados por un proceso múltiple de Poisson, y que existe incertidumbre en la ley de atenuación.

El conjunto de investigaciones mencionadas así como las relacionadas con los criterios para la zonación sísmica óptima son la base y el punto de partida para la implementación del método de mapas auto-organizados para la solución del problema de zonación sísmica.

### 3. Planteamiento para la evaluación de la esperanza del valor presente del costo total.

El costo total de una estructura es el que resulta de sumar los costos iniciales, los costos de daños estructurales producidos por sismos y los costos por impacto social, es decir, el costo total comprende todos los daños económicos directos, indirectos y no económicos que los sismos producen en la sociedad. La teoría de decisiones requiere que las cantidades anteriores sean los valores esperados. Por tanto la función objetivo será la esperanza del valor presente del costo total expresada como sigue:

$$E[C_T] = E[C_i] + E[D] \quad (3.1)$$

Donde:

$E[C_T]$  es la esperanza del valor presente del costo total.

$E[C_i]$  es la esperanza del costo inicial.

$E[D]$  es la esperanza del valor presente del costo por daños ocasionados por los temblores.

#### 3.1 Planteamiento general.

Si  $x, y$  representa las coordenadas de un punto en la región que se desee zonificar y denotamos al tipo de estructura como  $i=1, \dots, I$  y a la zona como  $k=1, \dots, K$ . Si además hacemos que  $z=z(x, y)$  represente el valor de la sismicidad, definida por las demandas de coeficiente de corte basal (en este trabajo se consideran las ordenadas del espectro de aceleraciones expresadas en términos de la aceleración de la gravedad) y por sus tasas de excedencia; que  $c$  sea el vector de los coeficientes de diseño adoptados,  $w=w(c, z)$  la esperanza del valor presente del costo total unitario,  $\phi=\phi(x, y)$  la esperanza del valor presente del número de estructuras, y  $W$  la esperanza del valor presente del costo total de todas las estructuras. Entonces:

$$W_{ik} = \iint_k \phi_i w_i dx dy \quad (3.2)$$

$$W_k = \sum_{i=1}^I W_{ik} \quad (3.3)$$

$$W = \sum_{k=1}^K W_k \quad (3.4)$$

#### 3.2 Coeficientes óptimos considerando un tipo estructural.

El costo inicial es el costo ocasionado por construir la estructura en estudio; por lo tanto, se considera como función del coeficiente sísmico empleado en el diseño de dicha estructura y se define, de acuerdo con García-Pérez (1994), como:

$$\begin{aligned} u(c) &= [1 + \alpha_2(c - c_0)^{\alpha_3}]C & \text{si } c \geq c_0 \\ u(c) &= C & \text{si } c < c_0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

donde C es el costo inicial y  $c_0$  la resistencia lateral para el caso en que la estructura no se diseñara para resistir sismos,  $\alpha_2$  y  $\alpha_3$  son constantes.

La esperanza del valor presente del costo inicial por unidad de área está dado por:

$$\bar{u}(c) = \phi u(c) \quad (3.6)$$

Donde  $\phi(x,y)$  es la esperanza del valor presente del número de estructuras que se construirán por unidad de área que se construirán en la región de estudio y está dada por:

$$\phi(x, y) = \int_0^{\infty} \psi(x, y, t) e^{-\gamma t} dt \quad (3.7)$$

Donde

$\psi(x, y, t)$  Es una función que indica la variación de  $\phi$  por unidad de tiempo, y  $\gamma$  es la tasa de descuento, que en el presente trabajo se considera constante e igual a 0.05.

El costo de los daños ocasionados por los sismos  $L_z$  se puede dividir en dos grupos: el primero  $L_{z1}$  toma en cuenta los daños materiales producidos en la estructura y el segundo  $L_{z2}$  abarca los daños económicos indirectos (daños en elementos no estructurales, contenido de la estructura, impacto en la economía de la región) y los no económicos (impacto social, pérdidas de vidas humanas), de manera que  $L_z = L_{z1} + L_{z2}$ . Estos costos se consideran función del coeficiente de diseño sísmico  $c$  empleado y de la intensidad solicitada  $z$ .

En lo que sigue las deducciones de las ecuaciones se toman de García-Peréz (1994). Si la tasa de ocurrencia de un sismo de intensidad  $z$  está dada por:

$$\kappa(z) = -\left(\frac{d\mu}{dz}\right) \quad (3.8)$$

Donde:  $\mu(z)$  es la tasa de excedencia de  $z$ , y además se supone la restitución de la estructura a su condición original después de cada temblor, así como también que los temblores son originados por un proceso múltiple de Poisson; entonces la esperanza del valor presente de las pérdidas debidas a todos los sismos,  $v$  en una estructura en el instante  $t=0$  resultan igual a:

$$v = \frac{1}{\gamma} \int_0^{z_m} L_z \kappa(z) dz \quad (3.9)$$

Donde  $z_m$  es la intensidad máxima que puede ocurrir en el sitio en estudio.

De la misma manera que el costo inicial, la esperanza del valor presente de las pérdidas debidas a un sismo  $\bar{v}$  en todas las estructuras construidas en el área en estudio se obtiene mediante:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} v \psi(t) e^{-\gamma t} dt = \frac{\phi}{\gamma} \int_0^{z_m} L_z \kappa(z) dz \quad (3.10)$$

La expresión que define  $L_z$  es resultado de la suma de los daños materiales en la estructura ( $L_{z1}$ ) y los daños económicos indirectos o sociales ( $L_{z2}$ ). La función que define los daños materiales en la

estructura se propone de la forma  $L_{z1} = u\xi(c, z)$ , donde  $\xi(c, z)$  debe ser creciente con  $z$  y decreciente al aumentar  $c$ , de manera que  $\lim_{z \rightarrow 0} \xi = 0$  y  $\lim_{z \rightarrow \infty} \xi = 1$ . Además, se sabe que los daños producidos por sismos de baja intensidad son nulos, por lo que  $\xi$  debe tender rápidamente a cero cuando la intensidad  $z$  tienda a cero. Los costos asociados a  $L_{z2}$  deben ser pequeños cuando  $z$  tiende a cero, ya que no existen daños en el contenido y en elementos no estructurales de los edificios. Sin embargo, cuando  $\xi$  tiende a uno, los valores de  $L_{z2}$  deben ser superiores a los costos  $L_{z1}$  ya que en esta situación se tienen pérdidas de vidas humanas, del contenido de los edificios y caos en la economía de la región. Así, estos costos se definen mediante  $L_{z2} = ub\xi^2(c, z)$ , donde  $b$  es una constante considerablemente mayor que uno. El comportamiento del costo obtenido al sumar ambos términos ( $L_{z1} + L_{z2}$ ) corresponden al anteriormente descrito, es decir, cuando los valores de  $\xi(c, z)$  son pequeños, el valor de  $L_{z2}$  es despreciable ( $\xi^2(c, z) \rightarrow 0$ ). Mientras que para valores de  $\xi(c, z)$  que tiendan a uno, el valor del costo total puede llegar a  $L_z = L_{z1} + L_{z2} = (1 + b)u$ . Por lo tanto los costos ocasionados por sismos se expresan mediante:

$$L_z = L_{z1} + L_{z2} = u\xi(c, z)[1 + b\xi(c, z)] \quad (3.11)$$

Donde la función  $\xi(c, z)$  se toma de García-Pérez (1994) y se define como  $\xi(c, z) = \xi\left(\frac{z}{c}\right) = \xi(\zeta)$ :

$$\xi(\zeta) = 0.025\zeta^6 - 0.015\zeta^9 \text{ si } \zeta \leq 1 \text{ y } \xi(\zeta) = (0.188 + \zeta^{1.8})/(117.8 + \zeta^{1.8}) \text{ si } \zeta > 1 \quad (3.12)$$

Ahora bien si la tasa de ocurrencia de los sismos con intensidad  $z$  se define por:

$$\kappa(z) = -\left(\frac{d[\mu(z)]}{dz}\right) \quad (3.13)$$

Donde:  $\mu(z)$  es la tasa de excedencia de  $z$  que se calcula mediante:

$$\mu(z) = \int_{M_0}^{M_u} -\left(\frac{d\lambda(M)}{dM}\right)P[Z > z|M, R]dM \quad (3.14)$$

Donde  $M_0$  y  $M_u$  son los límites superior e inferior del intervalo de las magnitudes involucradas en el proceso sísmico,  $\lambda(M)$  es la tasa de excedencia de las magnitudes de los temblores considerados,  $P[Z > z|M, R]$  es la probabilidad de ocurrencia de un sismo con intensidad mayor que  $z$ , conocidas la magnitud  $M$  y la distancia  $R$  de la fuente del sitio en estudio.

La tasa de excedencia de las magnitudes de los sismos que se originan en una provincia tectónica se considera igual a (Cornell y Vanmarcke, 1969):

$$\lambda(M) = \alpha_1(e^{-\beta M} - e^{-\beta M_m}) \quad (3.15)$$

Donde  $M$  es el valor de la magnitud para la cual se calcula la tasa de excedencia,  $M_m$  el valor máximo de  $M$  que puede ocurrir en la provincia;  $\alpha_1$  y  $\beta$  son constantes. Por lo tanto el término  $-\left(\frac{d\lambda(M)}{dM}\right)$  requerido en la expresión (3.14) es igual a:

$$-\left(\frac{d\lambda(M)}{dM}\right) = \alpha_1\beta e^{-\beta M} \quad (3.16)$$

Para definir la distribución condicional  $z$  dado  $M$  y  $R$ , se supone que está determinada por una lognormal con mediana igual a la ley de atenuación. Esta ley se considera igual a  $z = \alpha R^{-2} e^{\beta' M}$ , donde  $\alpha$  y  $\beta'$  son variables que dependen del periodo fundamental de vibración de la estructura  $T$ , y de su posición  $x, y$ . Así se tiene que al relacionar la variable aleatoria  $Z$  con una  $X$  definida por una distribución normal estándar acumulada resulta:

$$P[Z > z|M, R] = \Phi(X) \quad (3.17)$$

Donde  $X = \frac{\ln(\alpha R^{-2}) - \ln z + \beta' M}{\sigma_{\ln z}}$ . La desviación estándar del  $\ln z$  se toma de Ordaz y col. (1989) y se considera igual a 0.7. Al sustituir las expresiones 3.16 y 3.17 en 3.14, la tasa de excedencia de  $z$  queda definida por:

$$\mu(z) = \int_{M_0}^{M_u} \alpha_1 \beta e^{-\beta M} \Phi(X) dM \quad (3.18)$$

La tasa de ocurrencia de la intensidad  $z$  se obtiene al derivar, según el Teorema de Leibnitz, el negativo de la expresión 3.18, que resulta:

$$\kappa(z) = \int_{M_0}^{M_u} \frac{\alpha_5}{z} e^{[-\beta M - \frac{x^2}{2}]} dM \quad (3.19)$$

Donde  $\alpha_5 = \frac{\alpha_4}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln z}}$ , y  $\alpha_4 = \alpha_1 \beta$ . Sustituyendo las expresiones 3.11 y 3.19 en 3.10 se tiene que la esperanza del valor presente de las pérdidas por sismo en todas las estructuras construidas en el área en cuestión están dadas por:

$$\bar{v} = \frac{\phi u \alpha_5}{\gamma} \int_0^{z_m} \int_{M_0}^{M_u} \frac{1}{z} \xi(c, z) [1 + b \xi(c, z)] e^{[-\beta M - \frac{x^2}{2}]} dM dz \quad (3.20)$$

Una vez conocidas las fronteras, el costo total  $W_k$  asociado a una zona  $k$  se define como:

$$W_k = u_k [(F_k - F_{(k-1)}) + (G_k - G_{(k-1)})] \quad (3.21)$$

Donde

$$F_k = \iint \phi(x, y) dx dy \quad (3.22)$$

$$\gamma G_k = \iint \frac{\phi u \alpha_5}{\gamma} \int_0^{z_m} \int_{M_0}^{M_u} \frac{1}{z} \xi(c, z) [1 + b \xi(c, z)] e^{[-\beta M - \frac{x^2}{2}]} dM dz dx dy \quad (3.23)$$

Los términos  $F_k$  están relacionados al costo inicial de las estructuras, mientras que los  $G_k$  se asocian a los costos indirectos y sociales debidos a la ocurrencia de un sismo. Las sumatorias cubren el área en que  $c \leq c_k$ . El coeficiente óptimo  $c_k$  se calcula numéricamente de tal forma que  $W_k$  sea mínimo. Esta expresión toma en cuenta la incertidumbre en la ley de atenuación para evaluar la esperanza del valor presente de los costos totales de las estructuras dada una intensidad  $z$ , con su tasa de excedencia correspondiente, y un coeficiente de diseño sísmico  $c$ .

Una manera para considerar los efectos de sitio que afectan a las intensidades  $z$  es presentado en Castellanos(2001) y consiste en tomar un punto de referencia con intensidad  $z_0$ , asociado al periodo  $T=0$  (que en adelante se denomina como  $T_0$ ) y coordenadas  $x_0, y_0$ , del cual se conocen sus coeficientes  $\alpha_0$  y  $\beta'_0$ . Si se suponen constantes y deterministas los factores de participación  $H_{0xy}$  y  $H_{Txy}$  que se definen según:

$$H_{0xy} = \frac{z(T_0, x, y)}{z(T_0, x_0, y_0)} = \frac{z_{0xy}}{z_0} \quad H_{Txy} = \frac{z(T, x, y)}{z(T_0, x, y)} = \frac{z}{z_{0xy}} \quad (3.24)$$

Donde  $z_{0xy}$  es la aceleración del suelo en el punto  $x, y$ . Entonces se puede demostrar que:

$$P[Z > z | M, R] = P[Z_0 > z_0 | M, R] = \Phi(X_0) \quad (3.25)$$

$$\text{Donde } X_0 = \frac{\ln(\alpha_0 R^{-2}) - \ln(z / (H_{Txy} H_{0xy})) + \beta'_0 M}{\sigma \ln z_0} \quad (3.26)$$

Los factores de amplificación  $H_{0xy}$  y  $H_{Txy}$  así definidos, desprecian los efectos no lineales de sitio, así como también su dependencia al origen y mecanismo de la fuente sísmica.

El planteamiento para el cálculo del costo total utilizando esta alternativa se obtiene al desarrollar el procedimiento descrito, pero sustituyendo la expresión 3.17 por la 3.25.

Para considerar la presencia de distintos tipos de suelo, deben modificarse los parámetros que definen la atenuación de la aceleración del suelo en cada punto de la región en estudio.

### 3.3 Coeficientes óptimos considerando varios tipos estructurales.

Se supone la división en  $K$  zonas de una región constituida por  $J$  celdas dentro de las cuales existen  $I$  tipos de estructuras. Si cada celda fuera una zona, el costo inicial de la estructura tipo  $i$  en el punto  $x, y$  dentro de la celda  $j$  sería  $u_i(c_{ij})$ , donde  $c_{ij}$  sería el vector de los parámetros de diseño para el tipo  $i$  en esta celda. La esperanza del valor presente de todas las estructuras tipo  $i$  por unidad de área sería entonces:

$$\bar{u}_i(c_{ij}) = \phi_i(x, y) u_i(c_{ij}) \quad (3.27)$$

Donde

$$\phi_i(x, y) = \int_0^{\infty} \psi_i(x, y, t) e^{-\gamma t} dt \quad (3.28)$$

Siendo  $\psi_i(x, y, t)$  igual al número de estructuras tipo  $i$  que se construirán en el punto  $x, y$  por unidad de área y por unidad de tiempo y  $\gamma$  es la tasa de descuento.

Siguiendo un procedimiento análogo al caso de una dimensión, la esperanza del valor presente de las pérdidas ocasionadas por todos los temblores está dada por:

$$\bar{v} = \frac{\phi_i u_i(c_{ij}) \alpha_5}{\gamma} \int_0^{z_m} \int_{M_0}^{M_u} \frac{1}{z} \xi(c, z) [1 + b \xi(c, z)] e^{[-\beta M - \frac{x^2}{2}]} dM dz \quad (3.29)$$

Las variables involucradas en la expresión anterior son las mismas que se definieron para el caso de una dimensión. Combinado las ecuaciones 3.27 y 3.29, y luego integrando sobre el intervalo correspondiente se encuentra el valor esperado de todos los tipos  $i$  que se construirán en el área correspondiente a la celda  $j$ , si dicha celda fuera una zona:

$$w_{ij}(c_{ij}, z_{ij}) = \iint_j [\bar{u}_i(c_{ij}) + \bar{v}_i(c_{ij}, z_{ij})] dx dy \quad (3.30)$$

Para el caso en el que la celda  $j$  sea asignada a la zona  $k$ , el costo de la celda  $j$  está dado por la expresión 3.30 cuando se sustituye en ella  $c_{ij}$  por  $c_{ik}$ . Así, si la zona  $k$  esta constituida por  $N$  de las  $J$  celdas que componen a la región, entonces el costo asociado a dicha zona  $k$ , se define como:

$$W_{ik} = u_k [F_{ik} + G_{ik}] \quad (3.31)$$

Donde:

$$F_{ik} = \iint_N \phi_{ij}(x, y) dx dy \quad (3.32)$$

y

$$G_{ik} = \iint_N \frac{\phi_{in} u \alpha_5}{\gamma} \int_0^{z_m} \int_{M_0}^{M_u} \frac{1}{z} \xi(c_{in}, z_{in}) [1 + b \xi(c_{in}, z_{in})] e^{[-\beta M - \frac{x^2}{2}]} dM dz dx dy \quad (3.33)$$

De la misma manera que en el caso que involucra un solo tipo estructural, los términos  $F_{ik}$  están relacionados con el costo inicial de las estructuras, mientras que los  $G_{ik}$  se asocian a los costos indirectos y sociales debidos a la ocurrencia de un sismo. Las sumatorias cubren el área correspondiente a las  $N$  celdas que constituyen la zona  $k$ .

La expresión 3.31 es análoga a la expresión 3.21, correspondiente al caso en que considera un solo tipo estructural, y ambas son empleadas para evaluar el costo por zonificar en los ejemplos que se muestran en el presente trabajo.

Para considerar los efectos de sitio mediante factores de amplificación  $H_{0xy}$  y  $H_{Txy}$  en planteamiento con diversos tipos estructurales, se deben realizar las modificaciones pertinentes en el procedimiento anterior, similares al caso de una dimensión, al emplear las expresiones 3.24 y 3.25 (Castellanos, 2001).

## 4. Métodos de Zonación tomados de la Inteligencia Artificial.

La zonación sísmica óptima consiste en que dada un área geográfica que puede ser descrita por una función continua  $A(x,y)$  con características de sismicidad  $z(x,y)$  y densidad de estructuras  $\phi(x,y)$  conocidas, encontrar las fronteras interzonales que minimizan el desperdicio producido por la zonación, obteniendo además los coeficientes sísmicos óptimos con los que deberán ser diseñadas las estructuras a construir en dicha área.

Este es un problema de optimización en el cual el objetivo es la clasificación o reconocimiento de patrones en un conjunto de datos. La optimización se refiere al proceso de asignar recursos escasos a manera de producir el mejor efecto posible. Las herramientas de optimización entran en juego día con día en la solución de problemas de planeación industrial, asignación, programación, toma de decisiones, etc. Debido a esto, nuevas técnicas de optimización aparecen constantemente, a menudo estimuladas por una visión fascinante de otros campos, como es el caso de la inteligencia artificial que recurre a los denominados algoritmos genéticos, que están basados en criterios análogos a los desarrollados por la naturaleza para la selección de las especies mejor adaptadas durante su evolución. El proceso se inicia mediante la creación de una población determinista o aleatoria, constituida por un conjunto de cromosomas que contienen la información de los parámetros necesarios para la función que vaya a ser optimizada. Los cromosomas están compuestos de genes, y los valores posibles que cada gen puede tomar se denominan alelos. 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, o entidades definidas por calles u otros límites jurisdiccionales) representadas por los genes y 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 (Castellanos, 2004). Asimismo se cuenta con las redes neuronales artificiales, las cuales procesan la información de la misma manera en que lo hacen los sistemas nerviosos biológicos, tales como el cerebro, para la toma de decisiones óptima. La clasificación de patrones es un dominio en el cual las redes neuronales, se ha comprobado (Hopfield y Tank, 1985; Smith, 1998), brindan una mejor solución que los métodos de programación lineal. En lo que sigue se estudiarán las redes neuronales y los distintos modelos de red neuronal utilizados para la solución de problemas de optimización, hasta encontrar uno que se ajuste al problema de la zonación sísmica.

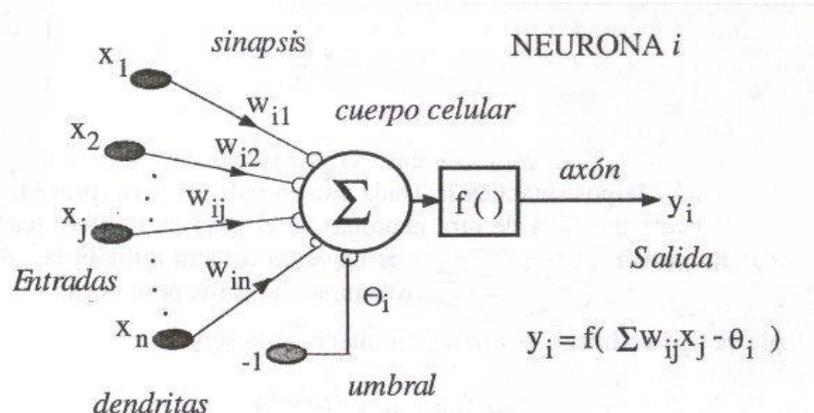
### 4.1 Redes Neuronales.

Una red neuronal artificial es un sistema de procesamiento de información que tiene características de rendimiento comunes con la red neuronal biológica, se han desarrollado como generalizaciones de los modelos matemáticos de la cognición humana o biología neuronal, basados en los supuestos que:

1. El procesamiento de la información ocurre en un conjunto de elementos simples llamados neuronas.

2. Las señales se transmiten entre las neuronas mediante enlaces de conexión.
3. Cada enlace de conexión tiene asociado un peso  $W_{ij}$  que multiplica la señal transmitida
4. Cada neurona aplica una función  $f$  de activación a su entrada neta (la suma de las señales multiplicadas por sus pesos) para producir una salida  $y_i$ .

La figura 4.1 muestra una neurona artificial típica, los valores de las entradas  $x_j$  son multiplicadas por cada uno de los pesos  $W_{ij}$ , la suma de estos productos genera la entrada neta que es modificada por la función de activación  $f$  y produce la salida  $y_i$ .



**Figura 4.1. Estructura de una neurona artificial típica.**

Una red neuronal es caracterizada por:

1. La arquitectura: Es el arreglo de neuronas en capas y el patrón de conexiones entre las capas. La red ilustrada en la figura 4.2 está compuesta por una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida. Un peso  $W$  entre dos neuronas en capas adyacentes, representa la fuerza de conexión que se ejerce entre ellas.
2. El entrenamiento o algoritmo de aprendizaje: El método para la determinación de los pesos entre las neuronas, que puede ser supervisado cuando a la red se le presenta un conjunto de vectores de entrada con una salida asociada y los pesos se ajustan de manera iterativa para que produzcan la salida deseada; o no supervisado cuando solo se presenta un conjunto de vectores de entrada y la red neuronal modifica sus pesos de manera que vectores con características semejantes presenten la misma salida.
3. La función de activación: Que transforma la entrada neta y produce una señal de salida. Algunas funciones de activación comunes son: la función identidad, la función de Heaviside y la función sigmoidea.

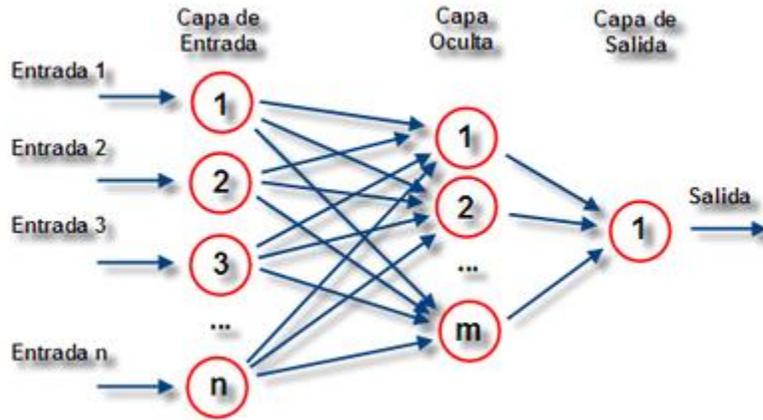


Figura 4.2. Red Neuronal Artificial

## 4.2 Modelos de Redes Neuronales Artificiales.

### 4.2.1 El modelo del perceptrón.

El primer modelo de red neuronal desarrollado fue el perceptrón, y su aplicación a la solución de problemas de clasificación condujo a resultados razonablemente buenos (Rosenblatt 1958, 1962). Este modelo consiste en una sola capa de neuronas, cuyos pesos y umbrales pueden ser entrenados para producir un vector de salida correcto cuando se le presenta el vector de entrada correspondiente. La técnica de entrenamiento usada se llama regla de aprendizaje del perceptrón. El perceptrón generó gran interés debido a su capacidad para generalizar a partir de los vectores de entrenamiento y trabajar con conexiones distribuidas aleatoriamente.

La regla de aprendizaje del perceptrón se ha demostrado que converge en un tiempo finito si la solución existe. Un conjunto de vectores de entrada y salida conocidos (conjunto de entrenamiento) se presentan a la red, uno tras otro. Si la salida de la red es correcta, no hay ningún cambio. De lo contrario, los pesos y umbrales se actualizan mediante la regla de aprendizaje del perceptrón. Un ciclo completo a través de todos los vectores de entrada de entrenamiento se denomina una época. Los ciclos se repiten hasta que el error de aprendizaje se considera aceptable; cuando esto sucede, el entrenamiento se ha completado. Después de esto, un vector que no pertenezca al conjunto de entrenamiento puede ser presentado a la red y está tenderá a exhibir generalización al producir una salida similar a la generada para los vectores de entrenamiento que estén cerca del vector mencionado.

Se han hecho aplicaciones del perceptrón a la solución de problemas de optimización en ingeniería por ejemplo: Hurtado y Álvarez (2002) utilizan este modelo en combinación con algoritmos evolutivos para la optimización estocástica de estructuras basada en confiabilidad. Moller, Foschi, et.al. (2007) presentan un proceso de optimización de estructuras sismorresistentes basado en el modelo del perceptron y que consiste en encontrar valores a ciertos parámetros de diseño, tal que la estructura satisfaga probabilidades de excedencia anual admitidas, o índices de confiabilidad, y que minimice alguna función objetivo como el peso total o el costo final. Derras y

Bekkouche (2010) utilizan el modelo para estimar la máxima aceleración que se puede esperar en el terreno, utilizando como datos de entrada la magnitud, la profundidad focal, la distancia epicentral y el espesor de las capas de sedimentos para una velocidad de ondas de cortante de 800 m/s. Para el uso de esta red se debe contar con un conjunto de datos para su entrenamiento (aprendizaje supervisado) a fin de obtener una respuesta con un nivel de error previamente establecido y que se considere aceptable.

#### 4.2.2 El modelo de Hopfield.

A principios de los años ochenta, Hopfield desarrolló un modelo de red neuronal, denominado Modelo Discreto de Hopfield (Hopfield y Tank, 1985) el cual fue utilizado para diseñar memorias de contenido direccionable (CAM) la cual es un tipo de memoria de computadora empleada en aplicaciones que requieren velocidades muy elevadas, y que es mucho más eficiente que la memoria de acceso aleatorio (RAM). Posteriormente Hopfield amplió este diseño a una versión en la que utilizaba una función no lineal continua para presentar la actividad de las neuronas a su salida de la red, este modelo es conocido como Modelo Continuo de Hopfield.

El tipo de aprendizaje de la red Hopfield es de tipo no supervisado, off-line, esto último indica que la red aprende mientras no está en funcionamiento, es decir, se necesitan dos etapas en su aplicación: la etapa de aprendizaje, en la cual la red memoriza la información que se le presenta; y la etapa de funcionamiento.

La peculiaridad de esta red, es la incorporación de una función de energía, que se basa en una analogía entre el comportamiento de la red neuronal y el de algunos sistemas físicos: así como estos evolucionan a un estado de equilibrio, una red de neuronas siempre evolucionará hacia un mínimo de la función de energía; por lo que los estados estables de una red neuronal corresponden a un mínimo de la función de energía. La gráfica de la función de energía es una superficie de dos dimensiones, que presenta varios mínimos locales, pero que no necesariamente son el mínimo global.

En un problema de optimización la función objetivo se formula de manera que pueda representarse mediante una función de energía; para el caso discreto tal función es la siguiente:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} s_i s_j + \sum_{i=1}^N \theta_i s_i \quad (4.1)$$

donde:

$w_{ij}$  = Peso de la conexión entre las neuronas i y j respectivamente.

$s_i$  = Valor de la salida de la neurona i.

$s_j$  = Valor de la salida de la neurona j.

$\theta_i$  = Valor del umbral de la función de activación de la neurona i.

Para el caso continuo, la función de energía viene dada por:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^N w_{ij} s_i s_j + \sum_{i=1}^N \int_0^{s_i} f^{-1}(s) ds \quad (4.2)$$

Donde:

$f^{-1}$  = Inversa de la función de activación sigmoial.

$$f(x - \theta_i) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(x - \theta_i)}} \quad x > \theta_i \quad (4.3)$$

Hopfield y Tank (1985) aplican este modelo de red neuronal a la solución del problema del viajante o del vendedor viajero, cuyo planteamiento es el siguiente: Sean N ciudades de un territorio. El objetivo es encontrar una ruta que, comenzando y terminando en una ciudad concreta, pase una sola vez por cada una de las ciudades y minimice la distancia recorrida por el viajante. Los resultados obtenidos mediante su solución con redes neuronales fueron muy efectivos en relación a los tiempos de ejecución. Smith (1998) utiliza la red Hopfield para la optimización de una red de entrega de servicio postal, aquí el problema consiste en determinar cuál de las N oficinas postales debe ser designada como el centro de clasificación p, y a qué centro de clasificación las oficinas restantes deben ser asignadas, de manera que los costos totales de los fletes de la red de entrega postal sea mínimo.

#### 4.2.3 El modelo de Boltzman (La máquina de Boltzman).

Este modelo de red neuronal fue propuesto en 1985 y se deriva a partir de la red Hopfield, se le conoce también como red neuronal estocástica. Su aprendizaje y funcionamiento están basados en una técnica conocida como temple simulado, que tiene la capacidad de escapar de mínimos locales para alcanzar el mínimo global (Ackley et al. 1985). La idea del temple simulado proviene del proceso de temple que se efectúa en metales, en este proceso un metal es calentado hasta un punto cercano a su fusión y, a partir de ahí es enfriado lentamente hasta la temperatura ambiente. Este proceso causa que la función de energía global del metal pueda alcanzar su valor mínimo absoluto.

La diferencia entre la máquina de Boltzman y la red Hopfield es que en la primera la salida es una función estocástica de la entrada neta. La técnica de temple simulado para el aprendizaje y funcionamiento provee a la red la capacidad de escapar de los mínimos locales para alcanzar un mínimo global, esto debido a que permite pequeños incrementos en la función de energía y gracias a este incremento se permite la posibilidad de escapar de mínimos locales y continuar en la búsqueda del mínimo global.

Este modelo ha sido utilizado para la solución de problemas de asignación de recursos, como el mostrado por Martínez-González (IPN, 2002) quien desarrolla un modelo basado en la máquina de Boltzman para la solución del problema de distribución óptima en planta, el cual consiste en hallar la ubicación ideal de un grupo de elementos, ya sea máquina o departamento, de manera que se produzca el mayor beneficio, en términos de algún tipo de costos o utilidades.

Tanto la red Hopfield como la máquina de Boltzman pueden ser usadas para la solución del problema de zonación sísmica óptima al incorporar a la función de energía la función objetivo, que en este caso es la esperanza del valor presente del costo total. Lo anterior junto con la búsqueda experimental de las constantes para la función de energía haría posible el planteamiento de una expresión que al ser minimizada proporcione una solución aceptable al problema de zonación.

#### **4.2.4 El modelo de Red de Kohonen. (Mapas auto-organizados)**

El profesor Teuvo Kohonen de la Universidad Tecnológica de Helsinki presentó en 1982 un modelo de red neuronal con capacidad para formar mapas de características de manera similar a como ocurre en el cerebro, a través de una organización matricial de neuronas artificiales. El objetivo del profesor Teuvo Kohonen era demostrar que un estímulo externo (información de entrada) por sí solo, suponiendo una estructura propia y una descripción funcional del comportamiento de la red, era suficiente para forzar la formación de mapas topológicos de las informaciones recibidas del exterior.

Los mapas auto-organizados son un tipo de red neuronal que provee una manera de representar datos multidimensionales en espacios de más baja dimensión. Además, este tipo de red neuronal almacena información de tal manera que cualquier relación topológica contenida en el conjunto de entrada se conserva. Los mapas auto-organizados tienen la característica de que ellos aprenden a clasificar datos sin supervisión. El mapa auto-organizado no requiere un vector objetivo ya que aprende a clasificar los datos de entrenamiento sin ningún tipo de supervisión externa, esto a diferencia de las técnicas de entrenamiento supervisado, tales como la retro-propagación, que utilizan un par de vectores (el vector de entrada y el vector de salida). Con este enfoque un vector de entrada es presentado a la red y su salida es comparada con el vector objetivo. Si ellos difieren, los pesos de la red son modificados ligeramente para reducir el error en la salida. Esto se repite muchas veces y con varios pares de vectores hasta que la red consigue la salida deseada. Se trata de establecer una correspondencia entre los datos de entrada (neuronas de entrada) y un espacio bidimensional de salida (neuronas de salida), de modo que ante datos con características comunes se activen neuronas situadas en zonas próximas de la capa de salida. Para lograr lo anterior se establece el aprendizaje competitivo, en el que las neuronas de salida compiten entre sí para ser activadas, como resultado solo una consigue ser activada. La neurona que logra activarse se denomina neurona ganadora.

La competición en el aprendizaje puede ser de dos tipos:

1. Competición dura, sólo una neurona consigue los recursos. Un criterio lógico para seleccionar el ganador en una red de este tipo podría ser la proximidad entre los datos de entrada y los de salida, así la neurona más próxima a cierta entrada sería la vencedora.
2. Competición blanda, hay un vencedor claro, pero sus vecinos comparten un pequeño porcentaje de los recursos del sistema. Aquí debe implementarse un criterio de inhibición lateral entre las neuronas para lograr que se modifiquen las neuronas vecinas. La regla de competición blanda lleva los vectores de pesos hacia la entrada actual, y la neurona

vencedora y sus vecinas se actualizan en cada paso, moviéndose todas hacia la misma posición, aunque las vecinas lo hacen más lentamente a medida que la distancia aumenta. Esto organiza las neuronas de modo que las que están en un entorno comparten la representación de la misma área del espacio de entradas, independientemente de su localización inicial.

En neurobiología, la competición blanda está ampliamente extendida (N. K. Bose and P. Liang, 1996) y ha sido la inspiración para los modelos desarrollados hasta el momento.

Una red de neuronas competitiva típica consiste en una capa de neuronas en la que todas reciben la misma entrada. La neurona que presenta la mejor salida (la máxima o la mínima según el criterio) es declarada vencedora. El concepto de elegir un vencedor a menudo requiere un controlador global que compare cada salida con todas las demás. Una red en la que se encuentre la mayor o la menor salida, sin necesidad de control global es denominada a menudo winner-take-all (va todo al ganador).

La red de mapas auto-organizados es tan diferente de las otras debido a su capacidad para trasladar la estructura del espacio de entradas al espacio de salidas: crea un espacio de salidas discreto donde se conservan las relaciones topológicas entre los elementos del espacio de entrada, lo que quiere decir que la distribución de los datos de entrada se conserva aproximadamente. La conservación de los entornos es importante para aplicaciones que requieren la conservación de una métrica en el espacio de entradas y la red lo hace de una manera no supervisada.

#### 4.2.4.1 Arquitectura de la red de mapas auto-organizados.

En su forma más simple, los mapas auto-organizados constan de dos capas, la capa de entrada que contiene la información a clasificar o datos de entrenamiento y la capa de salida que es un arreglo de neuronas, que contienen cada una un vector de pesos de la misma dimensión que el vector de entrada. Es decir si el conjunto de datos de entrenamiento consiste de  $i$  vectores  $V$  con  $n$  componentes cada uno:

$$V_1, V_2, V_3, \dots, V_i \tag{4.4}$$

Entonces la capa de salida estará compuesta por  $k$  neuronas:

$$U_1, U_2, U_3, \dots, U_k \tag{4.5}$$

Y cada neurona en la capa de salida debe contener un vector de pesos  $W$ , cuyas componentes  $w$  deben ser:

$$W_{ik} = \langle W_1, W_2, W_3, \dots, W_n \rangle \tag{4.6}$$

La metodología para la implementación de la red de Kohonen para búsqueda de la clasificación óptima consiste en los siguientes pasos:

El primero trata sobre la normalización de las entradas, esto es, cada uno de los atributos tiene que ser escalado de manera que su norma sea la unidad. Esto previene que alguno de los atributos arbitrariamente domine la clasificación. El proceso de entrenamiento consiste en encontrar la neurona cuyo peso está más cercano al vector de datos de entrada y declarar que esa neurona es la ganadora. A fin de mantener la similitud de las neuronas topológicamente cercanas, los pesos de todas las neuronas dentro de un radio selecto (vecindario) se ajustan. La neurona ganadora se ajusta en mayor cantidad, lo cual hará que sus pesos sean más cercanos a los valores de los datos de entrada. Todas las neuronas se ajustan por cantidades menores, inversamente proporcionales a su distancia a la neurona ganadora. Conforme la iteración progresa y el error se reduzca, el radio de corrección se reduce gradualmente también. Esto eventualmente tenderá hacia una neurona de distancia; así ninguna otra neurona será ajustada más que la neurona ganadora. El entrenamiento termina cuando la raíz media cuadrática de los errores de los vectores de entrada se reduce a un valor aceptable o si el número de iteraciones prescritas se alcanza. El método para encontrar la similitud de dos vectores en la red es el siguiente: Sea  $V(i)$  un vector en el conjunto de datos de entrenamiento y sea  $W(i,k)$ , el peso correspondiente a este vector en la neurona  $k$ , se busca la similitud entre estos dos vectores al calcular la distancia Euclidiana definida como:

$$DE_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n [V(i) - W(i,k)]^2} \quad (4.7)$$

En este caso un resultado igual a cero significará que los dos vectores son idénticos. Un valor de cerca de dos veces las amplitudes normalizadas, significará que están en dirección opuesta, así que no son similares. Esto se repite para todas las neuronas y la neurona con la mínima distancia euclidiana se elige como la ganadora.

En el caso en el que una neurona sea continuamente la ganadora, el cálculo de la distancia también puede modificarse para permitir que algunas otras neuronas ganen. Este proceso se llama "conciencia".

El proceso de clasificación óptima es entonces, el cálculo de las distancias del conjunto de entrada a cada una de las neuronas y clasificar la entrada como perteneciente a la clase representada por la neurona ganadora.

Las aplicaciones que más destacan de los mapas auto-organizados son las relacionadas con el reconocimiento de patrones, o extracción de características, por ejemplo:

1. Reconocimiento de voz.
2. Reconocimiento de texto manuscrito.
3. Codificación de datos.
4. Compresión de imágenes.
5. Resolución de problemas de optimización.

Dado que el problema de zonación óptima, trata sobre la clasificación y búsqueda de patrones en un conjunto de datos que representan las características sísmicas y geográficas de una región, la red de mapas auto-organizados, se hace idónea para la solución de nuestro problema.

### 4.3 Mapas auto-organizados aplicados a la zonación sísmica óptima.

Para la aplicación de los mapas auto-organizados a la zonación sísmica óptima se considera que la región a zonificar está compuesta por  $J$  celdas en cada una de las cuales se conocen  $m$  características numéricas relacionadas con la sismicidad y localización geográfica para  $l$  tipos estructurales. Las  $J$  celdas conformarán la capa de entrada y las  $n$  características serán las componentes del vector asociado a cada neurona de entrada. La capa de salida estará compuesta por  $K$  neuronas que son las zonas sísmicas esperadas, cada neurona de salida estará relacionada con las neuronas de entrada mediante un vector de pesos  $W_{jk}$  con  $n$  componentes que se inicializa de manera aleatoria. De esta manera puede calcularse la distancia euclidiana mediante la ecuación 4.7 para todas las neuronas  $J$  y al final aquella con la mínima distancia, se asigna a la zona  $K$ , se repite el procedimiento hasta que todas las celdas hayan sido asignadas a una zona, en este punto se calcula la raíz media cuadrática de todas las distancias mínimas calculadas, este valor será denominado error, el cual se compara con un valor prescrito para regular la convergencia del método (tolerancia); el procedimiento se repite hasta que el error es menor a la tolerancia o hasta superar un número de iteraciones máximo que también debe ser establecido con anterioridad. Se obtendrá como resultado la zonación sísmica óptima que minimiza el costo por zonificar y que además conserva las relaciones topológicas entre los datos de entrada.

#### 4.3.1 Evaluación de la función objetivo.

Se considera una región geográfica con sismicidad conocida que está constituida por  $J$  celdas y que se desea dividir en  $K$  zonas. Se considera la existencia de  $l$  tipos de estructuras, cada uno de ellos caracterizado por su periodo fundamental de vibración  $T_i$  y cada zona está constituida de  $N_k$  celdas, de manera que  $\sum_{k=1}^K N_k = J$ . La forma de la función que evalúa la esperanza del valor presente de los daños debidos a la zonación por cada estructura es  $w(c,z)$  donde  $c$  es el coeficiente de diseño sísmico asignado a la estructura,  $z$  es una medida de la intensidad demandada a la estructura, que se considera como las ordenadas máximas del espectro de aceleraciones, para un periodo de retorno dado y normalizadas por la aceleración de la gravedad.

Por lo tanto, el costo asociado por zonificar a una zona  $k$  y un tipo de estructura  $i$  está dado por:

$$W_{ik} = \sum_{j=1}^{N_k} w(c_{ik}, z_{ij}) \Phi_{ij} \quad (4.8)$$

Donde  $W_{ik}$  es el costo por zonificar asociado a las estructuras del tipo  $i$  que se encuentran en la zona  $k$ ,  $w(c_{ik}, z_{ij})$  es el costo por unidad de área de la estructura por zonificar con un coeficiente  $c_{ik}$  y una demanda de intensidad  $z_{ij}$  asociada al periodo  $T_i$  del tipo de estructura  $i$  localizada en la zona  $j$ .  $\Phi_{ij}$  es la esperanza del valor presente, por celda, del número de estructuras del tipo  $i$  que se construirán en la zona  $k$ . Estos valores se suponen constantes sobre la celda  $j$  considerada.

Obtenidos los coeficientes correspondientes a las otras zonas, se calcula el costo de la región por zonificar como:

$$W_i = \sum_{k=1}^K W_{ik} \quad (4.9)$$

Donde:  $W_i$  es el costo por zonación de la región en estudio considerando el tipo de estructura  $i$ .

En caso de que se consideraran varios tipos de estructuras, el costo por zonación que definido por:

$$W = \sum_{i=1}^I W_i \quad (4.10)$$

Donde:  $W$  es el costo por zonación de la región en estudio considerando  $I$  tipos de estructuras.

Ya sea que se utilice  $W$  o  $W_i$ , el resultado de las simulaciones deberá ser el costo mínimo producido por zonificar una región de sismicidad conocida en  $K$  zonas considerando  $I$  tipos de estructuras.

Después de obtener la zonación óptima el siguiente paso es el cálculo de los coeficientes sísmicos de diseño óptimos, es decir, el coeficiente que causa el costo total mínimo en la zonación. El valor del coeficiente óptimo es aquel que cumple con la condición:

$$\frac{\partial W_{ik}}{\partial c_{ik}} = \frac{d[\sum_{j=1}^{N_k} w(c_{ik}, z_{ij}) \phi_{ij}]}{dc_{ik}} = 0 \quad (4.11)$$

Debido a la complejidad de las expresiones involucradas en el cálculo del costo total, se hace necesaria la aplicación de un método numérico para la búsqueda del coeficiente óptimo. El procedimiento utilizado consistió en calcular el costo para un dominio cerrado de valores de  $c$ , dominio en el cual se considera se presenta el costo mínimo. Al hacerlo de esta manera se logran dos objetivos, el primero encontrar el valor del coeficiente óptimo en ese dominio y el segundo poder observar la variación del costo total conforme varía el valor del coeficiente  $c$ .

#### **4.3.2 Algoritmo computacional para la red de mapas auto-organizados aplicados a la zonación sísmica óptima.**

1. Inicialización de los datos: Cada uno de los vectores del conjunto de neuronas de entrada es normalizado o escalado de manera que su raíz media cuadrática sea la unidad. Esto previene que uno de los atributos domine la clasificación y agrupación.
2. Inicialización de los pesos neurales: Cada neurona en la capa de salida tendrá un peso para cada neurona en la capa de entrada. Para comenzar, se asignan pequeños números aleatorios a cada uno de los pesos. Al principio también inicializaremos el radio del vecindario. Este radio será más grande al inicio para cubrir un gran número de neuronas adyacentes. Conforme las iteraciones crecen, este radio es sistemáticamente reducido a una unidad de distancia.
3. Selección de los datos de entrada: Uno de los vectores de entrada se elige aleatoriamente.
4. Cálculo de la distancia euclidiana: Se calcula la distancia euclidiana entre el vector de entrada y cada uno de los pesos en las neuronas de la capa de salida. El nodo con la mínima distancia euclidiana se declara ganadora. Esto determina la neurona en la capa de

salida cuyo vector de pesos es más parecido al vector de entrada. Así el vector de entrada se asigna a este nodo para su clasificación.

5. Actualización de los pesos del nodo ganador y sus vecinos: Los pesos del nodo ganador se modifican mediante (Teuvo Kohonen, 1990):

$$w_{n+1}(k, j) = w_n(k, j) + \eta(n)[v(j) - w_n(k, j)]$$

Donde  $n$  es el número de la iteración,  $k$  es el nodo ganador y  $j$  es el  $j$ -ésimo vector en la capa de entrada,  $\eta(n)$  es la razón de aprendizaje que se obtiene de manera experimental al ejecutar el algoritmo en repetidas ocasiones. Todos los nodos dentro del vecindario serán modificados, de manera inversamente proporcional a las distancias sobre el mapa (Teuvo Kohonen, 1990).

$$w_{n+1}(m, j) = w_n(m, j) + d(m, k, n)\eta(n)[v(j) - w_n(m, j)]$$

Donde  $d(m, k, n)$  es función del número de iteraciones  $n$ , y la distancia entre la neurona ganadora  $k$  y su vecina  $m$ . Todas las neuronas fuera del vecindario no tendrán corrección.

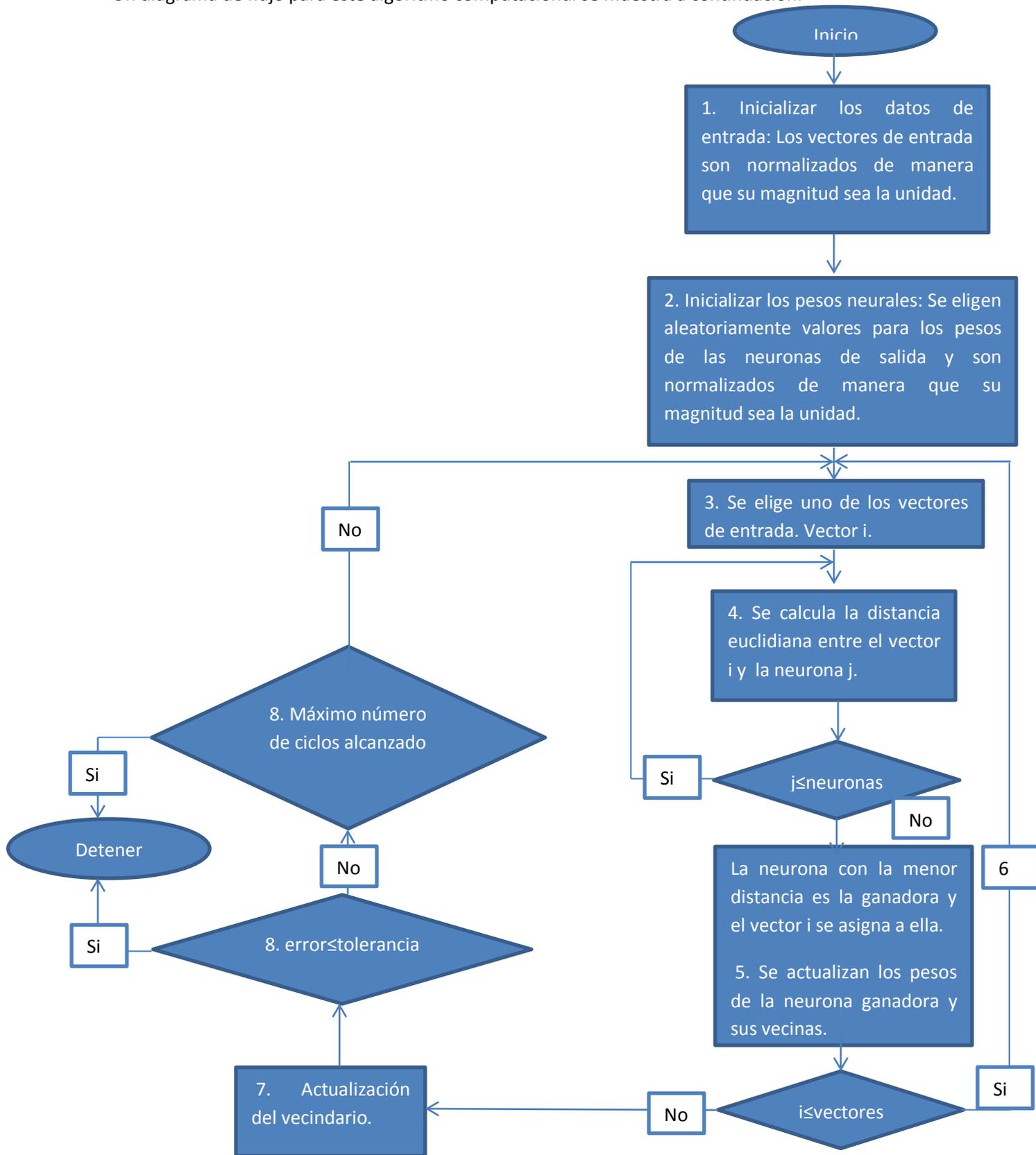
6. Se regresa al paso tres y se elige un nuevo vector para su clasificación.
7. Actualización del vecindario de corrección: Al comienzo el radio inicial puede tomarse suficientemente grande para cubrir la mayoría de los nodos neurales. Este valor debe reducirse conforme el número de iteraciones se incrementa  $d(m, k, n)$  puede hacerse que sea una función inversamente proporcional al número de iteraciones y a la distancia entre la neurona ganadora  $k$  y el nodo  $a$  a ser ajustado  $m$ .
8. Revisar la razón de convergencia para continuar o ir a la iteración final: Cuando todos los vectores de entrada han sido clasificados. Se calcula la raíz media cuadrática de los errores y se revisa si está por debajo del nivel prescrito. De ser así, hemos encontrado los pesos deseados, y la clasificación es la óptima. Si no, entonces regresamos al paso 3 y se inicia una nueva clasificación.

Después que se ha encontrado la clasificación óptima debe procederse a la validación de los resultados, esto es que debe asegurarse que la clasificación obtenida por este método sea consistente con la experiencia o con resultados obtenidos mediante métodos alternos. En nuestro caso se cuenta con los resultados obtenidos por Castellanos (2001), que aplica el método del algoritmo genético para la solución del problema de zonación sísmica, estos resultados servirán como punto de comparación para la clasificación obtenida mediante el método de mapas auto-organizados.

Con el algoritmo anterior se elabora un diagrama de flujo del funcionamiento de la red y posteriormente se programa en el lenguaje C++, adaptado para la solución del problema de zonación sísmica. Los números de la lista anterior se muestran también en el diagrama de flujo.

### 4.3.2.1 Diagrama de flujo para la red de mapas auto-organizados.

Un diagrama de flujo para este algoritmo computacional se muestra a continuación:



## 5. Resultados de la aplicación de los Mapas Auto-organizados.

### 5.1 Aplicación de los mapas auto-organizados para la Clasificación de vectores ortogonales.

Para probar la efectividad del método en la clasificación de datos, se propone como primer ejemplo la clasificación de 4 vectores de entrada cuyas componentes son las siguientes:

Componentes		
# Vector	x	y
V1	1	0
V2	0	1
V3	-1	0
V4	0	-1

Tabla 5.1 Vectores ortogonales.

Gráficamente los vectores quedan representados de la siguiente manera:

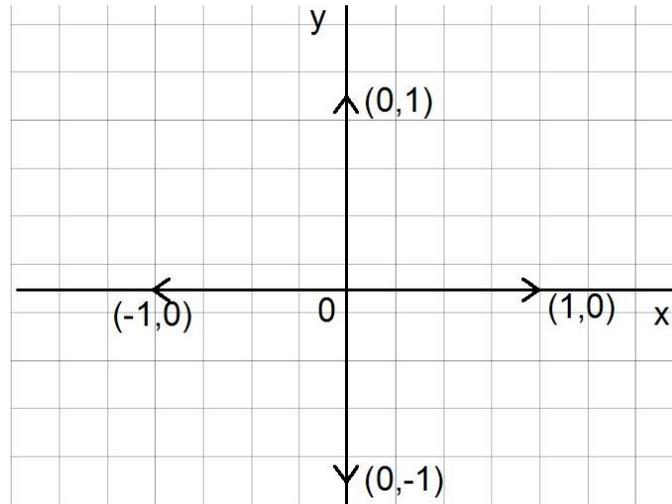


Figura 5.1 Representación gráfica de los vectores.

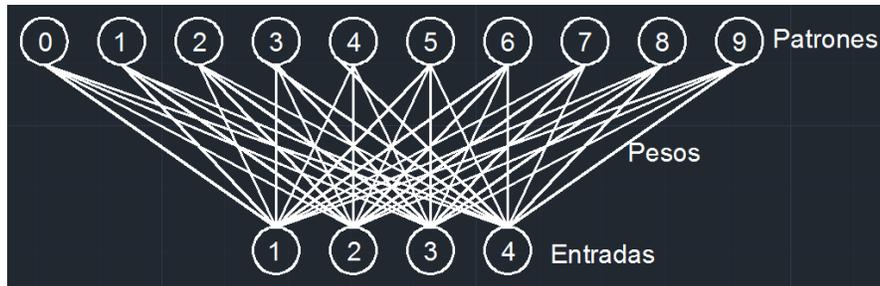
Como puede observarse, los vectores son ortogonales y como consecuencia el ángulo entre cada uno de ellos es  $90^\circ$ . El objetivo es que la red de Kohonen sea capaz de detectar esa característica y asigne cada vector a una neurona diferente. Se implementa el programa desarrollado, con los siguientes valores obtenidos de manera experimental al ejecutar el algoritmo en repetidas ocasiones, a excepción de la tolerancia que se propone con anticipación y del número de componentes del vector de entrada y número de patrones esperados los cuales varían de acuerdo al problema a resolver:

Constante de aprendizaje ( $\eta$ ):	0.3
Tamaño del Vecindario:	2

<b>Frecuencia para modificación de T. V.:</b>	50
<b>Número máximo de ciclos o iteraciones:</b>	500
<b>Tolerancia:</b>	0.05
<b>#componentes del vector de entrada:</b>	2
<b># de regiones o patrones esperados:</b>	10

**Tabla 5.2 Valores de las constantes para la red neuronal.**

La arquitectura de la red se muestra gráficamente en la siguiente figura:



**Figura 5.2 Arquitectura de la Red Neuronal**

Se pone en funcionamiento la red y para la primera iteración se obtiene la siguiente clasificación con un error del 100% :

<b>Vector</b>	<b>Ciclo</b>	<b>nodo ganador</b>	<b>tamaño del vecindario</b>	<b>error</b>
1	1	5	2	100
2	1	6	2	100
3	1	4	2	100
4	1	9	2	100

Después de ocho iteraciones el error se mantiene constante y muestra la clasificación óptima:

<b>Vector</b>	<b>Ciclo</b>	<b>nodo ganador</b>	<b>tamaño del vecindario</b>	<b>error</b>
1	8	0	2	0.059381
2	8	6	2	0.059381
3	8	3	2	0.059381
4	8	9	2	0.059381

**Tabla 5.3. Clasificación óptima de los vectores ortogonales.**

Como se puede observar la red rápidamente pudo lograr una clasificación exitosa de los vectores, asignándolos cada uno a una neurona distinta, como a continuación se muestra:

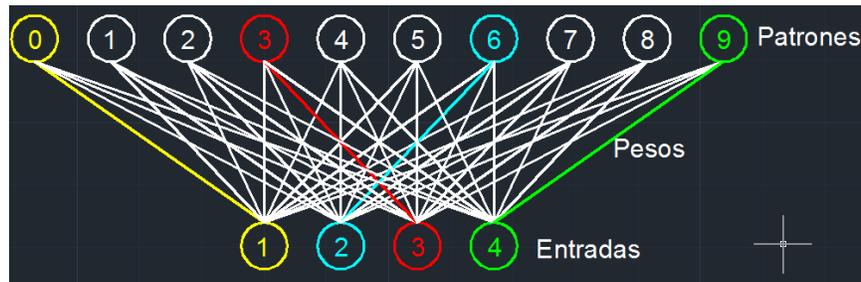


Figura 5.3 Asignación de las entradas a una neurona en la capa de salida

## 5.2 Aplicación de la red de mapas auto-organizados a la zonación sísmica óptima de una región geográfica discretizada en 16 celdas.

Para este ejemplo se muestra en la figura 5.4 una región geográfica compuesta por 16 celdas, las fronteras de dichas celdas coinciden con las divisiones jurisdiccionales de la región y en cada una de ellas se pueden conocer las características de localización geográfica

En la figura 5.5 se muestra la variación del número de estructuras y la intensidad sísmica.

El cálculo de la esperanza del valor presente de las estructuras (costo total de un tipo de estructura; la suma del costo inicial, debido a la construcción de la estructura, más el costo debido a las pérdidas ante la presencia de un sismo) que se construirán en cada celda se calcula de acuerdo con la expresión 3.21, al considerar que la celda es una zona, la ecuación mencionada está en función del número de estructuras y la intensidad sísmica las cuales se consideran constantes a través de cada celda.

Las intensidades se presentan como ordenadas del espectro de aceleraciones (correspondientes a un período de retorno y normalizadas con respecto a la aceleración de la gravedad) asociadas al periodo fundamental de vibración del tipo de estructura en cuestión.

Esta información se utiliza como entrada para la red neuronal y se le pide que busque dentro de estos datos tres patrones definidos y asigne cada celda a solo uno de ellos. De esta manera se espera que la red, pueda clasificar el

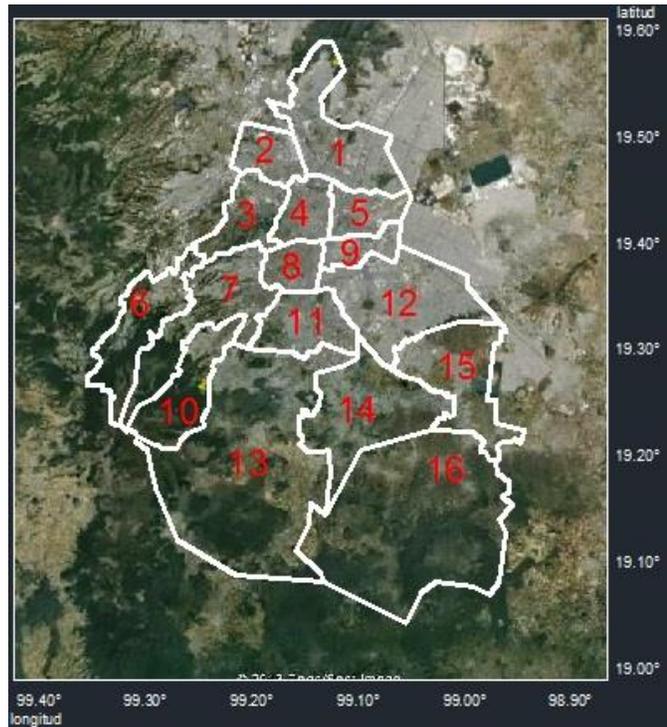


Figura 5.4 Región geográfica compuesta por 16 celdas con características de localización, sismicidad y costo

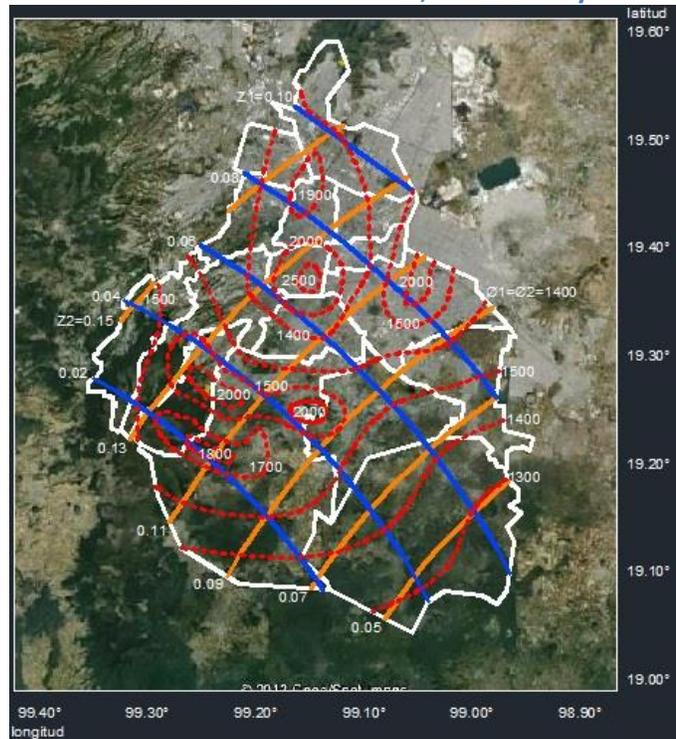


Figura 5.5 Variación espacial de las intensidades  $z_1$  y  $z_2$  y del número de estructuras  $\phi_1$  y  $\phi_2$ , en este caso  $\phi_1 = \phi_2$ .

conjunto de dieciséis vectores en tres zonas, que mantengan características comunes y que a la vez minimicen el costo debido a la zonación.

La tabla 5.4 muestra el valor utilizado para las constantes que aparecen en las ecuaciones 3.20 y 3.29, que son utilizadas para el cálculo de esperanza del valor presente de los costos totales, estas mismas constantes serán consideradas para el resto de los ejercicios aquí presentados.

<b>símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
$\alpha_1$	Constante	20 000
$\alpha_2$	Constante	0.5
$\alpha_3$	Constante	1.3
<b>b</b>	Factor considerablemente mayor a 1	12
$\beta$	Constante	2.2
$\sigma_{lnz}$	Desviación estándar de $\ln z$	0.7
$\beta'$	Constante	1.64
<b>c0</b>	Resistencia lateral de la estructura si no se diseñara para resistir sismo	0.05
$\gamma$	Tasa de descuento	0.05
<b>R</b>	Distancia epicentral (km)	280
<b>a</b>	Constante de la ley de atenuación	1
<b>M<sub>0</sub></b>	Límite inferior del intervalo de magnitudes involucradas en el proceso sísmico	4.5
<b>M<sub>u</sub></b>	Límite superior del intervalo de magnitudes involucradas en el proceso sísmico	8.2

**Tabla 5.4 Valor utilizado para las constantes que intervienen en el cálculo de la esperanza del valor presente del costo total.**

### 5.2.1 Zonación sísmica óptima considerando solo un tipo estructural.

Con base en las figuras 5.4 y 5.5 se obtienen los vectores de entrada que representan las características de la estructura del tipo 1 y se muestran en la tabla 5.5. El costo total se obtuvo de acuerdo con la ecuación 3.31 y se muestra dividido entre mil con la finalidad de mantener el mismo orden de magnitud en las componentes de los vectores de entrada y evitar que uno de ellos domine la clasificación.

<b>Entrada</b>	<b>Aceleración (gals)</b>	<b>Costo total t1/1000</b>	<b>Latitud Norte</b>	<b>Longitud Oeste</b>
<b>1</b>	96.33420	93.84937	19.47774	99.11264
<b>2</b>	86.62230	31.97816	19.48403	99.18447
<b>3</b>	67.10040	48.77820	19.40733	99.19077
<b>4</b>	76.41990	48.31474	19.44242	99.14746
<b>5</b>	88.09380	40.41526	19.42006	99.11273
<b>6</b>	39.73050	84.38408	19.36025	99.28796
<b>7</b>	47.18610	79.41736	19.39812	99.19911
<b>8</b>	68.17950	49.87381	19.40038	99.15844

9	79.36290	32.85302	19.39555	99.09765
10	33.45210	78.31959	19.30444	99.24109
11	58.86000	55.16919	19.34700	99.16143
12	76.32180	114.05812	19.35930	99.09204
13	33.64830	345.61684	19.30168	99.21587
14	53.95500	136.01083	19.27124	99.13499
15	73.47690	91.57956	19.26977	99.03821
16	48.85380	259.33583	19.18713	99.02668

Tabla 5.5 Características del tipo estructural 1.

A continuación se muestra la arquitectura de la red:

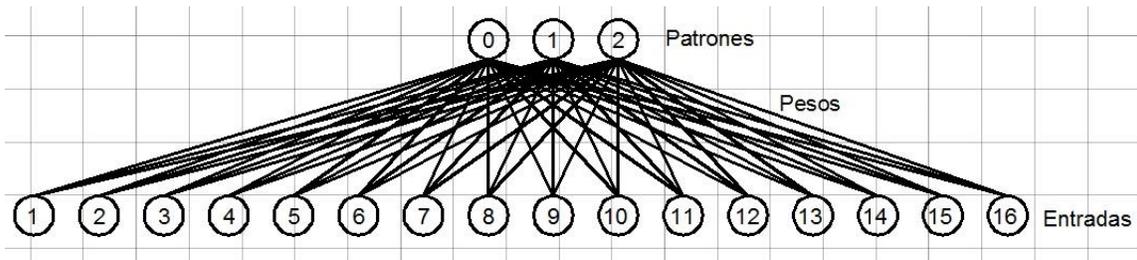


Figura 5.6 Arquitectura de la red neuronal.

Al ejecutar el algoritmo en repetidas ocasiones se determinaron las constantes adecuadas para la correcta ejecución del programa. El número de regiones esperadas se elige con la finalidad de obtener un mapa que ofrezca claridad y facilidad de interpretación en su uso en la práctica profesional.

Constante de aprendizaje:	0.15
Tamaño del Vecindario:	1
Frecuencia para modificación del Tamaño del Vecindario:	10
Número máximo de ciclos:	100
Tolerancia:	0.05
# componentes del vector de entrada:	4
# de regiones o patrones esperados:	3

Tabla 5.6 Valores de las constantes para la red neuronal.

La clasificación óptima presentada por el método después de diecisiete iteraciones fue la que se muestra en la tabla 5.7.

Entrada	Ciclo	Nodo ganador	Tamaño del Vecindario	error
1	17	0	0	0.115478
2	17	0	0	0.115478
3	17	0	0	0.115478

4	17	0	0	0.115478
5	17	0	0	0.115478
6	17	1	0	0.115478
7	17	1	0	0.115478
8	17	0	0	0.115478
9	17	0	0	0.115478
10	17	1	0	0.115478
11	17	0	0	0.115478
12	17	1	0	0.115478
13	17	2	0	0.115478
14	17	1	0	0.115478
15	17	1	0	0.115478
16	17	2	0	0.115478

Tabla 5.7 Clasificación óptima de los vectores para el tipo estructural 1.

Como se puede observar, se han creado tres zonas y cada vector de entrada ha sido asignado solo a una de ellas:

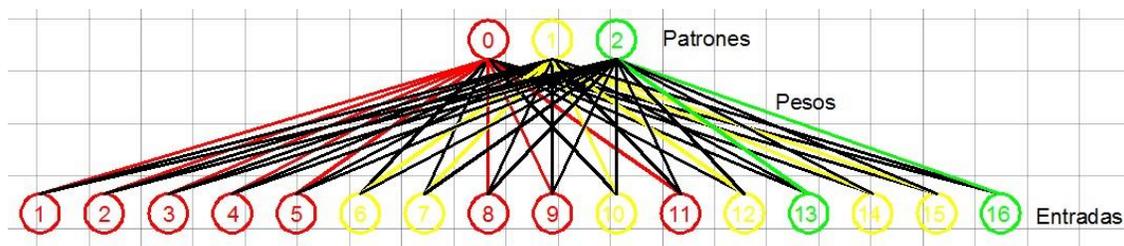


Figura 5.7 Arquitectura de la red mostrando la asignación de las entradas a cada patrón.

Se calcula la variación del costo por zonación conforme las iteraciones aumentan, para asegurarse que realmente se ha minimizado. Se grafican los resultados mostrando sobre el eje x, la variación del número de iteraciones y en el eje y, el costo asociado a cada iteración, los resultados se muestran en la siguiente figura:

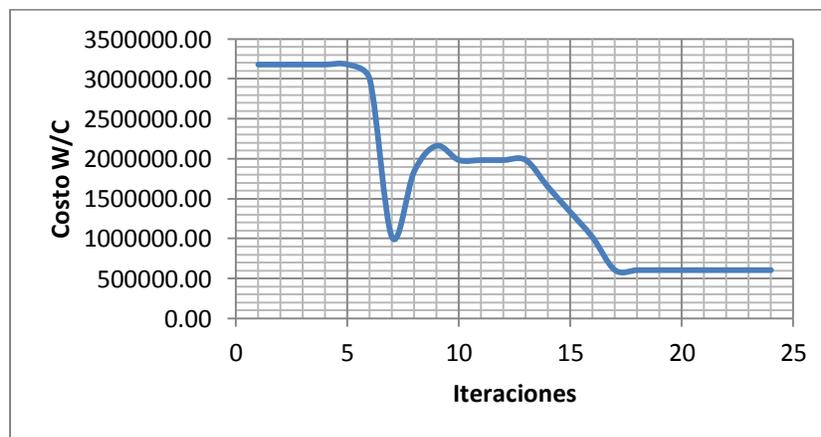
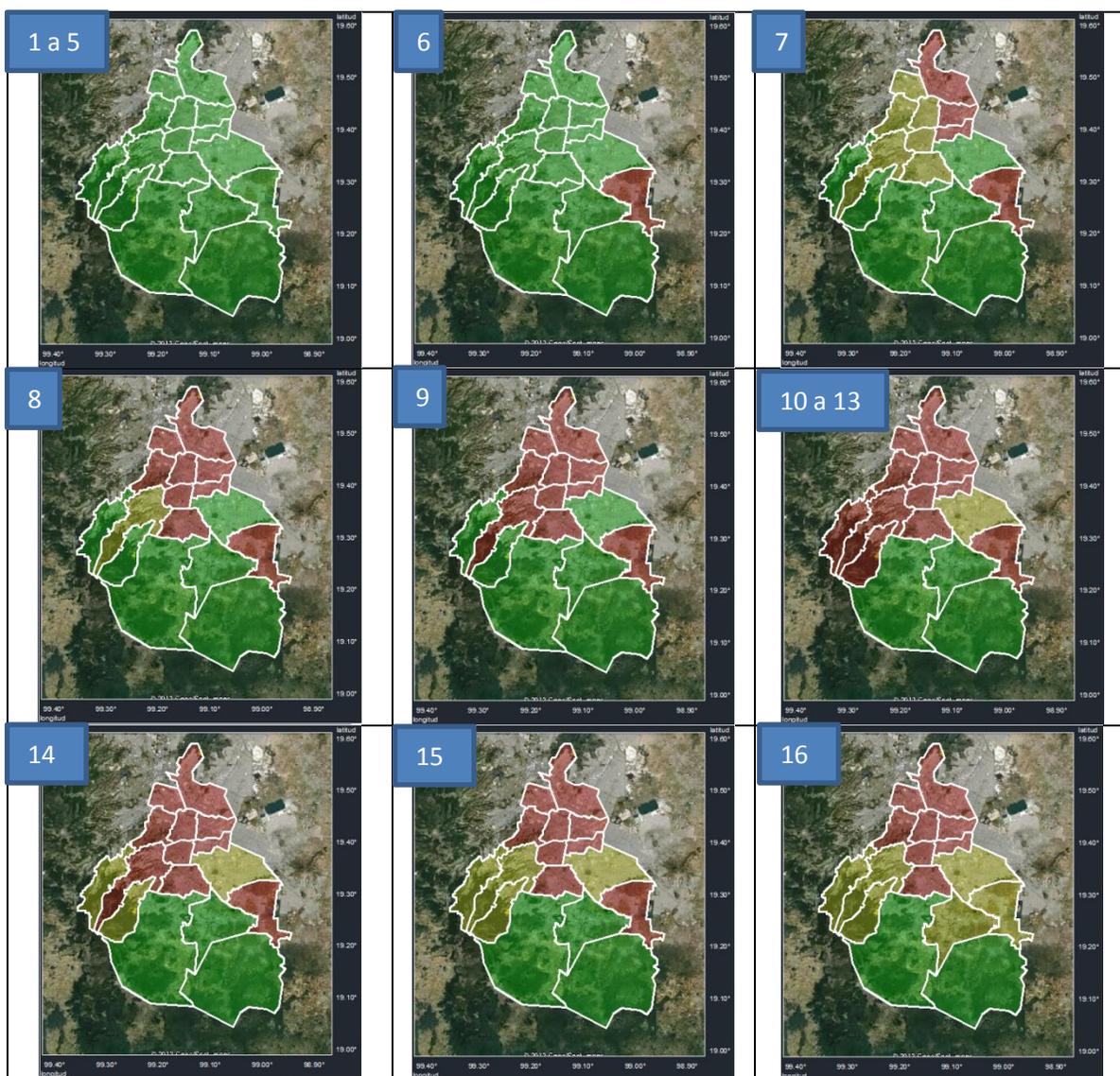


Figura 5.8 Variación del costo con el número de iteraciones.

Debido a la asignación aleatoria de los valores de los pesos a las neuronas de salida de la Red de Kohonen, la gráfica anterior muestra una variación brusca en la iteración número siete colocándose en un mínimo aparente, pero al no cumplirse aún los condiciones de tolerancia en el método, las iteraciones continúan hasta encontrar el valor óptimo del costo. Se puede ver asimismo la variación de la asignación de las celdas a cada zona, conforme el número de iteraciones aumenta hasta encontrar la zonación óptima que minimiza el costo. En el ejemplo mostrado anteriormente se observa que después de 17 iteraciones, el costo se estabiliza y permanece sin cambio, lo que indica que se ha encontrado la zonación óptima, tales iteraciones se muestran en las siguientes figuras:



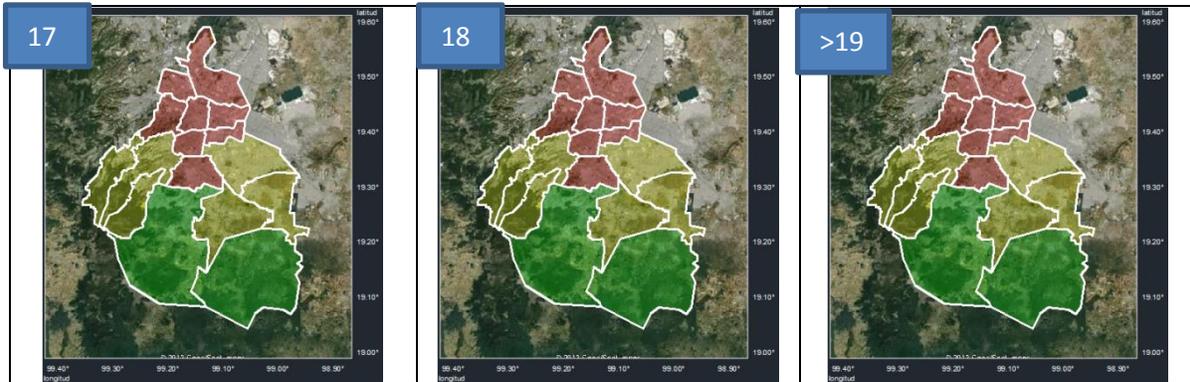


Figura 5.9 Variación en la zonación sísmica con el número de iteraciones.

Obtenida la zonación óptima es posible calcular los coeficientes sísmicos de diseño, correspondientes a cada zona y el costo mínimo debido a la zonación de acuerdo al procedimiento descrito en la sección 4.3.1.

Zona	Coefficiente	Costo
0	0.1150	403338.594
1	0.1000	587467.75
2	0.0750	606475.188
		1597281.53

Tabla 5.8 Costos y coeficientes óptimos.

La configuración óptima en el mapa, se muestra en la figura 5.10.

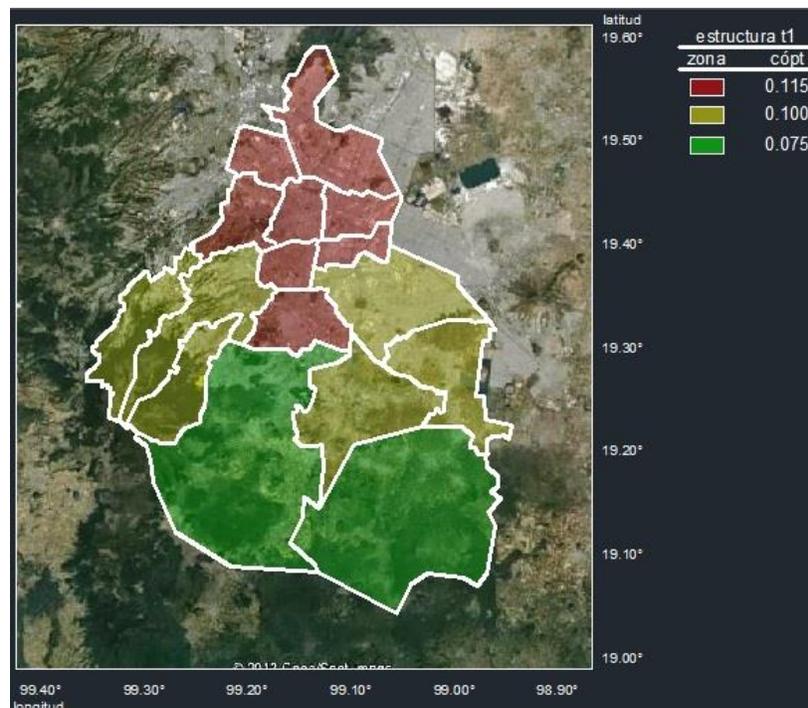


Figura 5.10 Zonación sísmica óptima considerando un tipo estructural.

### 5.2.2 Zonación sísmica óptima considerando dos tipos estructurales.

Para considerar la presencia de dos tipos estructurales en la región se utilizan los siguientes datos obtenidos de las figuras 5.4 y 5.5. Los costos se obtuvieron a partir de la ecuación 3.31 al considerar cada celda como si fuera una región, los costos se presentan divididos entre mil para preservar el orden de magnitud en el conjunto de datos de entrada.

Entrada	Aceleración 1	Aceleración 2	Costo total1/1000	Costo total2/1000	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	96.33420	144.10890	93.84937	95.03801	19.47774	99.11264
2	86.62230	148.62150	31.97816	32.51483	19.48403	99.18447
3	67.10040	139.79250	48.77820	49.77066	19.40733	99.19077
4	76.41990	133.51410	48.31474	49.08435	19.44242	99.14746
5	88.09380	120.66300	40.41526	40.78377	19.42006	99.11273
6	39.73050	139.00770	84.38408	86.81580	19.36025	99.28796
7	47.18610	131.84640	79.41736	81.37406	19.39812	99.19911
8	68.17950	120.56490	49.87381	50.62828	19.40038	99.15844
9	79.36290	116.93520	32.85302	33.20488	19.39555	99.09765
10	33.45210	121.15350	78.31959	80.35152	19.30444	99.24109
11	58.86000	111.24540	55.16919	56.02742	19.34700	99.16143
12	76.32180	100.16010	114.05812	114.85484	19.35930	99.09204
13	33.64830	98.88480	345.61684	352.40919	19.30168	99.21587
14	53.95500	82.89450	136.01083	137.22131	19.27124	99.13499
15	73.47690	74.85030	91.57956	91.61584	19.26977	99.03821
16	48.85380	58.95810	259.33583	260.14838	19.18713	99.02668

**Tabla 5.9 Características de los tipos estructurales 1 y 2.**

Se ejecuta el programa desarrollado, con los mismos valores para las constantes del ejercicio anterior debido a que mostraron ser adecuadas para la correcta aplicación del método:

<b>Constante de aprendizaje:</b>	<b>0.15</b>
<b>Tamaño del Vecindario:</b>	<b>2</b>
<b>Frecuencia para modificación del Tamaño del Vecindario:</b>	<b>5</b>
<b>Número máximo de ciclos:</b>	<b>100</b>
<b>Tolerancia:</b>	<b>0.05</b>
<b># componentes del vector de entrada:</b>	<b>6</b>
<b># de regiones o patrones esperados:</b>	<b>3</b>

**Tabla 5.10 Valores de las constantes para la red neuronal.**

A partir de la iteración cinco el método converge a una solución óptima:

Celda	Ciclo	nodo ganador	tamaño del vecindario	error
1	30	2	0	0.134215
2	30	2	0	0.134215
3	30	2	0	0.134215
4	30	2	0	0.134215
5	30	2	0	0.134215
6	30	2	0	0.134215
7	30	2	0	0.134215
8	30	2	0	0.134215
9	30	2	0	0.134215
10	30	2	0	0.134215
11	30	2	0	0.134215
12	30	1	0	0.134215
13	30	0	0	0.134215
14	30	1	0	0.134215
15	30	1	0	0.134215
16	30	0	0	0.134215

Tabla 5.11 Clasificación óptima de los vectores para los tipos estructurales 1 y 2.

La variación del costo con el número de iteraciones se muestra en la siguiente gráfica.

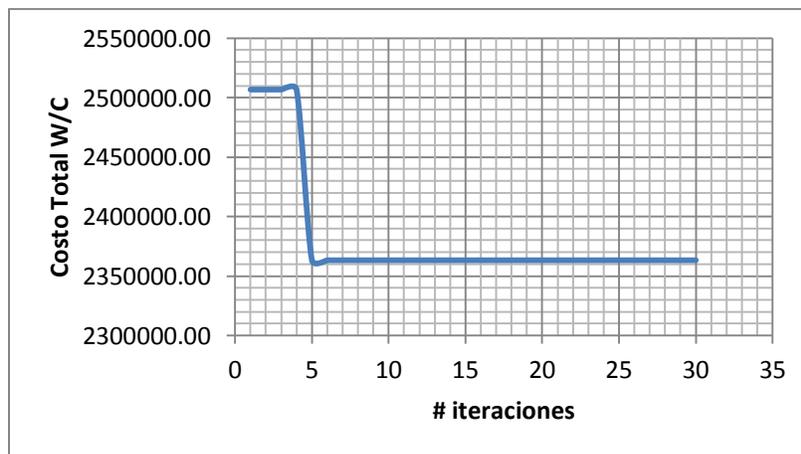


Figura 5.11 Variación del costo con el número de iteraciones.

Como se puede observar en la gráfica anterior, bastaron solo cinco iteraciones para encontrar estabilidad en el método y por consiguiente la zonación óptima, la variación de la asignación de celdas se muestra en la figura 5.12.

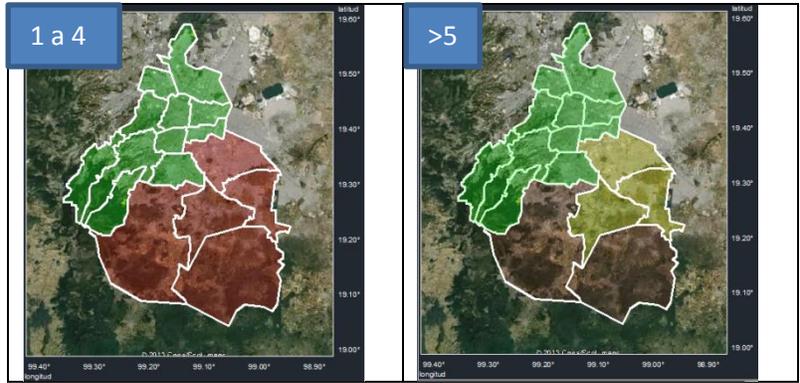


Figura 5.12 Variación en la zonación sísmica con el número de iteraciones.

Definidas las regiones, puede calcularse los coeficientes sísmicos óptimos para cada una de ellas y para cada tipo estructural, así como los costos asociados:

Zona	E tipo 1		E tipo 2	
	Coeficiente	Costo	Coeficiente	Costo
0	0.074	606475.188	0.119	615681.938
1	0.101	342665.5	0.120	345059.094
2	0.117	649591.125	0.152	658616.125
		1598731.81		1619357.16

Tabla 5.12 Costos y coeficientes óptimos.

Las zonas sísmicas representadas en el mapa, muestran la distribución mostrada en la figura 5.13.

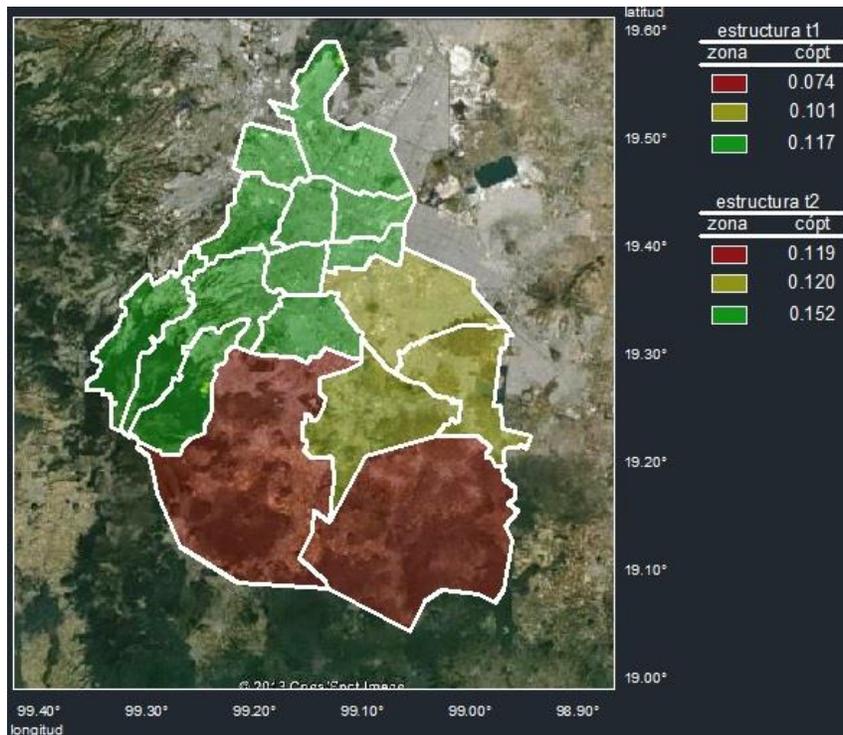


Figura 5.13 Zonación sísmica óptima considerando dos tipos estructurales

### 5.3. Aplicación de la red de mapas auto-organizados a la zonación sísmica óptima de una región geográfica discretizada en 751 celdas.

En la figura 5.14 se muestra un área geográfica en la que se han marcado 751 celdas para las cuales se ha registrado la información sobre el número de estructuras presentes, considerando 4 tipos estructurales caracterizados por su periodo fundamental de vibración, además de sus características de sismicidad. Los datos sobre número de estructuras de cada una de las celdas en la región mostrada se obtienen de Ordaz y col. (1994).

En la tabla 5.13 se muestran los períodos característicos de los cuatro tipos de estructuras considerados (Ordaz y col, 1994).  $T_1$ ,  $T_m$  y  $T_2$  son los períodos característicos en segundos, para cada clase estructural y tipo de suelo. En los ejercicios realizados en este trabajo se ha considerado el período del tipo estructural definido por el valor de  $T_m$ .



Figura 5.14 Límites jurisdiccionales y localización de las 751 celdas en que se discretiza el área en estudio.

Tipo de estructura	Terreno Firme			Terreno blando		
	$T_1$	$T_m$	$T_2$	$T_1$	$T_m$	$T_2$
1	0.05	0.10	0.20	0.20	0.30	0.50
2	0.15	0.20	0.30	0.30	0.40	0.60
4	0.60	1.00	1.40	0.90	1.50	2.20
7	0.40	0.70	0.90	0.60	1.00	1.40

Tabla 5.13 Períodos característicos de los cuatro tipos de estructuras considerados

Según el planteamiento para evaluar la esperanza del valor presente del costo total, mencionado en el capítulo 3, se deben involucrar todos los sismos que han ocurrido en las fuentes consideradas. Con fines ilustrativos y por limitaciones en la información, los costos en cada uno de los ejercicios realizados se obtuvieron utilizando intensidades que corresponden a ordenadas del espectro de aceleraciones obtenidas al considerar un escenario sísmico máximo posible. Si se supone que la mayor contribución a los daños es ocasionado por sismos de características similares al propuesto, entonces se concluye que los costos obtenidos en los ejemplos que se presentarán son aproximaciones aceptables a los que se obtendrían si se tomaran en cuenta todos los sismos. En la solución de problemas reales, las tasas de excedencia de las intensidades deben considerar la suma de las contribuciones a dichas intensidades ocasionadas por la actividad de todas las fuentes que afectan el peligro sísmico de la región en estudio. En las figuras 5.15 a 5.18

se muestra de manera gráfica la variación de las intensidades y en las figuras 5.19 a 5.22 la densidad estructural para los diversos tipos estructurales que se estudian.

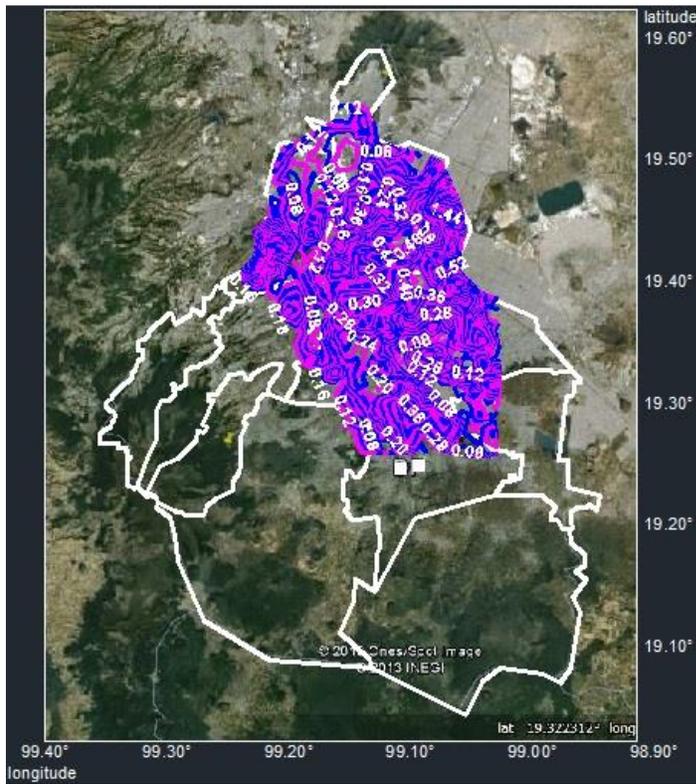


Figura 5.15 Isosistas de intensidades ( $S_a/g$ ). Tipo estructural 1 (Curvas @0.02)

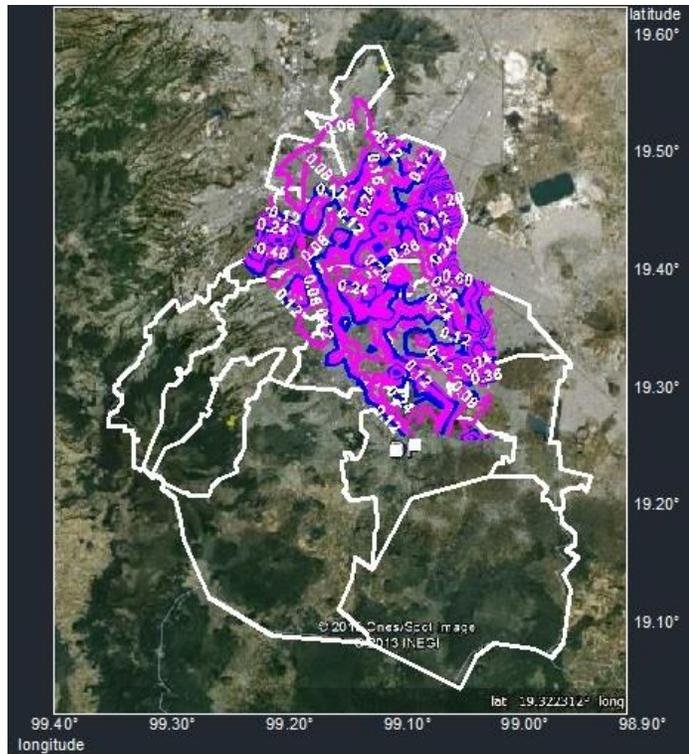


Figura 5.16 Isosistas de intensidades ( $S_a/g$ ). Tipo estructural 2 (Curvas @0.04)

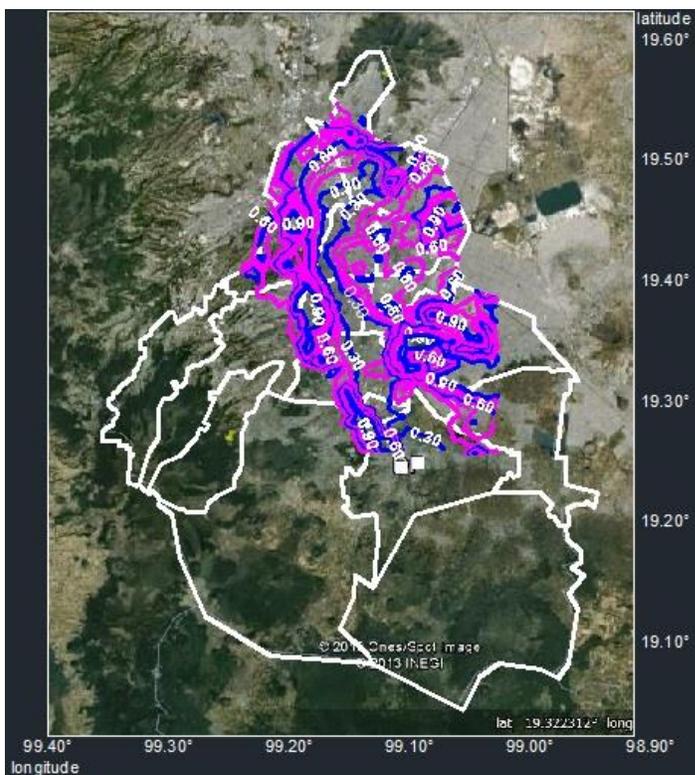
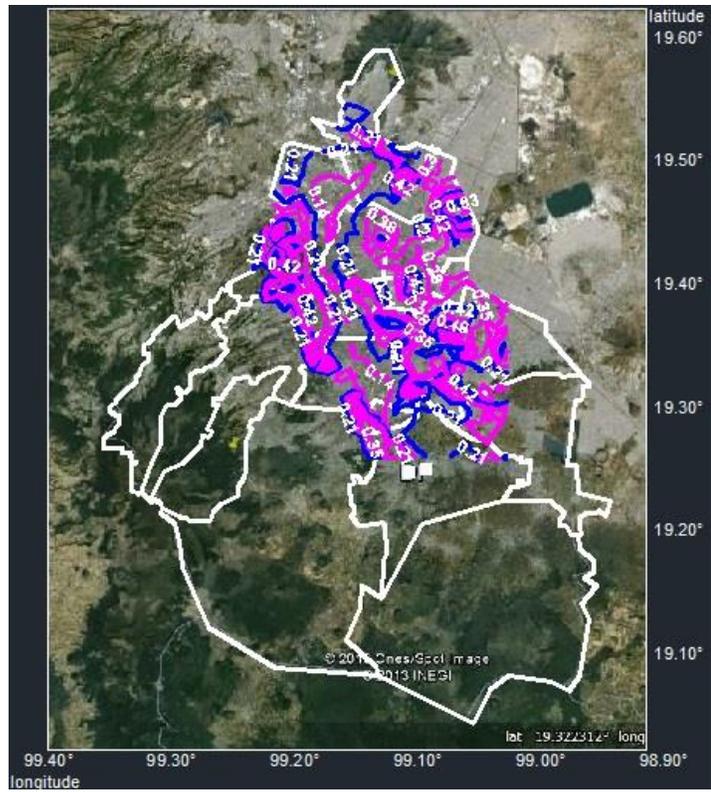


Figura 5.17 Isosistas de intensidades ( $S_a/g$ ). Tipo estructural 4 (Curvas @0.10)



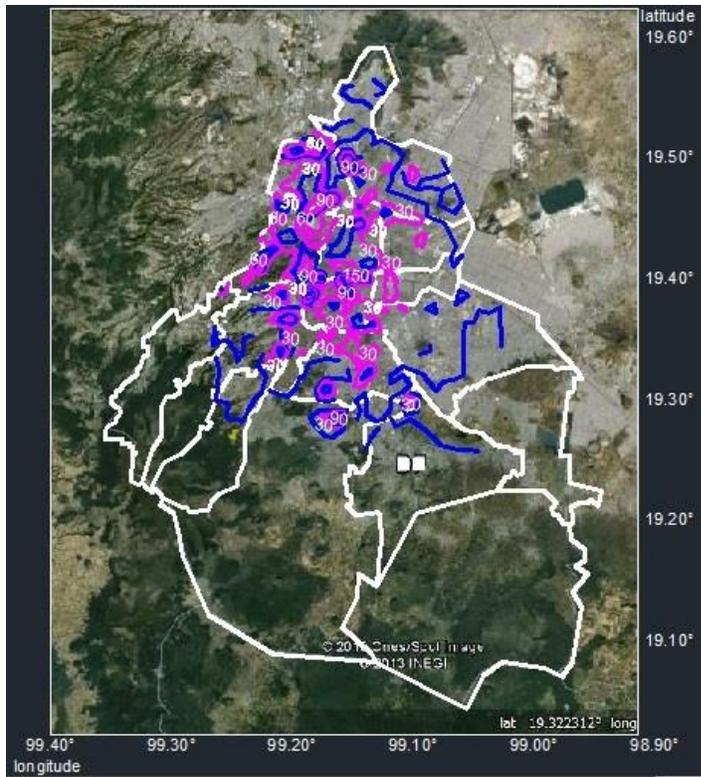


Figura 5.20 Isosistas de áreas de construcción ( $\times 10^{-2}$  km<sup>2</sup>). Tipo estructural 2 (Curvas @0.30 km<sup>2</sup>)

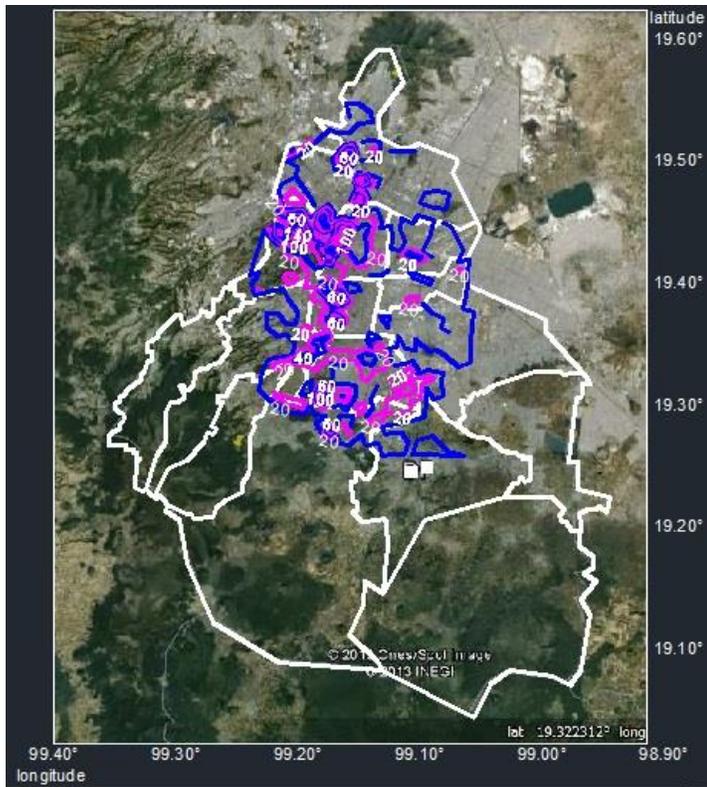
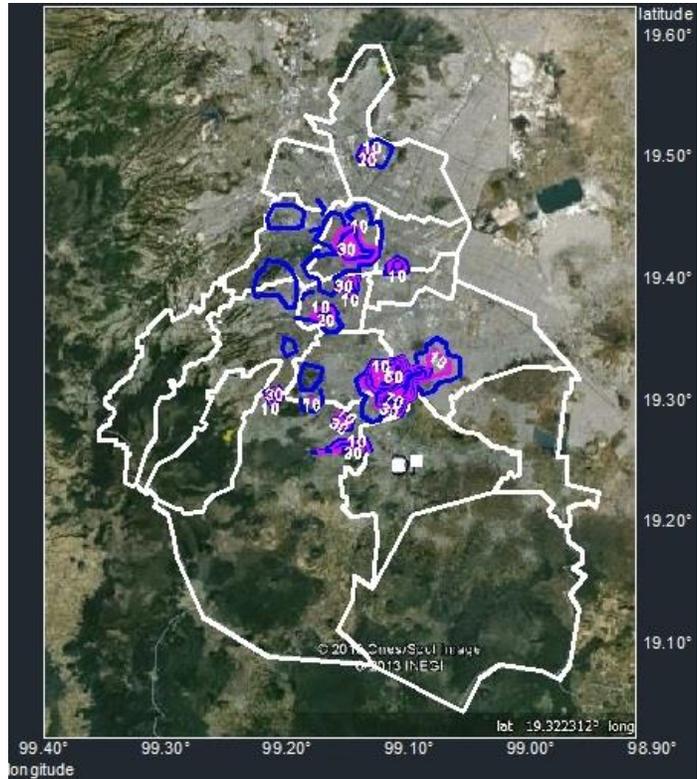


Figura 5.21 Isosistas de áreas de construcción ( $\times 10^{-2}$  km<sup>2</sup>). Tipo estructural 4 (Curvas @0.20 km<sup>2</sup>)



**Figura 5.22 Isosistas de áreas de construcción ( $\times 10^{-2} \text{ km}^2$ ). Tipo estructural 7 (Curvas @ $0.10 \text{ km}^2$ )**

La información numérica correspondiente a localización geográfica, sismicidad (z), costos totales (C), y número de estructuras (E) se presenta para 16 celdas en la siguiente tabla, la información completa se presenta en el apéndice A:

Celda	longitud	latitud	z E1	z E2	z E4	z E7	C E1	C E2	C E4	C E7	# E 1	# E 2	# E 4	# E 7
1	99.149	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	320507	53640	0	0	161826	52658	0	0
2	99.140	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	815010	87686	0	0	411505	86080	0	0
3	99.132	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	319294	0	0	0	161214	0	0	0
4	99.122	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
5	99.157	19.557	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
6	99.150	19.558	0.149	0.087	0.390	0.187	190169	0	0	0	96018	0	0	0
7	99.140	19.557	0.149	0.087	0.390	0.187	794635	153450	0	0	401218	150640	0	0
8	99.132	19.557	0.149	0.087	0.390	0.187	777901	57862	0	0	392768	56802	0	0
9	99.123	19.556	0.149	0.087	0.390	0.187	56059	0	0	0	28305	0	0	0
10	99.158	19.552	0.149	0.087	0.390	0.187	470896	0	0	0	237759	0	0	0
11	99.150	19.552	0.149	0.087	0.390	0.187	631661	55155	0	0	318931	54146	0	0
12	99.140	19.551	0.149	0.087	0.390	0.187	727473	104357	0	0	367307	102446	0	0
13	99.131	19.550	0.149	0.087	0.390	0.187	352107	0	0	0	177782	0	0	0
14	99.125	19.552	0.149	0.087	0.390	0.187	11212	0	0	0	5661	0	0	0

15	99.160	19.546	0.149	0.087	0.390	0.187	1109000	61867	0	0	559943	60735	0	0
16	99.150	19.546	0.149	0.087	0.390	0.187	148233	0	0	0	74844	0	0	0

**Tabla 5.14 Información correspondiente a localización geográfica, sismicidad (z), costos totales (C), y número de estructuras (E) para los cuatro tipos estructurales considerados.**

Se realizaron quince ejercicios de zonación considerando primero los cuatro tipos estructurales por separado y luego las combinaciones posibles entre ellos para mostrar la solución del problema de zonación sísmica cuando en una región están presentes distintos tipos estructurales. Conocido el número de estructuras en cada celda puede utilizarse la ecuación 3.31 para evaluar la esperanza del valor presente del costo total para el caso en el que solo se considera un tipo estructural. Cuando se trata de la combinación de dos o más tipos estructurales se utilizan las ecuaciones 4.9 y 4.10. Los tipos estructurales estudiados no se encuentran siempre presentes en las 751 celdas en que se ha discretizado la región. Una manera de considerar la presencia de estructuras en las celdas que no tienen estructuras presente consiste en proponer una expresión  $\psi(x, y, t)$  que indique la variación de la densidad de estructuras con el tiempo. En la búsqueda de la zonación óptima mediante el método de mapas auto-organizados se han descartado aquellas celdas en las cuales el número de estructuras correspondiente es nulo.

La tabla 5.15 muestra el número de celdas empleadas en cada ejemplo desarrollado.

Ejercicio	# Tipos estructurales considerados	Tipo estructural	# celdas
1	1	1	681
2	1	2	439
3	1	4	275
4	1	7	82
5	2	1,2	689
6	2	1,4	693
7	2	1,7	685
8	2	2,4	483
9	2	2,7	460
10	2	4,7	295
11	3	1,2,4	696
12	3	1,2,7	693
13	3	1,4,7	695
14	3	2,4,7	488
15	4	1,2,4,7	698

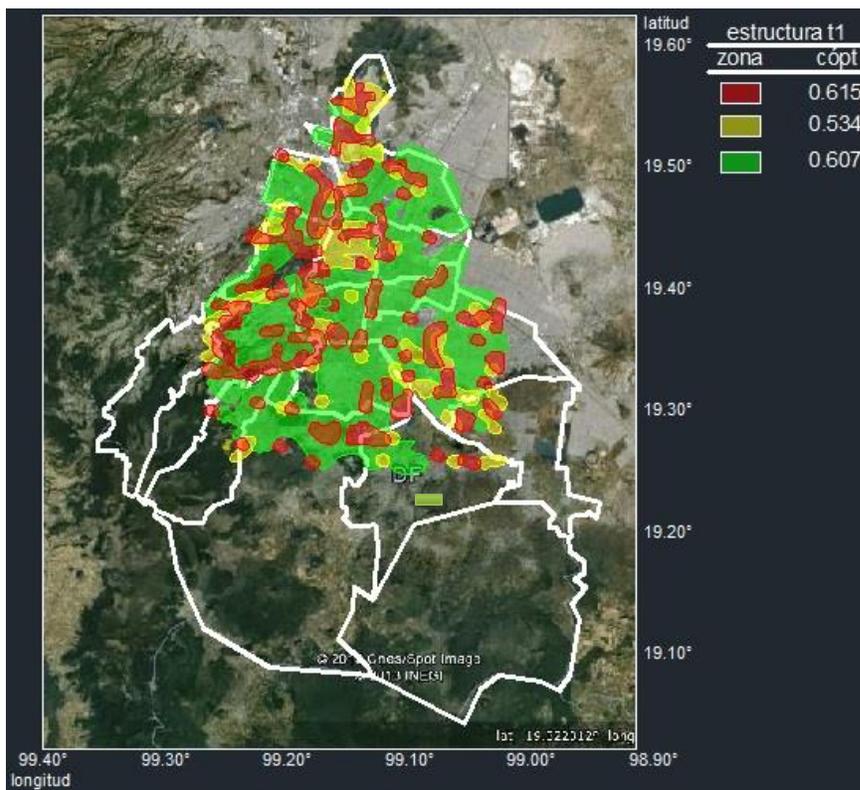
**Tabla 5.15 Número de celdas empleadas en cada ejemplo desarrollado.**

Al ejecutar el algoritmo en repetidas ocasiones se determinaron los valores para la implementación del método de mapas auto-organizados en cada uno de los quince ejercicios realizados:

Constante de aprendizaje:	0.05
Tamaño del Vecindario:	1
Frecuencia para modificación del Tamaño del Vecindario:	25
Número máximo de ciclos:	100
Tolerancia:	0.005
# componentes del vector de entrada:	Variable de 4 a 10
# de regiones o patrones esperados:	Variable de 3 a 4

**Tabla 5.16 Valores para las constantes de la red neuronal.**

Como resultado de la aplicación del método considerando las 751 celdas se obtuvieron los mapas de las figuras 5.23 a 5.37 que muestran la zonación sísmica óptima de la región geográfica, así como los coeficientes de diseño sísmico óptimo para cada uno de los tipos estructurales considerados.



**Figura 5.23 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 1.**

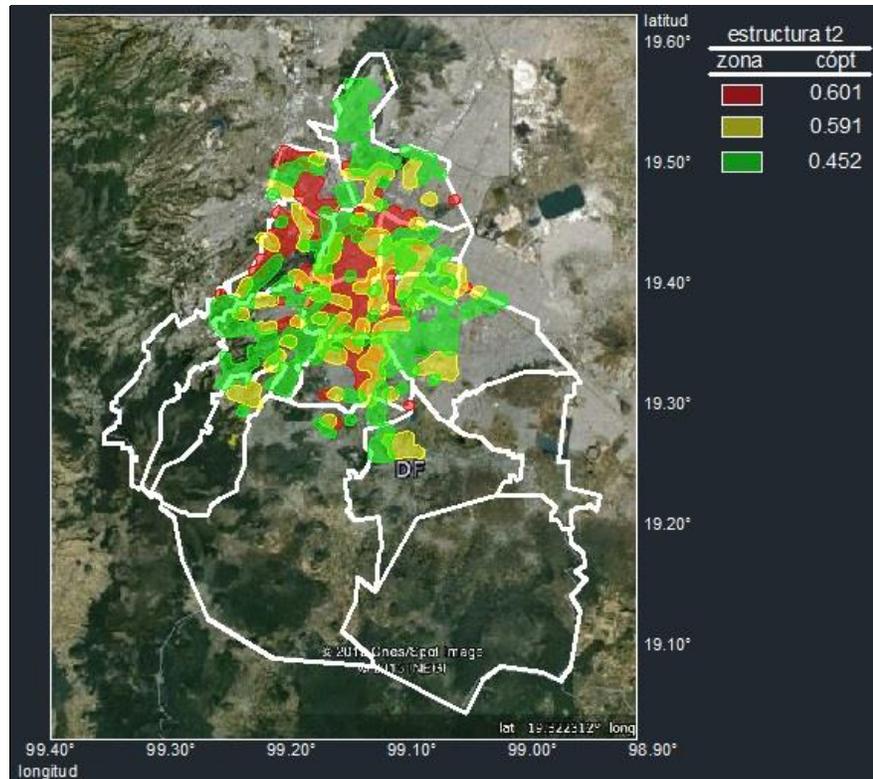


Figura 5.24 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 2.

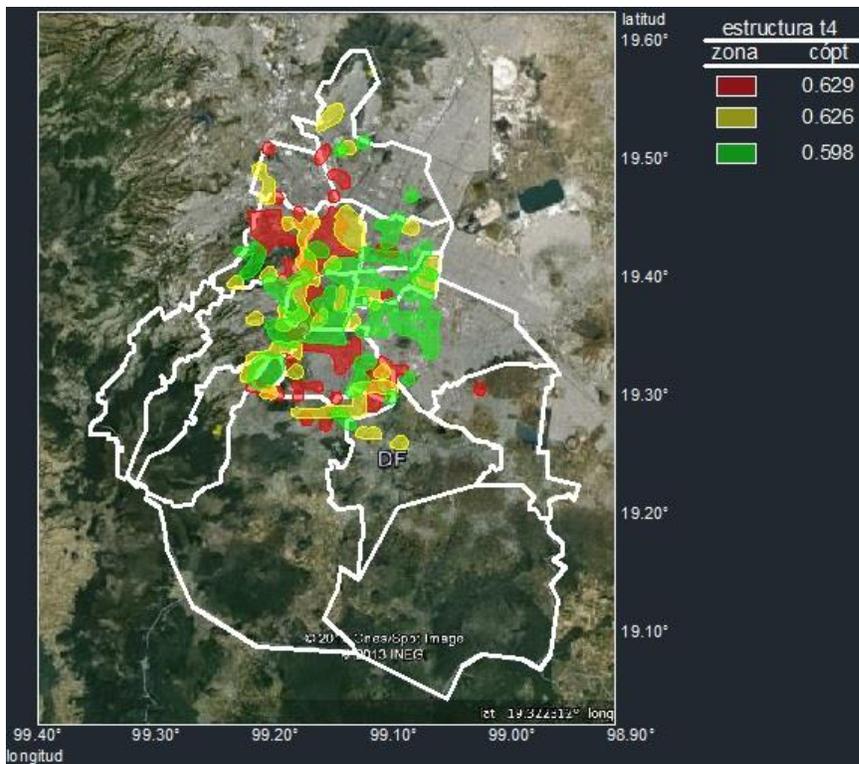


Figura 5.25 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 4.

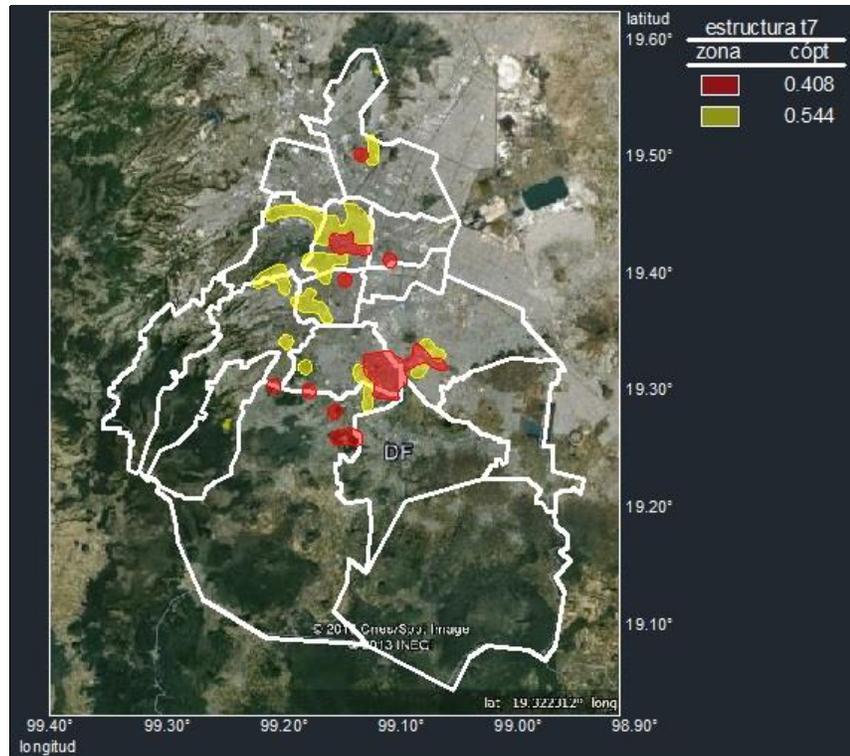


Figura 5.26 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 7.

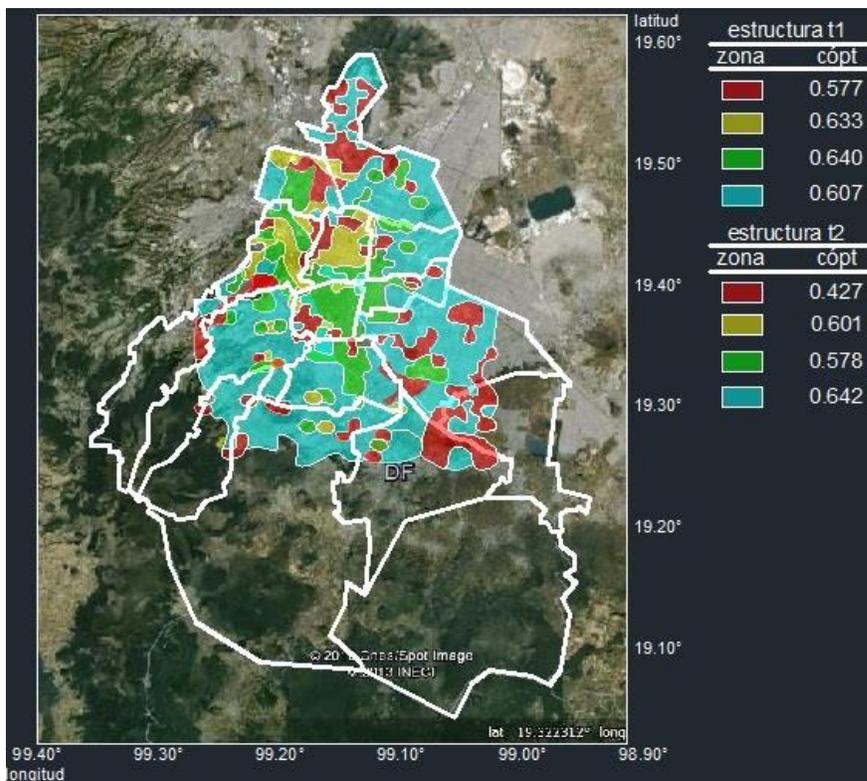


Figura 5.27 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1 y 2.

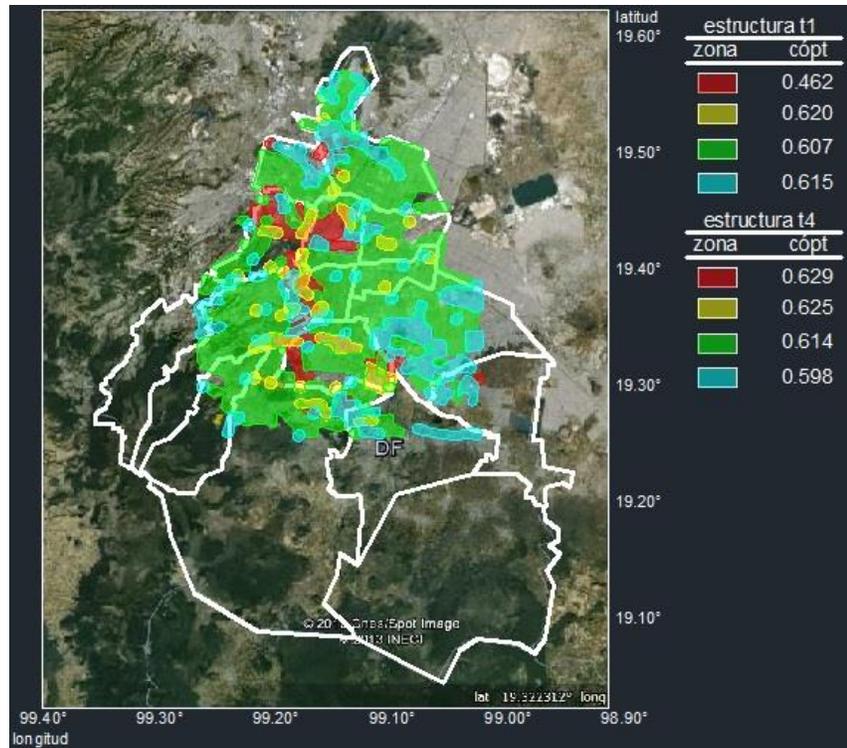


Figura 5.28 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1 y 4.

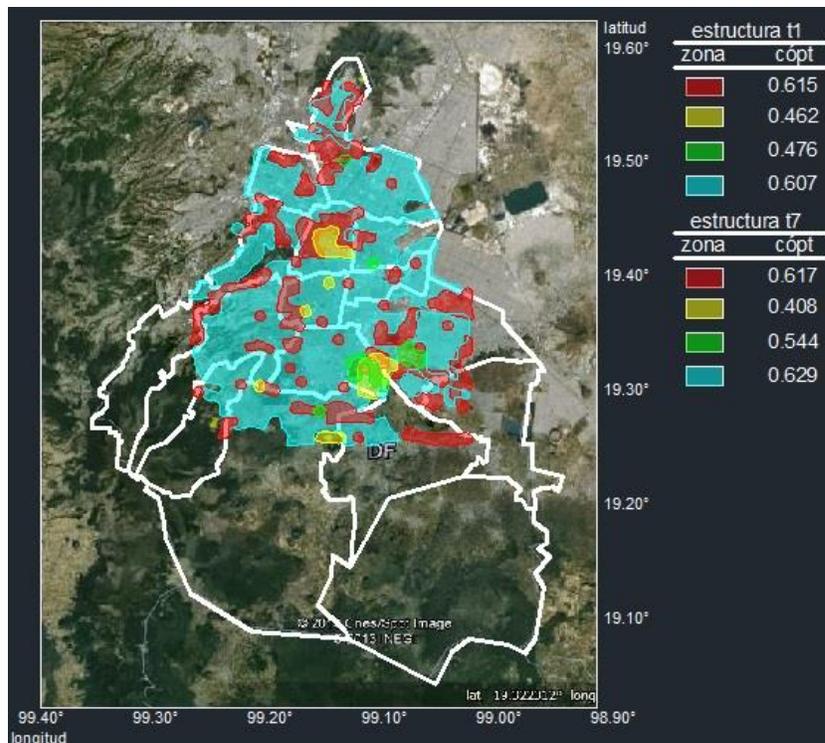


Figura 5.29 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1 y 7.

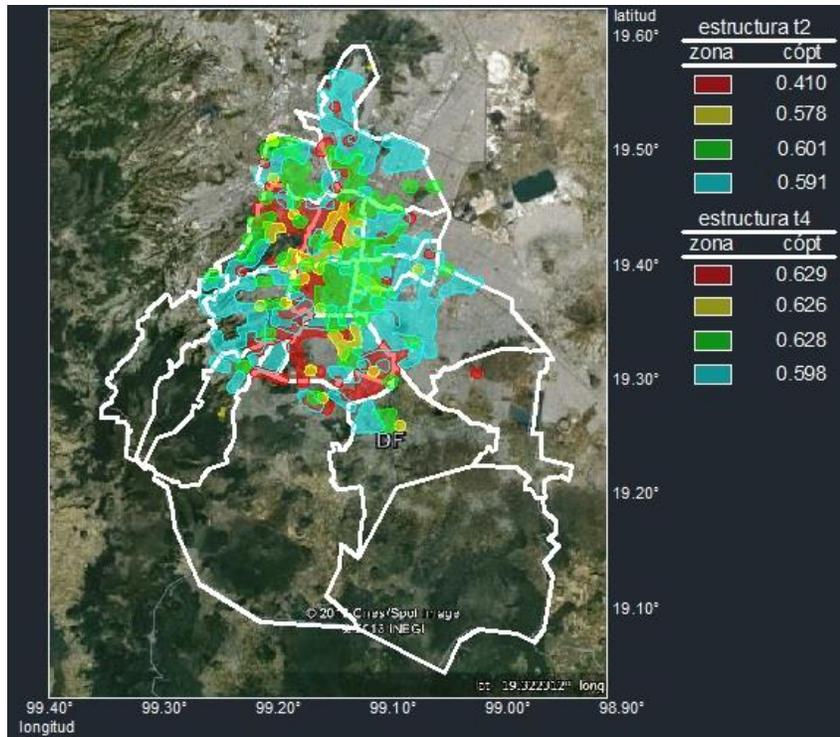


Figura 5.30 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 2 y 4.

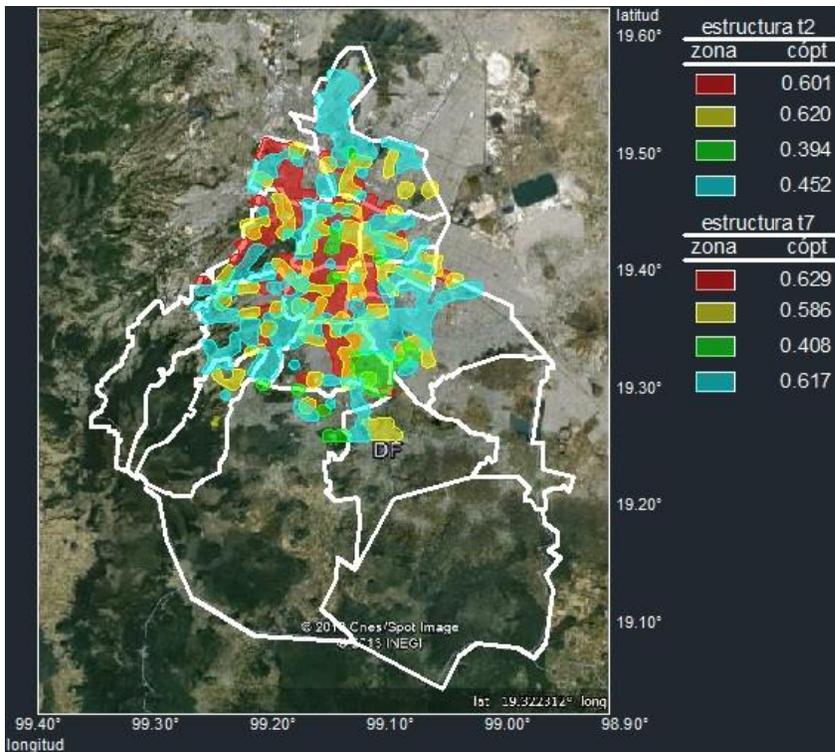


Figura 5.31 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 2 y 7.

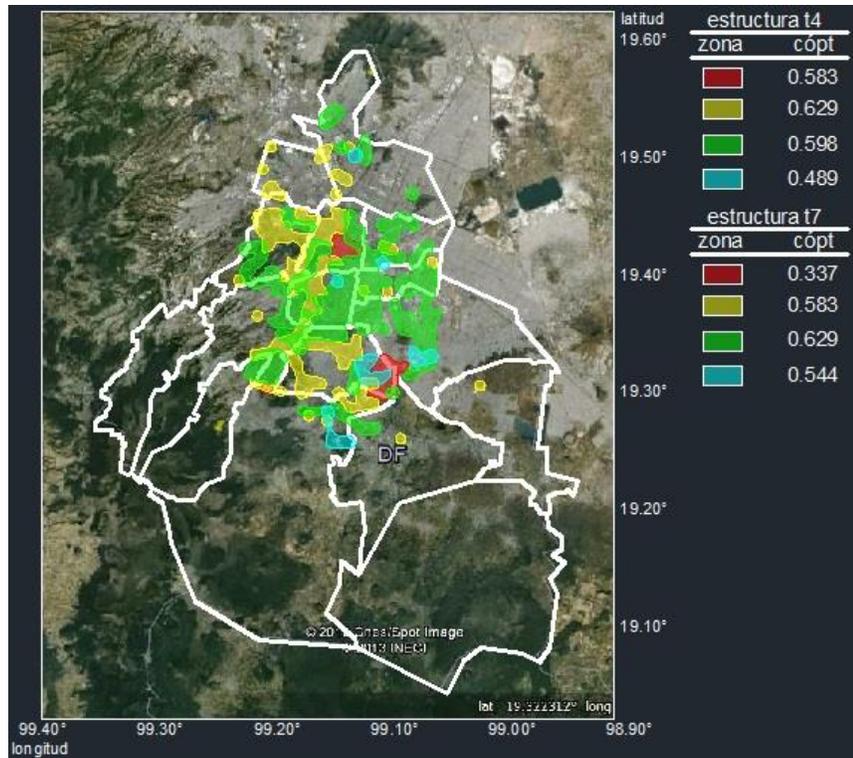


Figura 5.32 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 4 y 7.

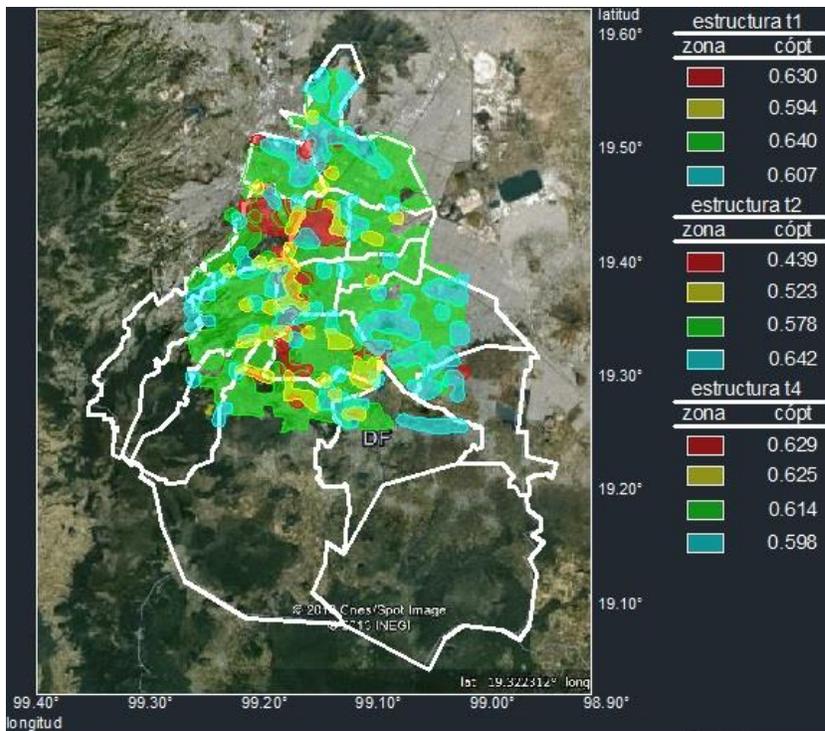


Figura 5.33 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 2 y 4.

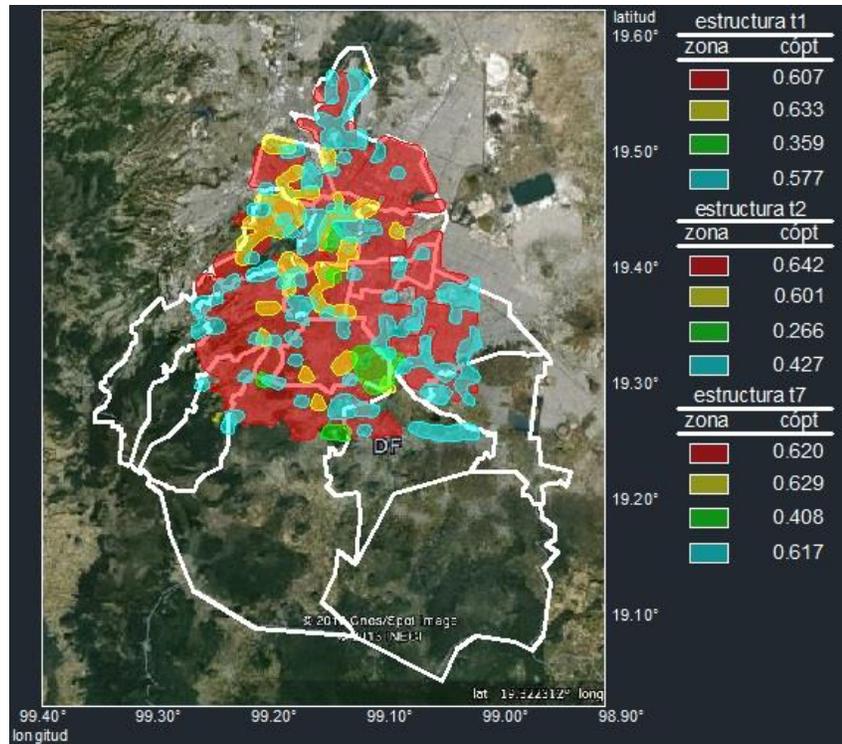


Figura 5.34 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 2 y 7.

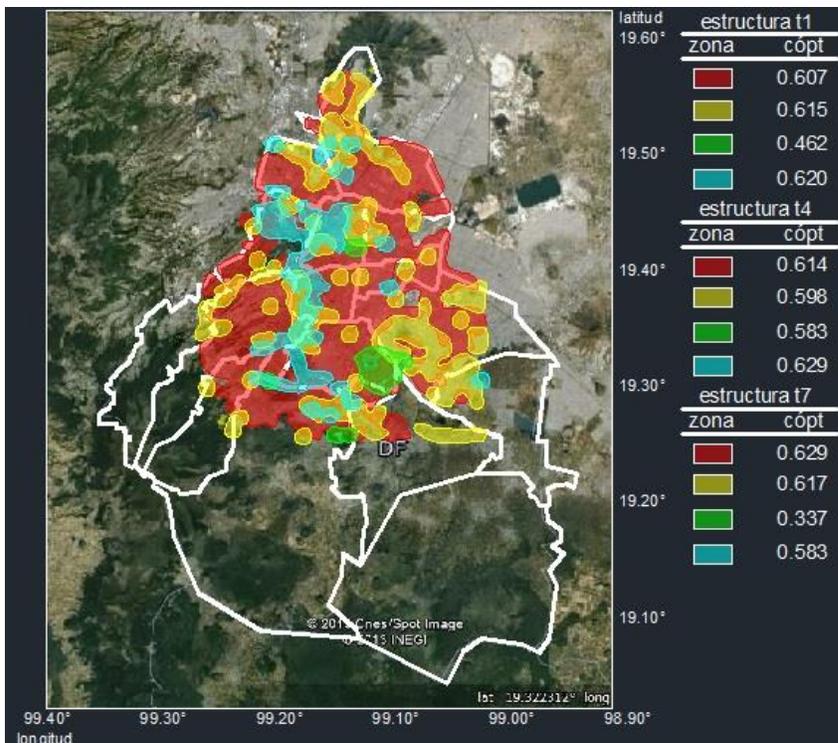


Figura 5.35 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 4 y 7.

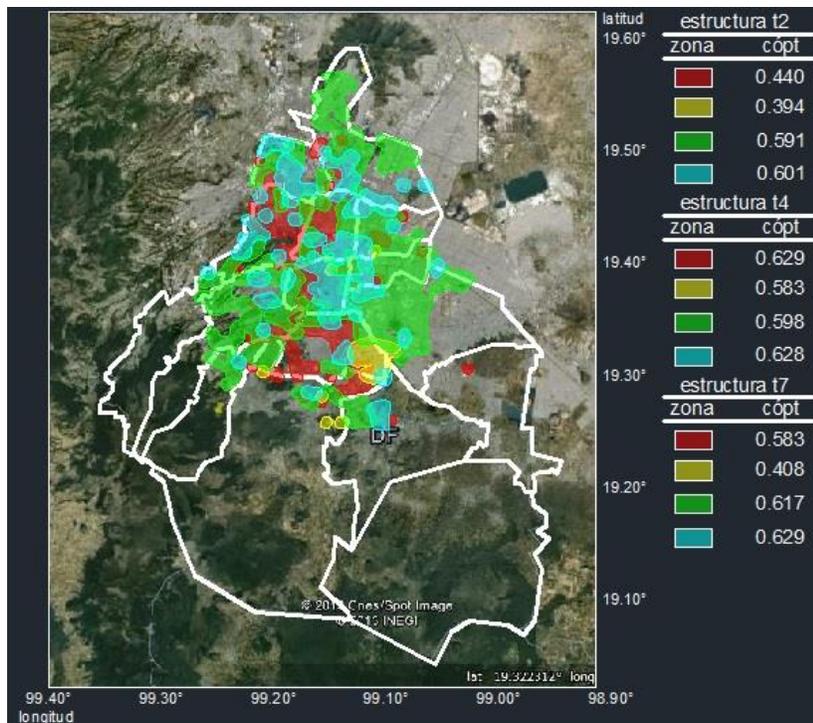


Figura 5.36 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 2, 4 y 7.

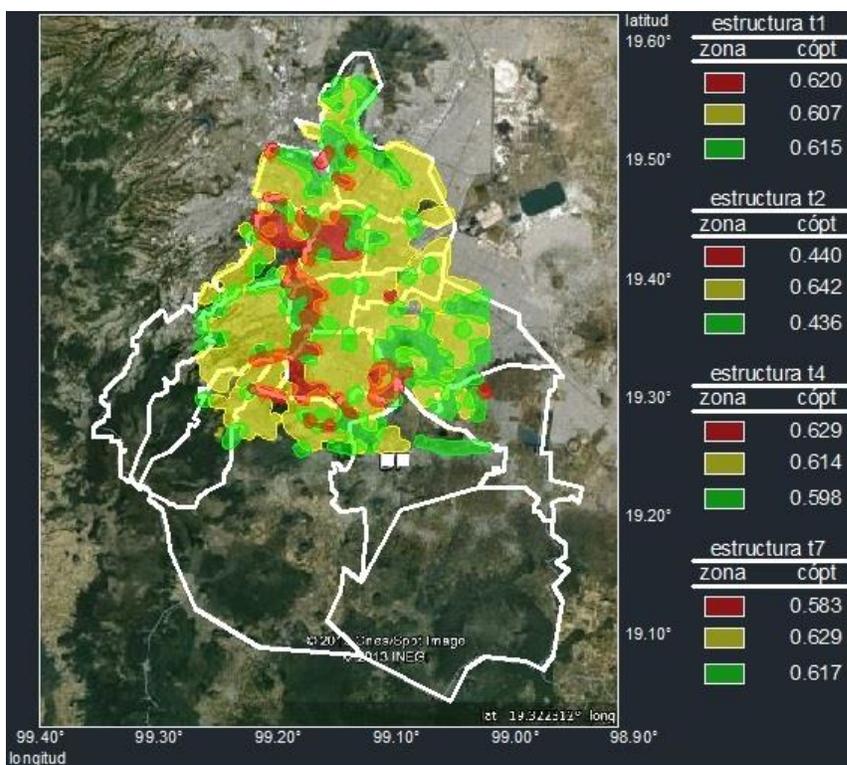


Figura 5.37 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 2, 4 y 7.

#### 5.4 Aplicación de la red de mapas auto-organizados a la zonación sísmica óptima de una región geográfica discretizada en 751 celdas considerando los límites jurisdiccionales.

A fin de resolver el problema de zonación sísmica óptima considerando los límites jurisdiccionales, el conjunto de 751 celdas se agrupó de manera que se respetaran dichos límites, la figura muestra dieciséis celdas que componen la región geográfica en estudio, pero solo en las primeras quince se conocen las características de localización geográfica, número de estructuras (E), costos totales (C) e intensidades máximas probables (z) para cada uno de los tipos estructurales considerados. Con esta información es posible aplicar el método desarrollado y encontrar la zonación sísmica óptima así como los coeficientes óptimos asociados a cada una de ellas al considerar uno o más tipos estructurales.

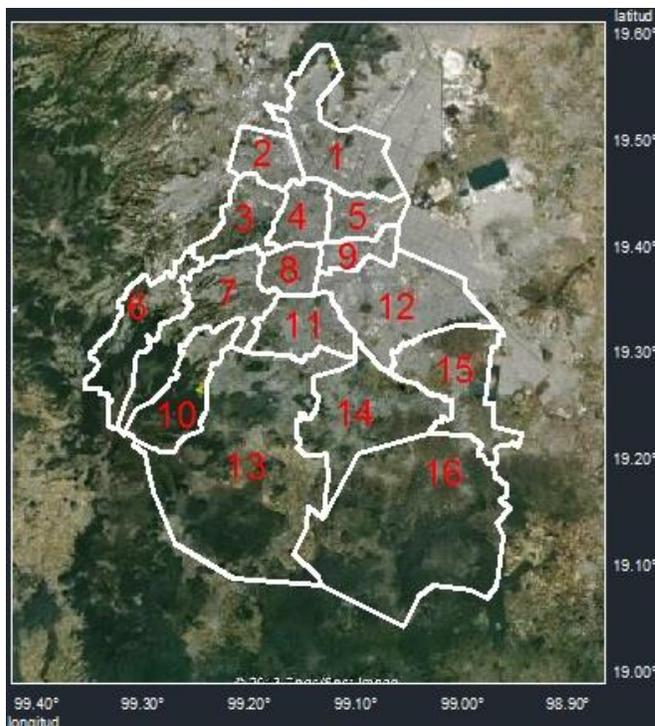


Figura 5.38 Región geográfica que muestra las 15 celdas resultantes al considerar los límites

La información referente a localización geográfica, número de estructuras (E) y costos totales (C), agrupada para las quince celdas que consideran los límites jurisdiccionales se muestra en la siguiente tabla:

Celda	latitud	longitud	# E1	C E1	# E2	C E2	# E4	C E4	# E7	C E7
1	19.48	99.11	50926905	72432864	7742650	10938524	2039474	2903743	200159	259398
2	19.48	99.18	20783462	21974610	14308347	14885429	1975557	2570954	0	0
3	19.41	99.19	20314460	28689296	16680517	23057984	11542506	15601530	66241	84267
4	19.44	99.15	12275640	14308561	12875451	14079859	10269043	12754647	2009766	2306686
5	19.42	99.11	15937003	19498338	4471799	5176225	1052393	1419268	226958	256129
6	19.36	99.29	1714586	1774346	1183459	1204758	0	0	0	0
7	19.40	99.20	34801162	37323516	9175786	9661005	2754918	3726738	155882	180732
8	19.40	99.16	18444999	20629988	14673807	16248464	4951258	6693560	337522	386303
9	19.40	99.10	14260646	19666928	3191969	4207376	1409947	1797201	0	0
10	19.30	99.24	11507959	11909057	1132505	1152887	421957	475223	0	0
11	19.35	99.16	24725043	28986600	7396199	8343527	8916839	12042365	6431856	7243787
12	19.36	99.09	43352943	58821748	4571457	5864724	1701413	2381700	1313543	1635017
13	19.30	99.22	23769696	25484056	1470027	1547809	2278600	3077294	1634625	1840974
14	19.27	99.13	9008862	10406830	1335313	1449096	489004	660410	0	0

**Tabla 5.17 Características sobre localización geográfica, número de estructuras (E) y costos totales (C).**

La información referente a las aceleraciones máximas que se presentan en cada una de las celdas se presenta en la siguiente tabla, normalizadas respecto a la aceleración de la gravedad.

Celda	z1	z2	z3	z4
1	1.492	1.367	1.510	0.753
2	0.222	0.170	0.769	0.254
3	1.362	1.129	0.953	0.693
4	0.476	0.316	0.631	0.437
5	0.595	0.459	0.942	0.394
6	0.149	0.087	0.390	0.187
7	0.263	0.210	0.958	0.463
8	0.372	0.347	0.956	0.430
9	1.107	0.821	0.699	0.508
10	0.149	0.087	0.390	0.187
11	0.491	0.394	0.949	0.390
12	0.979	0.720	1.260	0.636
13	0.263	0.210	0.949	0.390
14	0.454	0.295	0.949	0.390
15	0.595	0.444	0.964	0.510

**Tabla 5.18 Características de sismicidad.**

Se realizaron quince zonaciones al considerar primero los cuatro tipos estructurales por separado y luego todas sus posibles combinaciones con la finalidad de resolver el problema cuando en una región están presentes dos o más tipos estructurales. Los valores de las constantes que intervienen en el funcionamiento del programa para la red de mapas auto-organizados son las siguientes:

<b>Constante de aprendizaje:</b>	<b>0.05</b>
<b>Tamaño del Vecindario:</b>	<b>2</b>
<b>Frecuencia para modificación del Tamaño del Vecindario:</b>	<b>25</b>
<b>Número máximo de ciclos:</b>	<b>100</b>
<b>Tolerancia:</b>	<b>0.005</b>
<b># componentes del vector de entrada:</b>	<b>Variable de 4 a 10</b>
<b># de regiones o patrones esperados:</b>	<b>3</b>

**Tabla 5.19 Valores de las constantes para la red neuronal.**

Como puede observarse en la tabla 5.17 en algunas celdas no existen algunos de los tipos estructurales por lo que en ciertas zonaciones, algunos tipos estructurales llegan a predominar y debido a eso hay muy poca diferencia, al comparar la zonación considerando un tipo estructural y

considerando dos o más. En todos estos casos, la mayor parte del costo por zonificar la aportan los tipos de estructura cuya zonación predomina. Los valores de los coeficientes óptimos asociados a un tipo de estructura se mantienen prácticamente constantes a través de las zonaciones realizadas considerando uno o varios tipos estructurales, esto es principalmente debido a que las diferencias existentes entre las configuraciones que presentan las zonaciones no afectan de manera importante el valor de dichos coeficientes.

Los mapas de distribución de las diferentes zonas obtenidas, así como sus coeficientes óptimos se muestran en las figuras 5.39 a 5.53.

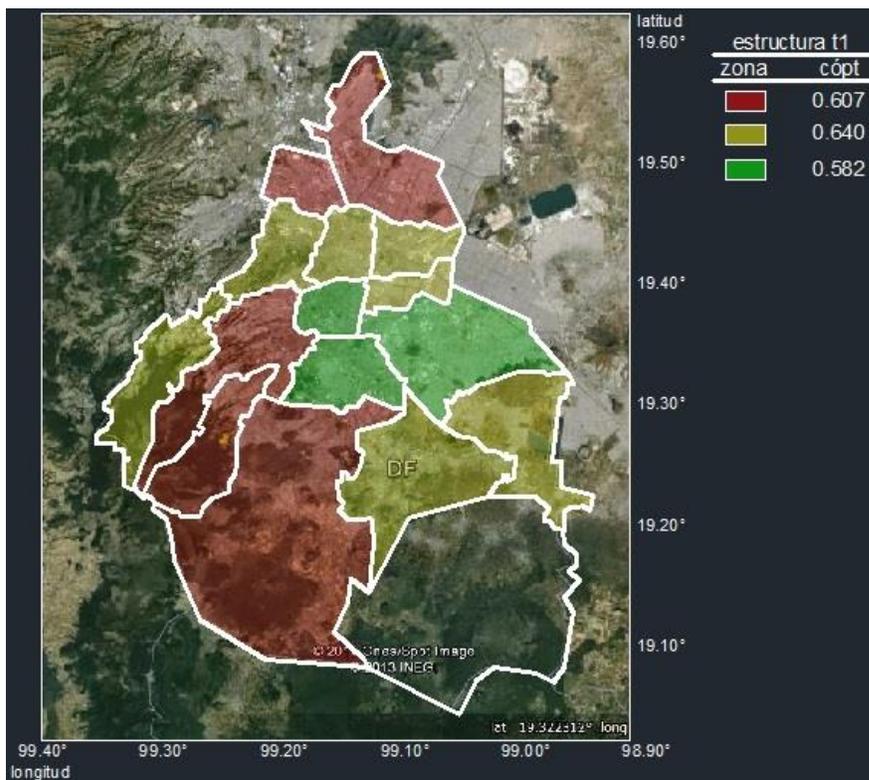


Figura 5.39 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 1

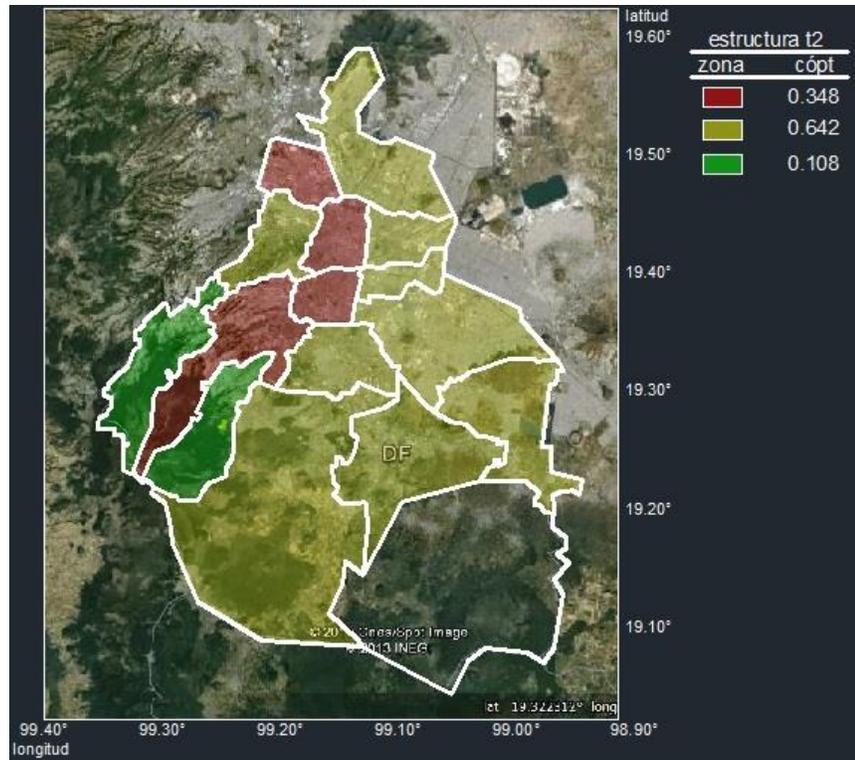


Figura 5.40 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 2

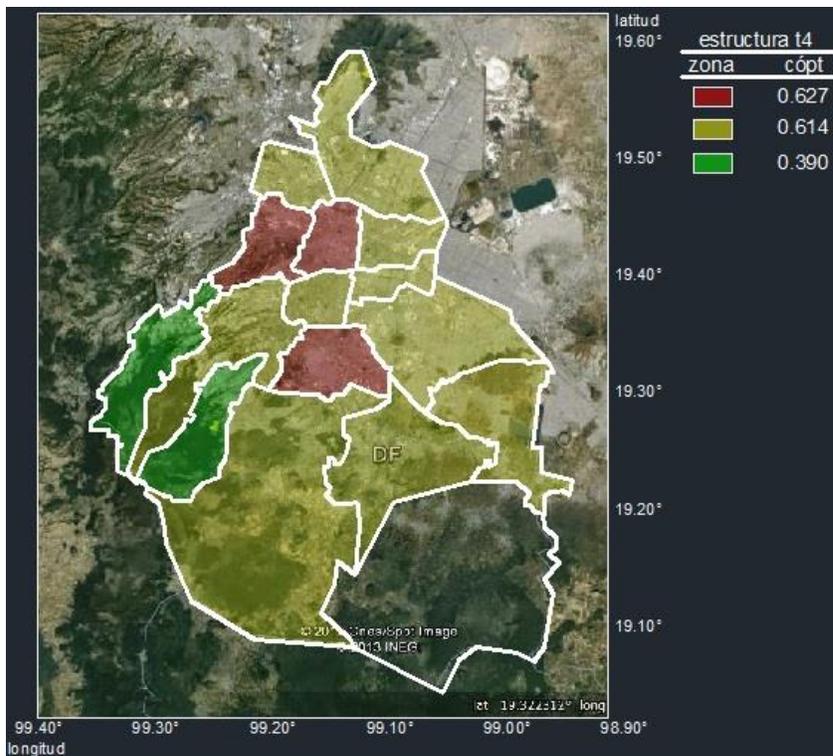


Figura 5.41 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 4

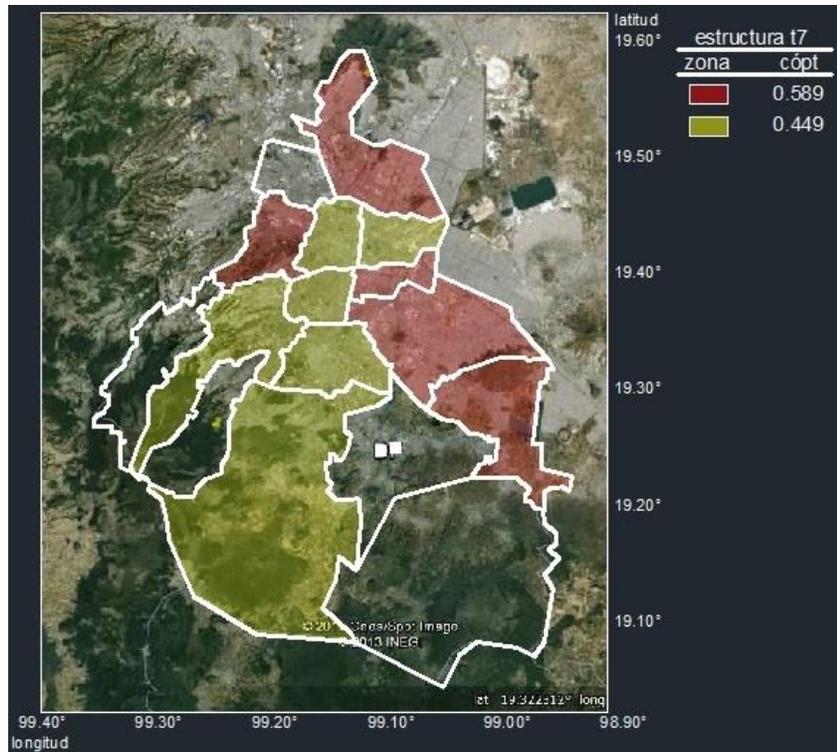


Figura 5.42 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para el tipo estructural 7

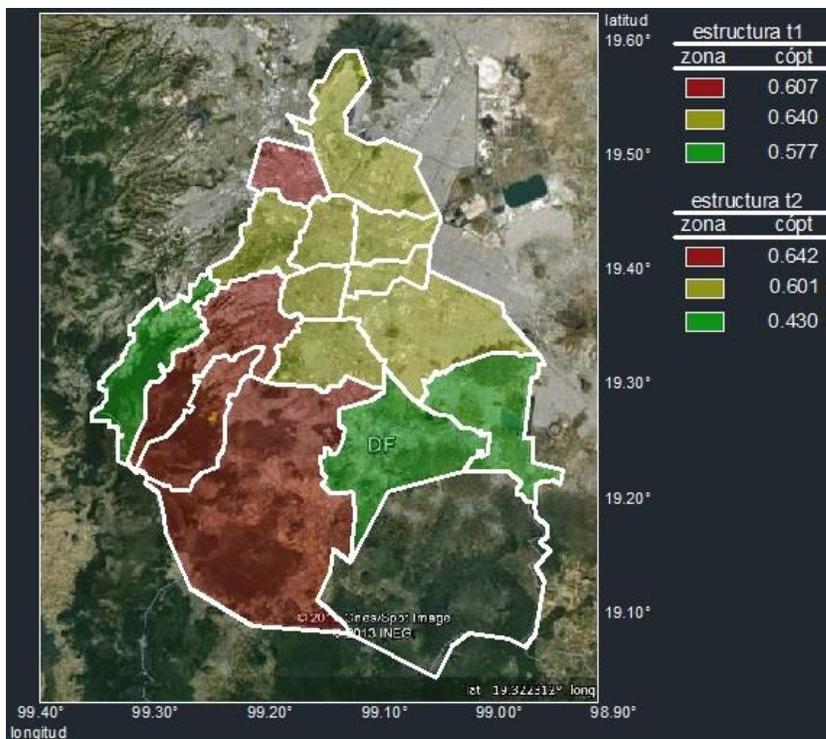


Figura 5.43 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1 y 2.

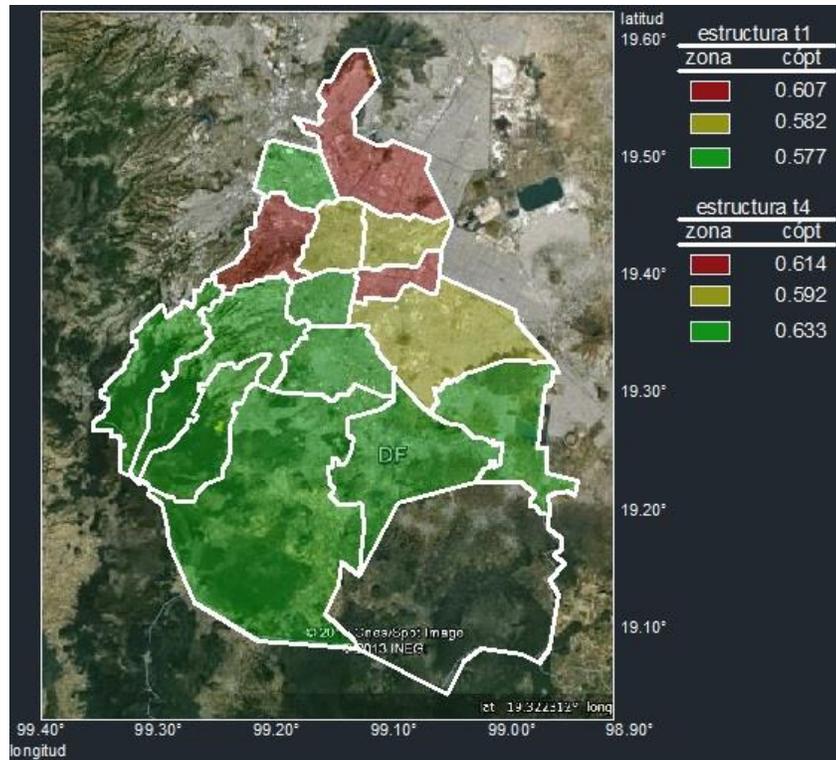


Figura 5.44 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1 y 4.

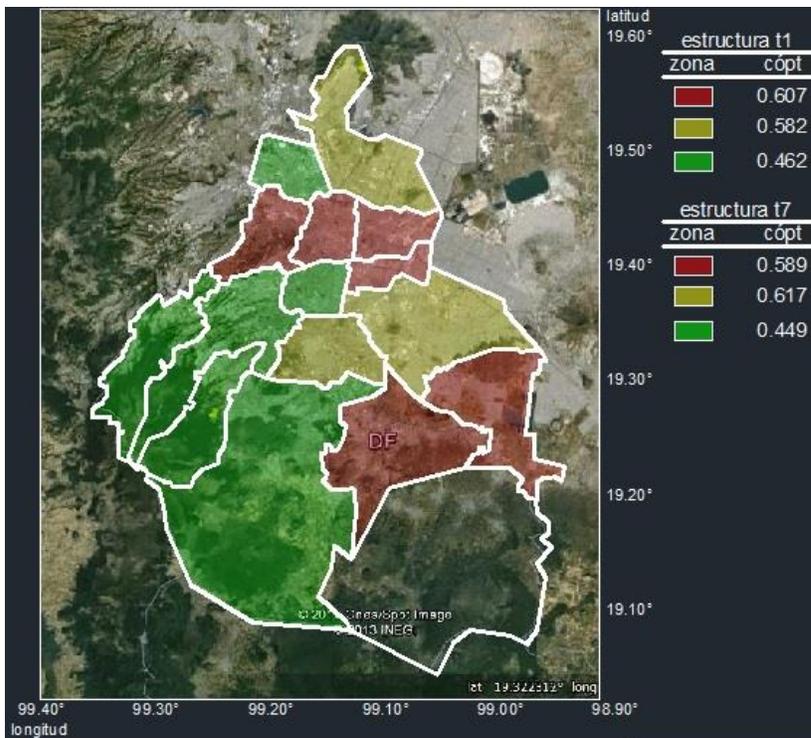


Figura 5.45 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1 y 7.

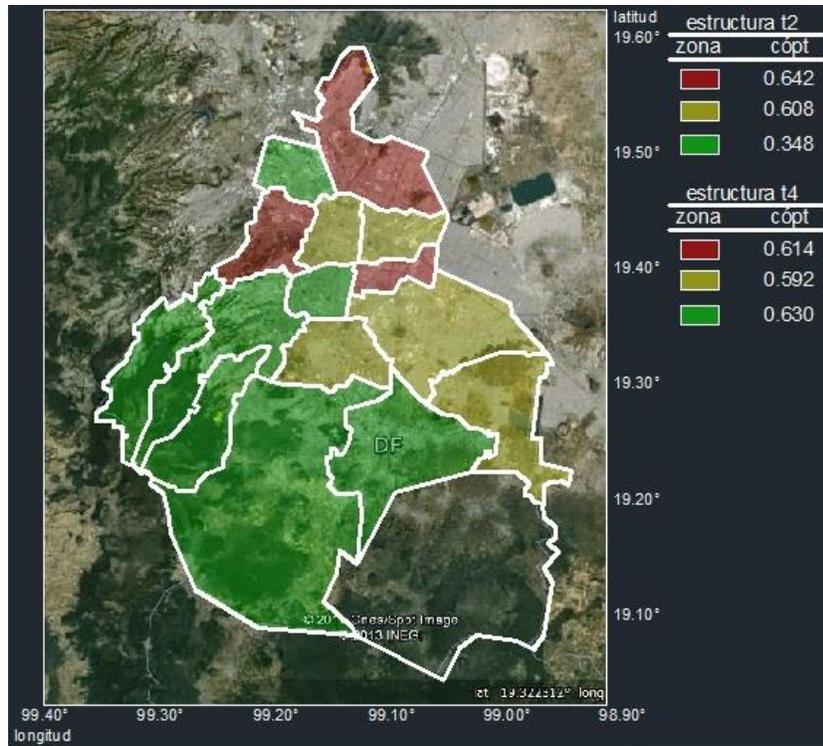


Figura 5.46 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 2 y 4.

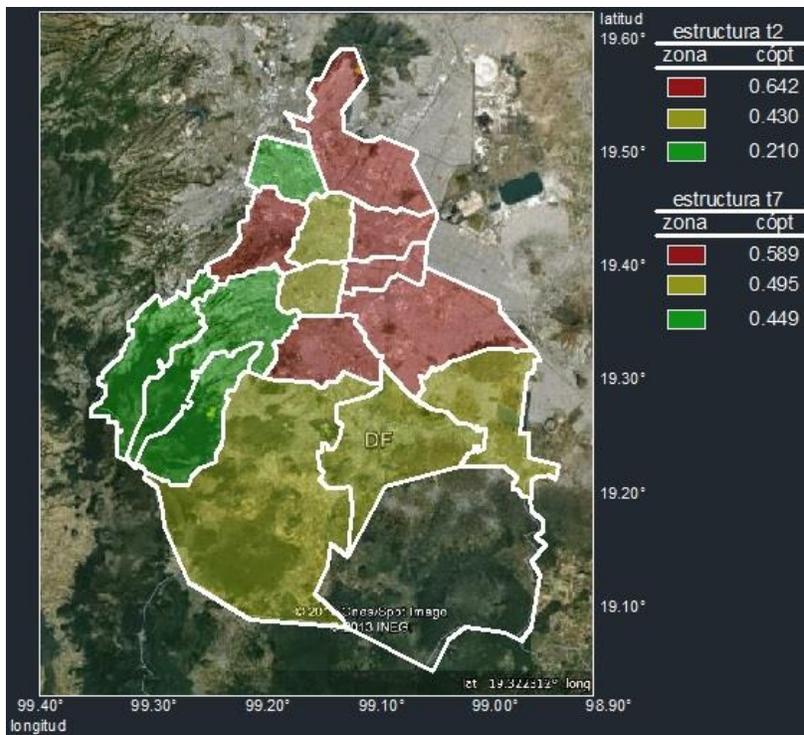


Figura 5.47 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 2 y 7.

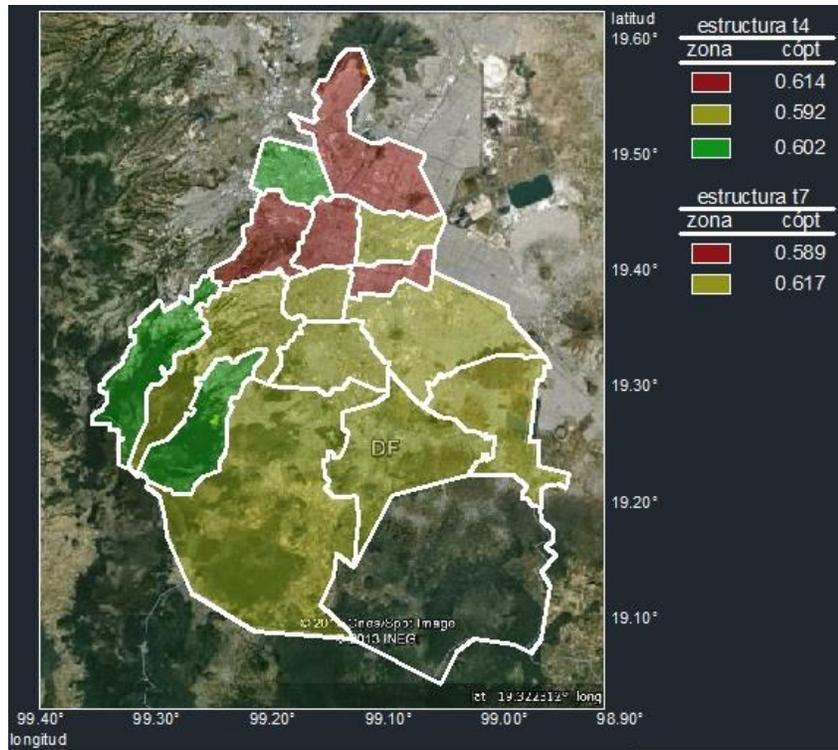


Figura 5.48 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 4 y 7.

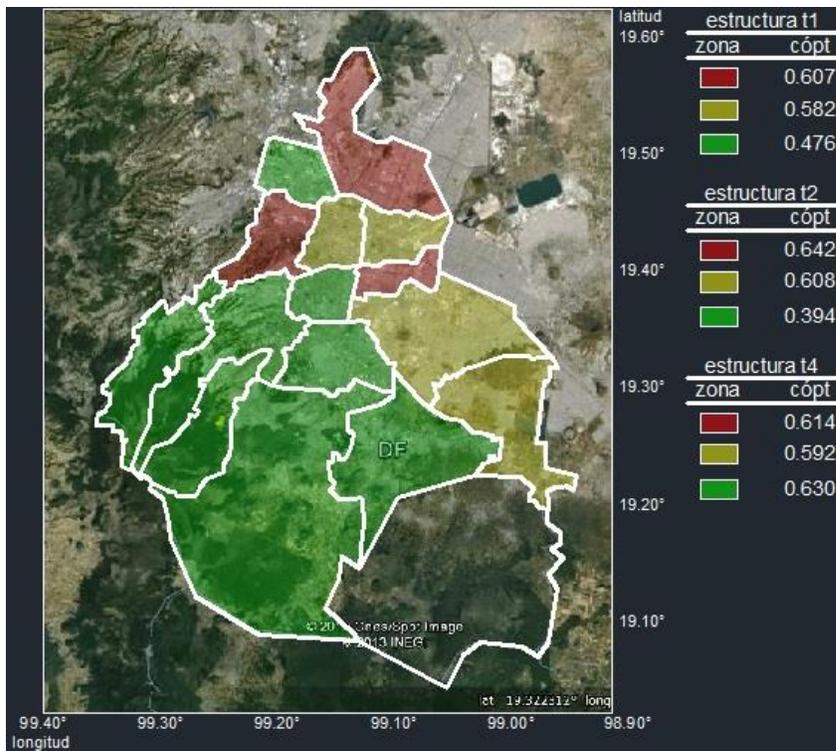


Figura 5.49 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 2 y 4.

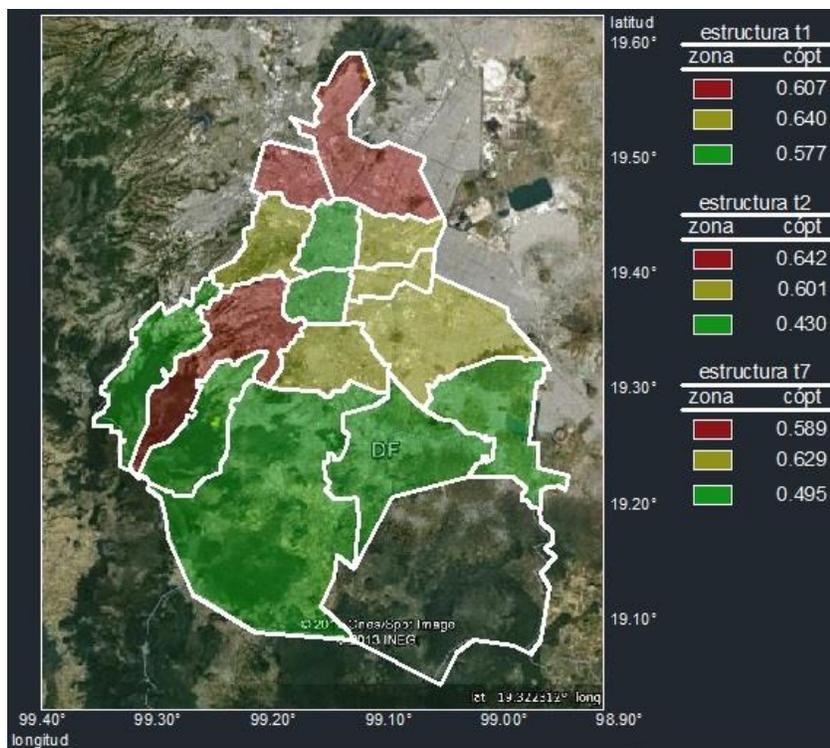


Figura 5.50 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 2 y 7.

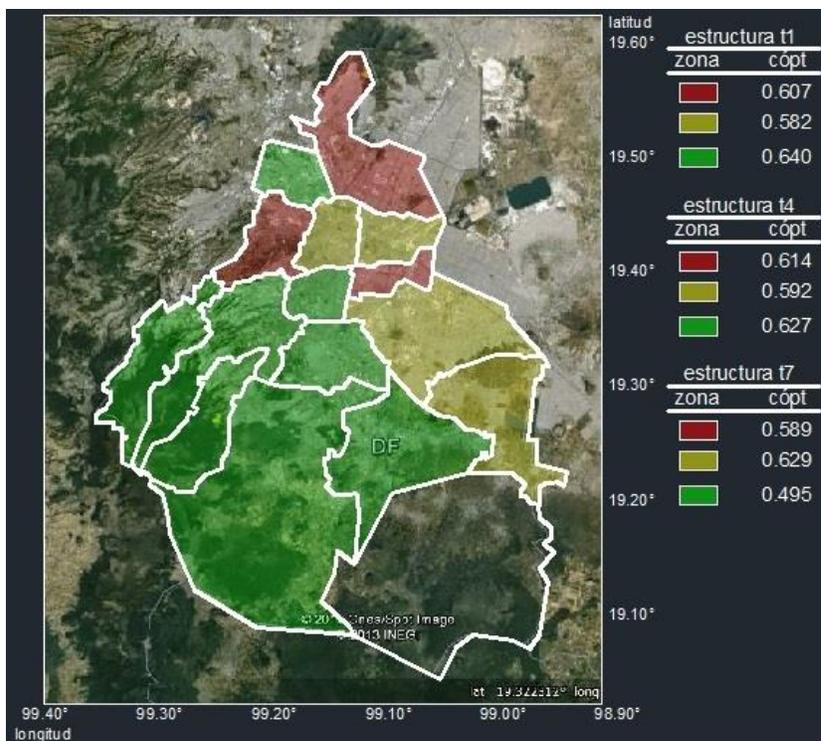


Figura 5.51 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 4 y 7.

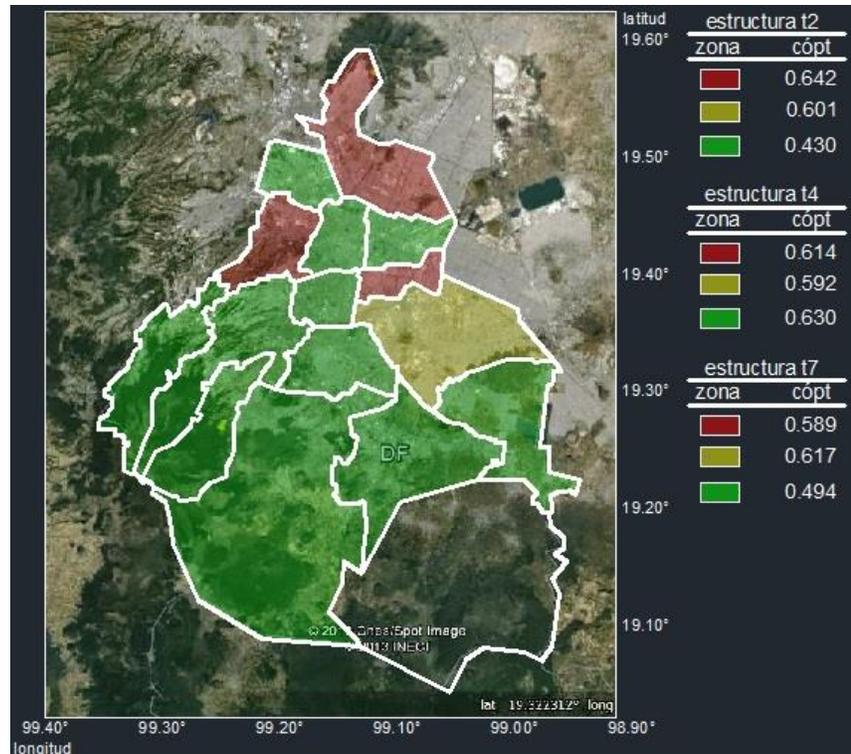


Figura 5.52 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 2, 4 y 7.

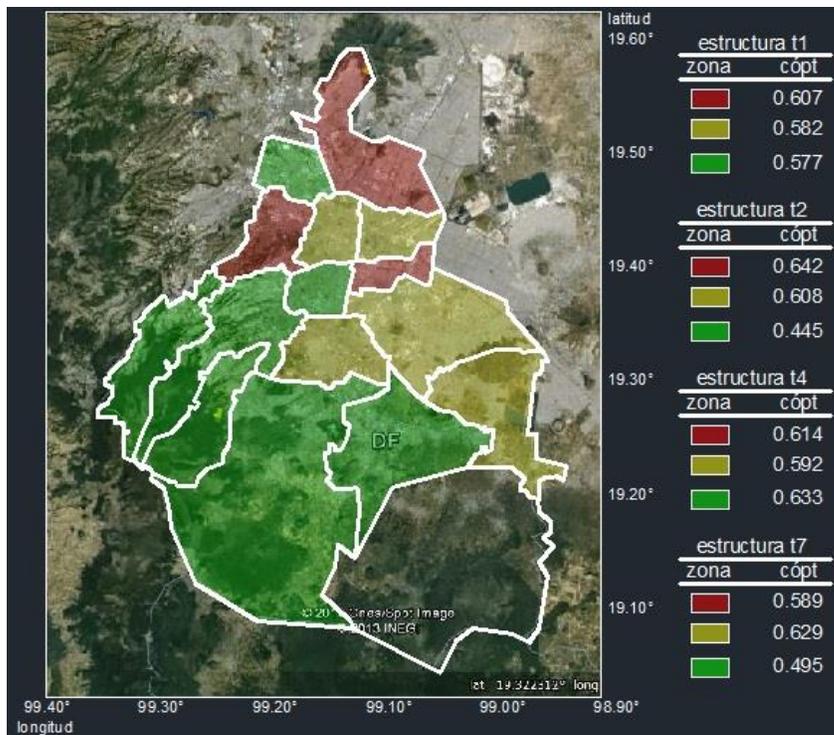


Figura 5.53 Zonación sísmica óptima y coeficientes de diseño óptimos para los tipos estructurales 1, 2, 3 y 4.

## 6. Conclusiones y recomendaciones.

Se presentó en este trabajo la red neuronal de mapas auto-organizados como una solución para el problema de la zonación sísmica óptima, bajo un riguroso planteamiento matemático que minimiza la esperanza del valor presente del costo total para cuatro tipos estructurales. La esperanza del valor presente del costo total se define en función del coeficiente sísmico de diseño y toma en cuenta la incertidumbre en la ley de atenuación. La implementación de la red neuronal en un programa de computadora mostró eficiencia en tiempos de ejecución en comparación con métodos alternos que resuelven el mismo problema (Castellanos, 2001). Entre las ventajas de este método se encuentra la conservación de las relaciones topológicas entre los datos de entrada para la red mismos que definen las características tanto geográficas como sísmicas de la región en estudio. Fue evidente también la facilidad para la incorporación de los cuatro tipos estructurales presentes en la región en estudio al considerar sus características como un vector más del conjunto de datos de entrada.

Se obtuvieron como resultado un conjunto de mapas que muestran de manera gráfica la distribución de las diversas zonas sísmicas sobre la región en estudio así como el coeficiente sísmico de diseño óptimo asociado a cada zona sísmica formada. Al considerar una región geográfica con 751 celdas, fue posible obtener la zonación sísmica óptima sin restricciones para cada uno de los cuatro tipos estructurales considerados y para todas sus posibles combinaciones, es decir, sin considerar los límites jurisdiccionales, de esta manera se obtuvieron mapas en los que se asigna cada una de las 751 celdas a una zona sísmica asociándole un coeficiente de diseño sísmico óptimo. Al considerar los límites jurisdiccionales se agrupan las celdas pertenecientes a una entidad jurisdiccional y al aplicar la red neuronal se obtienen mapas con una configuración óptima en la que dicha entidad se asigna a una zona sísmica y se asocia a un coeficiente de diseño óptimo.

En el planteamiento para la evaluación de la esperanza del valor presente del costo total se han utilizado las expresiones desarrolladas por García-Pérez (1994) que incluyen las incertidumbres en la ley de atenuación utilizada. Además de estas incertidumbres se recomienda que en trabajos posteriores se puedan incluir aquellas relacionadas con las propiedades estructurales o con la ocurrencia de los sismos, así como las correspondientes a los parámetros considerados deterministas, lo que contribuiría a un cálculo más preciso de los coeficientes sísmicos óptimos de diseño. Las modificaciones en tales expresiones también pueden ser en el sentido de considerar los incrementos de los costos iniciales debido a las condiciones locales de la zona en la que se construye una estructura, relacionados con el tipo de suelo que hace necesaria una cimentación especial, transporte de materiales y mano de obra. Así mismo, se puede lograr una mejor estimación de los daños sufridos por una estructura al incorporar expresiones en función del contenido de frecuencias y la duración del movimiento sísmico.

En la implementación de la red neuronal de mapas auto-organizados podrían incluirse más variables discriminatorias tales como el periodo de vibración de suelo y modificaciones en las

intensidades para incluir los efectos de sitio, se obtendría de esta manera una zonación sísmica que preserve en mayor medida las características topológicas de los datos usados. La solución del problema de optimización como aquí se presenta consiste en la búsqueda de la distribución óptima de las celdas que contienen la información referente a localización geográfica y sismicidad, esta búsqueda puede hacerse más rápida y efectiva al explorar en modelos de redes neuronales tales como la red de Hopfield o Boltzman y establecer una expresión de la función objetivo que sea comparable con la función de energía que estas dos redes manejan, así como en la correcta asignación de valores a las constantes que las funciones de energía requieren lo cual solo es posible de manera experimental. La literatura muestra que una combinación entre los métodos de redes neuronales y algoritmos genéticos se ha aplicado a problemas de optimización en problemas de asignación en investigación de operaciones con muy buenos resultados, por tanto los esfuerzos a futuro podrían enfocarse en la búsqueda de un método híbrido entre redes neuronales y algoritmos genéticos que resuelva el problema de zonación sísmica óptima para un planteamiento de la esperanza del valor presente del costo total mucho más riguroso y para un área geográfica en la que se tenga una cantidad de datos mucho mayor a la aquí utilizada.

## **7. Agradecimientos.**

Quisiera agradecer al CONACyT el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de maestría, asimismo al Dr. García Pérez Jaime, director de esta tesis y a los sinodales: Dr. Escobar Sánchez José Alberto, Dr. Reinoso Angulo Eduardo, Dr. Díaz López Orlando Javier, M. I. García Domínguez Octavio quienes revisaron y aprobaron este trabajo.

## 8. Referencias.

Abdulla I, Malkawi H, M. EERI, Al-Homould A S, Batayneh J S (1995) "Probabilistic seismic hazard zonation and dynamic site periods mapping for major cities in Jordan", *Earthquake Spectra* Vol. 11 No. 4, pp 637-658.

Avilés J y Pérez-Rocha L E (1998) "Site effects and soil-structure interaction in the Valley of Mexico", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 17 No 1, pp 29-39.

Carona O D y Yamin L E (1997) "Seismic microzonation and estimation of earthquake loss scenarios: Integrated risk mitigation Project of Bogota, Colombia", *Earthquake Spectra* Vol. 13 No. 4, pp 795-814.

Castellanos F (2001) "Métodos de zonación sísmica óptima", Tesis de maestría, DEPMI, UNAM.

Chávez M (2000) "Impact of local geology on the seismic vulnerability of the metropolitan zone of Guadalajara, Mexico", *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, New Zealand Society of Earthquake Engineering, New Zealand 2000, paper No. 1600.

Chávez M y García-Rubio (1995) "Seismic vulnerability of the metropolitan zone of Guadalajara, Mexico", *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation*, France, Vol 1, pp 33-40.

Chávez M y Ramírez R (1998) "Earthquake observe site effects in the metropolitan zone of Guadalajara, México", *The effects on surface geology on seismic motion: Recent progress and new horizon on ESG study. Proceedings of the Second International Symposium*, A. A. Balkema, Rotterdam, Vol 2, pp 189-496.

Chávez-García F J y Bard P Y (1993a) "Gravity waves in Mexico City?—I. Gravity perturbed waves in an elastic solid", *Bulletin of the Seismological Society of America* Vol 83 No 6, pp 1637-1655.

Chávez-García F J y Bard P Y (1993b) "Gravity waves in Mexico City?—II. Coupling between an inelastic solid and a fluid layer ", *Bulletin of the Seismological Society of America* Vol 83 No 6, pp 1656-1675.

Chávez-García F J y Bard P Y (1994) "Site effects in Mexico City eighth year after the September 1985 Michoacan Earthquake", *soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol 13 No 4, pp 229-247.

Chávez-García F J, Cuenca J y Lermo J (1995) "Seismic microzonation en Mexico: the examples of Mexico City, Oaxaca and Puebla", *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation*, France, vol 1, pp 699-706.

Chávez-García F J y Cuenca J (1998) "Site effects and microzonation in Acapulco", *Earthquake Spectra* Vol 14 No 1, pp 75-93.

- Comisión Federal de Electricidad (CFE), (1993), Manual de diseño de obras civiles.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE), (2008), Manual de diseño de obras civiles.
- Cornell C A y Vanmarcke E (1969) "The major influences on seismic risk", Memorias IV Congreso mundial de Ingeniería Sísmica, Santiago de Chile, Chile, pp A169-83.
- Cruz R, Ramírez, Rodríguez J, Albores A, Najera F, García J y Rivero F (1997) "Zonificación sísmica de la Ciudad de Tapachula, Chiapas", Memorias del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, México.
- Derras B y Bekkouche A (2011) "Use of the artificial neural network for peak ground acceleration estimation" *Lebanese Science Journal*, Vol. 12, No. 2, pp 101-115
- Esteva L y Trigos J (1976) "Recomendaciones para la formulación de reglamentos de diseño sísmico en el país", Secretaría de Obras Públicas, México.
- García-Pérez J (1994) "Zonación y microzonación óptimas", Tesis Doctoral, DEPEFI, UNAM.
- García-Pérez J (2000) "Seismic zoning for initial- and total-cost minimization", *Earthquake engineering and structural dynamics*, Vol. 29 No. 6, pp 847-866.
- García-Pérez J y Rosenblueth E (1994a) "Zonación sísmica para minimización del costo inicial en problemas reducibles a una dimensión", *Ingeniería Sísmica* No. 47 pp 1-19.
- García-Pérez J y Rosenblueth E (1994b) "Zonación sísmica para minimización del costo inicial en problemas reducibles a una dimensión", *Ingeniería Sísmica* No. 48 pp 1-10.
- García-Pérez J y Rosenblueth E (1995) "Zonación sísmica en problemas no reducibles a una dimensión", *Ingeniería Sísmica* No. 49, pp 1-19.
- García-Pérez J, Castellanos F y Díaz O (1999) "zonación sísmica para diseño de minimización del costo total", Memoria del XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Morelia, México, pp 947-955.
- Giacinto G, Paolucci R, Roli F (1997) Application of neural networks and statistical pattern recognition algorithms to earthquake risk evaluation. *Pattern Recogn Lett* 18 p. 1353
- Grandori G (1977) "Seismic zonation as a problem of optimization", Proc. Second International Conference on Structural Safety and Reliability, Munich, pp 613-624.
- Hopfield J J y Tank D W (1985) "Neural Computation of Decisions in Optimization problems" *Biological Cybernetics* Vol. 52 pp 141-152.
- Hurtado J y Álvarez D (2002) "Optimización basada en confiabilidad por medio de redes neuronales y algoritmos evolutivos", *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, Vol. 18, No. 4 pp 573-593.

Iglesias J (1989) "The Mexico Earthquake of September 19, 1985 – Seismic zoning of Mexico City after the 1985 Earthquake", *Earthquake Spectra* Vol. 5 No. 1, pp 257-271.

Ishizawa, O. A.; Clouteau, D. (2007) "Multiple scattering of waves in random media: Application to the study of the city-site effect in Mexico City area" *American Geophysical Union, Fall Meeting 2007*.

Kohonen T (1990) The self-organizing map. *Proc IEEE* Vol 78 No.9 p. 1464

Lermo J y Bernal I (2006) "Zonación sísmica del estado de Tlaxcala, México" *Boletín de la sociedad geológica mexicana, Número especial de geología urbana, tomo LVIII, núm. 2, p. 215-221*.

Lermo J, Rodriguez M y Singh S K (1988) "The Mexico earthquake of September 19, 1985—natural period of sites in the valley of Mexico from microtremor measurements and strong motion data", *Earthquake Spectra* Vol. 4 No. 4, pp 805-814.

Lermo J y Chávez-García F J (1994) "Site effect evaluation at Mexico City: dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records", *soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 13 No. 6, pp 413-423.

Mackey K G, Fujita K, Harste H E y Steck L K (2002) "Seismic Regionalization in Eastern Russia" *25th Seismic Research Review - Nuclear Explosion Monitoring: Building the Knowledge Base*.

Martínez C L (2002) "Diseño y simulación de una red neuronal aplicada al problema de distribución óptima en planta" *Tesis de maestría. Sección de estudios de posgrado e investigación. IPN*.

Montoya-Dulché C E y Vitiello F (1996) "Aplicación de los algoritmos genéticos al problema de microzonación sísmica óptima", *Ingeniería Civil* no 326.

Möllera O, Foschib R O, Rubinstein M y Quiroz L M (Argentina, 2007) "Optimización de pórticos sismorresistentes utilizando redes neuronales y algoritmo sin cálculo de gradientes" *Mecánica Computacional. Vol. XXVI, pp 1824-1839*

N. K. Bose and P. Liang. *Neural Network Fundamentals with Graphs, algorithms and Applications*. McGraw Series in Electrical and Computer Engineering. 1996.

Normas técnicas complementarias para diseño por sismo (2004), *Gaceta oficial del departamento del Distrito Federal*.

Noguez R, Ramírez M, Ramírez H, Syoval M R, Mendoza E, García J, Rivero F e Iglesias J (1997) "Propuesta de zonificación sísmica de los municipios de Toluca, Lerma y Metepec, Estado de México", *Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, México*.

Ordaz M y col (1988) "The Mexico Earthquake of September 19, 1985—estimation of response spectra in the lake bed zone of the Valley of Mexico", *Earthquake Spectra* Vol. 4 No. 4, pp 815-834.

Ordaz M, Jara J M y Singh S K (1989) "Riesgo sísmico y espectro de diseño en el estado de Guerrero", Informe interno del instituto de ingeniería, UNAM.

Ordaz M y Singh S K (1992) "Source spectra and spectral attenuation of seismic waves from Mexicam Earthquakes, and evidence of amplification in the hill zone of Mexico City", Bulletin of the Seismological Society of America Vol. 82 No. 1, pp 24-43.

Ordaz M, Rosenblueth E y Reinoso E (1993) "Future Ground motions in Mexico", Technophysics, 218, 1-3, Feb 15, pp 141-155.

Ordaz M y Faccioli E (1994) "Site response analysis in the Valley of Mexico: selection of input motion and extent of non-linear soil behaviour", Earthquake engineering and structural dynamics, Vol. 23 No. 8, pp 895-908.

Ordaz M, Meli R, Montoya-Dulché C, Sánchez L, Pérez Rocha L (1994) "Bases para la estimación del riesgo sísmico en la Ciudad de México", Cuaderno de Investigación No. 1, CENAPRED.

Ordaz M, Miranda E, Reinoso E y Pérez-Rocha L E (2000) "Seismic loss estimation model of Mexico City", Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand society of Earthquake Engineering, New Zealand 2000, Paper No. 1902.

Osorio-Carrera E, García-Isidor S, Ramirez-Centeno M, López Areiga G y Ruiz-Acevedo C (1997) "Propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Tehuacán, Puebla", Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, México.

Panza G F, Vaccari F, Cost G, Suhadolc P y Fäh D (1996) "Seismic Input modeling for zoning and microzoning", Earthquake Spectra Vol. 12 no. 3, pp 529-566.

Peterson C y Söderberg B (1989) "A New Method for Mapping Optimization Problems onto Neural Networks" International Journal of Neural Systems 1, 3.

Reglamento para construcciones del Distrito Federal (2004), Diario Oficial de la Federación.

Reyes J y Cárdenas V H (2010) "A Chilean seismic regionalization through a Kohonen neural network" Neural Comput & Applic, Vol 19, pp 1081-1087

Rojas R (1996) Neural networks—a systematic introduction. Springer, Berlin.

Rosenblueth E (1977) "Optimum Regionalization", Proc. Second International Conference on Structural Safety and Reliability, Munich, pp 575-592.

Rosenblueth E y García-Pérez J (1994) "Optimal zoning", Engineering structures Vol. 16 No. 7, pp 460-469.

Sánchez-Sesma F J, Pérez-Rocha L E y Reinoso E (1993) "Ground motion in Mexico city during the April 25, 1989, Guerrero Earthquake", Technophysics, 218, 1-3, Feb 15, pp 127-140.

Singh S K, Ordaz M y Pérez-Rocha L E (1996) "The great Mexicam earthquake of June of 1858: expected ground motions and damage in México City from a similia future event", Bulletin of the Seismological society of America Vol. 86 No. 6, pp 1655-1666.

Smith K, Palaniswami M and Krishnamoorthy M (1996) "Neural Techniques for Combinatorial Optimization with Applications" IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 9, no. 6 pp 1301-1318.

Sorayya M, Aishah S, Sapiyan B M y Sharifah S A (2011) "A self organizing map (SOM) guided rule based system for freshwater tropical algal analysis and prediction" Scientific Research and Essays Vol. 6(25), pp. 5279-5284.

Tutorial. Web page: <http://www.ai-junkie.com/ann/som/som1.html>

Wang, L., Li, S., Tian, F., & Fu, X. (2004). A noisy chaotic neural network for solving combinatorial optimization problems: stochastic chaotic simulated annealing. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B: Cybernetics, 34(5), 2119-2125.

Wintergerst, L. (2007) "Seismic Hazard Management in Mexico City" American Geophysical Union, Spring Meeting 2007

## 9. Apéndice A.

Datos sobre localización, sismicidad, costos y número de estructuras de las 751 celdas del área en estudio para los cuatro tipos estructurales considerados.

Celda	longitud	latitud	z E1	z E2	z E4	z E7	C1	C2	C4	C7	# E1	# E2	# E4	# E7
1	99.149	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	320507	53640	0	0	161826	52658	0	0
2	99.140	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	815010	87686	0	0	411505	86080	0	0
3	99.132	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	319294	0	0	0	161214	0	0	0
4	99.122	19.564	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
5	99.157	19.557	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
6	99.150	19.558	0.149	0.087	0.390	0.187	190169	0	0	0	96018	0	0	0
7	99.140	19.557	0.149	0.087	0.390	0.187	794635	153450	0	0	401218	150640	0	0
8	99.132	19.557	0.149	0.087	0.390	0.187	777901	57862	0	0	392768	56802	0	0
9	99.123	19.556	0.149	0.087	0.390	0.187	56059	0	0	0	28305	0	0	0
10	99.158	19.552	0.149	0.087	0.390	0.187	470896	0	0	0	237759	0	0	0
11	99.150	19.552	0.149	0.087	0.390	0.187	631661	55155	0	0	318931	54146	0	0
12	99.140	19.551	0.149	0.087	0.390	0.187	727473	104357	0	0	367307	102446	0	0
13	99.131	19.550	0.149	0.087	0.390	0.187	352107	0	0	0	177782	0	0	0
14	99.125	19.552	0.149	0.087	0.390	0.187	11212	0	0	0	5661	0	0	0
15	99.160	19.546	0.149	0.087	0.390	0.187	1109000	61867	0	0	559943	60735	0	0
16	99.150	19.546	0.149	0.087	0.390	0.187	148233	0	0	0	74844	0	0	0
17	99.140	19.546	0.149	0.087	0.390	0.187	739547	0	0	0	373403	0	0	0
18	99.132	19.546	0.149	0.087	0.390	0.187	323417	0	0	0	163296	0	0	0
19	99.157	19.535	0.180	0.103	0.423	0.235	719966	57594	0	0	302940	54529	0	0
20	99.150	19.538	0.180	0.104	0.400	0.280	2423808	86460	443535	0	1020191	73157	128024	0
21	99.140	19.539	0.121	0.071	0.343	0.206	1006975	66148	0	0	646854	65277	0	0
22	99.134	19.541	0.149	0.087	0.390	0.187	20321	0	0	0	10260	0	0	0
23	99.158	19.528	0.150	0.088	0.319	0.150	381903	0	340776	0	193298	0	105805	0
24	99.150	19.529	0.157	0.091	0.396	0.209	673441	0	0	0	318427	0	0	0
25	99.139	19.531	0.094	0.056	0.273	0.140	334726	121968	0	0	327525	120932	0	0
26	99.173	19.524	0.117	0.101	0.674	0.271	1243415	0	0	0	872466	0	0	0
27	99.167	19.522	0.085	0.080	0.845	0.260	1266926	0	0	0	1244549	0	0	0
28	99.158	19.522	0.076	0.072	0.736	0.259	558629	87201	0	0	550541	86022	0	0
29	99.149	19.522	0.067	0.070	0.922	0.331	427675	79709	0	0	422548	78693	0	0
30	99.140	19.522	0.132	0.077	0.388	0.197	720249	0	0	0	413683	0	0	0
31	99.133	19.521	0.121	0.071	0.366	0.167	457868	0	0	0	293974	0	0	0
32	99.161	19.512	0.065	0.060	0.596	0.216	403910	0	0	0	399298	0	0	0
33	99.154	19.514	0.058	0.055	0.589	0.227	296453	0	0	0	293673	0	0	0
34	99.147	19.515	0.064	0.064	0.774	0.265	65272	0	0	0	64543	0	0	0
35	99.140	19.515	0.067	0.068	0.947	0.352	231934	42628	0	0	229180	42110	0	0
36	99.133	19.515	0.145	0.084	0.401	0.221	1410571	0	0	0	734738	0	0	0
37	99.125	19.513	0.175	0.101	0.469	0.409	24773	0	79801	0	10766	0	21532	0

38	99.157	19.505	0.055	0.050	0.505	0.196	0	0	1973414	0	0	0	556047	0
39	99.151	19.506	0.050	0.046	0.510	0.193	40526	0	0	0	40252	0	0	0
40	99.145	19.507	0.057	0.051	0.505	0.190	271243	62180	291715	0	268845	61730	82220	0
41	99.138	19.508	0.079	0.070	0.443	0.177	156344	114038	657638	0	153907	112572	201544	0
42	99.133	19.509	0.063	0.064	0.933	0.332	33487	0	0	0	33126	0	0	0
43	99.125	19.507	0.073	0.077	0.932	0.377	319467	4357	0	22575	315121	4292	0	6777
44	99.114	19.507	0.189	0.285	0.960	0.462	0	0	0	0	0	0	0	0
45	99.104	19.507	0.131	0.169	0.958	0.446	1128677	159557	0	0	646489	68227	0	0
46	99.094	19.505	0.079	0.086	0.950	0.392	1103131	205603	0	0	1085919	201917	0	0
47	99.084	19.501	0.090	0.079	0.474	0.295	1035413	105686	0	0	1015029	104040	0	0
48	99.076	19.497	0.225	0.169	0.517	0.251	1462191	0	0	0	547430	0	0	0
49	99.153	19.497	0.044	0.040	0.433	0.174	0	791746	0	0	0	788618	0	0
50	99.148	19.499	0.044	0.040	0.433	0.179	0	0	0	0	0	0	0	0
51	99.142	19.500	0.067	0.061	0.382	0.163	0	0	0	0	0	0	0	0
52	99.134	19.500	0.102	0.084	0.308	0.151	438349	159620	0	372541	415044	156887	0	188845
53	99.124	19.498	0.118	0.097	0.332	0.150	828887	3483	0	8958	582286	3403	0	4537
54	99.116	19.499	0.068	0.069	0.912	0.315	570411	66566	0	0	563371	65727	0	0
55	99.108	19.501	0.083	0.091	0.950	0.397	358769	0	0	0	352772	0	0	0
56	99.098	19.497	0.096	0.106	0.950	0.398	839851	278102	0	0	820833	235726	0	0
57	99.087	19.494	0.083	0.073	0.464	0.294	1015288	165233	0	0	998284	162985	0	0
58	99.077	19.490	0.280	0.206	0.495	0.266	3165636	171068	0	0	1089020	67223	0	0
59	99.071	19.487	0.527	0.350	0.503	0.270	1101417	0	0	0	317650	0	0	0
60	99.146	19.494	0.059	0.052	0.411	0.158	392566	114253	0	0	388800	113400	0	0
61	99.140	19.494	0.082	0.068	0.298	0.133	365150	81115	0	0	359115	80129	0	0
62	99.130	19.492	0.203	0.169	0.270	0.146	4607439	411193	0	0	1797073	175429	0	0
63	99.121	19.490	0.127	0.105	0.402	0.183	848257	347783	0	0	528194	294639	0	0
64	99.111	19.495	0.129	0.134	0.957	0.432	266426	0	0	0	151803	0	0	0
65	99.101	19.491	0.074	0.078	0.967	0.391	540398	272287	0	0	532882	268116	0	0
66	99.090	19.487	0.087	0.076	0.421	0.270	626563	142664	0	0	615082	140590	0	0
67	99.081	19.483	0.287	0.212	0.529	0.268	2214261	0	0	0	773323	0	0	0
68	99.072	19.480	0.614	0.389	0.523	0.317	2107902	0	0	0	604091	0	0	0
69	99.066	19.477	0.754	0.501	0.558	0.342	1622488	0	0	0	423403	0	0	0
70	99.151	19.490	0.061	0.054	0.398	0.154	58663	512163	0	0	58061	508033	0	0
71	99.142	19.489	0.063	0.054	0.313	0.135	890782	520259	0	0	881117	516083	0	0
72	99.133	19.484	0.246	0.201	0.283	0.167	1915779	324506	0	0	645019	125932	0	0
73	99.124	19.482	0.194	0.150	0.365	0.166	788057	145818	0	0	314685	73726	0	0
74	99.116	19.486	0.179	0.154	1.023	0.559	1219773	0	0	0	512343	0	0	0
75	99.108	19.487	0.153	0.146	1.083	0.584	1292912	0	0	0	603542	0	0	0
76	99.101	19.484	0.073	0.071	0.559	0.195	722661	385197	0	0	712671	380091	0	0
77	99.093	19.480	0.147	0.115	0.455	0.300	266952	0	0	0	133747	0	0	0
78	99.084	19.474	0.320	0.234	0.608	0.276	3131975	0	0	0	975135	0	0	0
79	99.076	19.472	0.870	0.577	0.655	0.418	1381111	0	0	0	342676	0	0	0
80	99.065	19.468	1.286	1.042	0.827	0.604	5752291	945589	0	0	1272541	254508	0	0

81	99.148	19.484	0.067	0.060	0.337	0.123	153082	0	1762924	0	151253	0	565638	0
82	99.141	19.480	0.127	0.101	0.276	0.143	541195	0	854281	0	336389	0	291538	0
83	99.135	19.477	0.240	0.192	0.285	0.171	1778410	403266	0	0	656668	160258	0	0
84	99.128	19.474	0.282	0.220	0.295	0.201	2406972	670236	0	0	831504	247784	0	0
85	99.117	19.480	0.222	0.171	1.510	0.375	1625666	0	0	0	603916	0	0	0
86	99.105	19.476	0.207	0.151	0.411	0.278	712092	0	0	0	281071	0	0	0
87	99.096	19.473	0.317	0.235	0.555	0.259	1644730	0	0	0	541910	0	0	0
88	99.085	19.468	0.404	0.293	0.594	0.289	1005146	522390	309149	0	291847	164001	87126	0
89	99.078	19.459	1.461	1.212	0.922	0.718	0	0	0	0	0	0	0	0
90	99.059	19.461	1.405	1.268	0.935	0.753	0	0	0	0	0	0	0	0
91	99.145	19.476	0.127	0.102	0.258	0.146	1177589	0	0	0	733380	0	0	0
92	99.121	19.472	0.210	0.168	0.271	0.185	2064311	0	0	0	821353	0	0	0
93	99.110	19.468	0.315	0.244	0.478	0.232	3260813	0	0	0	1069989	0	0	0
94	99.099	19.464	0.342	0.253	0.550	0.262	2697300	0	0	0	872571	0	0	0
95	99.088	19.460	0.467	0.347	0.541	0.290	3691713	0	0	0	994187	0	0	0
96	99.074	19.451	0.396	0.290	0.488	0.310	2910972	0	0	0	898671	0	0	0
97	99.066	19.453	1.492	1.367	0.872	0.683	6201605	0	0	0	1464057	0	0	0
98	99.058	19.453	1.242	1.135	0.796	0.642	5139387	0	0	0	1118170	0	0	0
99	99.142	19.467	0.206	0.172	0.304	0.200	1228035	0	0	0	483217	0	0	0
100	99.137	19.467	0.299	0.246	0.326	0.227	1091964	402937	0	0	347683	135762	0	0
101	99.131	19.465	0.234	0.183	0.341	0.254	1413186	336228	0	0	515084	142830	0	0
102	99.125	19.463	0.135	0.104	0.391	0.271	664284	109649	0	0	367707	92775	0	0
103	99.115	19.459	0.281	0.216	0.482	0.238	4241023	947366	0	0	1461858	347050	0	0
104	99.101	19.454	0.354	0.260	0.520	0.250	4294912	1161106	0	0	1241376	403940	0	0
105	99.088	19.451	0.061	0.053	0.791	0.209	698232	0	0	0	691130	0	0	0
106	99.205	19.508	0.222	0.131	0.316	0.146	622504	2116989	1478989	0	231465	1215194	486078	0
107	99.197	19.504	0.102	0.084	0.652	0.250	42185	1422798	0	0	39943	1397995	0	0
108	99.187	19.504	0.106	0.081	0.769	0.209	0	682519	0	0	0	671555	0	0
109	99.178	19.502	0.092	0.074	0.624	0.192	75159	326627	0	0	73613	322056	0	0
110	99.171	19.500	0.094	0.075	0.548	0.184	0	0	0	0	0	0	0	0
111	99.162	19.498	0.056	0.051	0.475	0.171	0	0	1287367	0	0	0	350269	0
112	99.209	19.498	0.196	0.114	0.333	0.152	2076466	796764	0	0	833976	555984	0	0
113	99.200	19.495	0.098	0.080	0.663	0.243	1428433	188986	0	0	1395015	186002	0	0
114	99.187	19.499	0.104	0.077	0.705	0.195	242862	208665	0	0	205546	205546	0	0
115	99.179	19.493	0.111	0.085	0.536	0.175	597673	221882	0	0	435974	217987	0	0
116	99.169	19.492	0.079	0.065	0.474	0.166	0	0	0	0	0	0	0	0
117	99.160	19.490	0.062	0.054	0.393	0.152	0	0	0	0	0	0	0	0
118	99.211	19.489	0.157	0.091	0.364	0.164	3085059	142040	631782	0	1457676	139142	185522	0
119	99.202	19.485	0.068	0.062	0.730	0.254	1062661	132587	0	0	1049760	131220	0	0
120	99.190	19.490	0.091	0.074	0.647	0.190	1735732	724613	0	0	1701001	714420	0	0
121	99.179	19.483	0.127	0.094	0.456	0.131	1256576	1021524	0	0	782072	999314	0	0
122	99.170	19.483	0.106	0.082	0.368	0.123	337109	0	0	0	285768	0	0	0
123	99.164	19.483	0.082	0.071	0.349	0.131	0	0	0	0	0	0	0	0

124	99.159	19.483	0.072	0.066	0.362	0.143	0	0	0	0	0	0	0	0
125	99.154	19.484	0.069	0.064	0.361	0.146	46663	0	0	0	46079	0	0	0
126	99.214	19.480	0.147	0.085	0.393	0.193	2693672	269360	0	0	1348902	264617	0	0
127	99.205	19.475	0.163	0.098	0.310	0.114	1439652	369030	582281	0	662030	360289	189152	0
128	99.191	19.482	0.083	0.069	0.623	0.162	1039211	797589	0	0	1021798	787476	0	0
129	99.193	19.473	0.070	0.063	0.684	0.172	1027213	1000533	0	0	1014068	989923	0	0
130	99.182	19.472	0.131	0.101	0.422	0.122	2332065	919376	0	0	1338007	870766	0	0
131	99.172	19.473	0.140	0.117	0.309	0.113	463647	0	0	0	238231	0	0	0
132	99.165	19.475	0.098	0.086	0.318	0.112	290471	0	0	0	283591	0	0	0
133	99.158	19.476	0.065	0.056	0.281	0.120	706888	68822	0	0	698907	68227	0	0
134	99.152	19.476	0.087	0.073	0.264	0.120	751696	55116	0	0	737812	54358	0	0
135	99.215	19.473	0.151	0.087	0.406	0.213	1118584	72920	0	0	568230	71574	0	0
136	99.187	19.463	0.099	0.085	0.610	0.172	1194957	1024251	0	0	1166399	1006019	0	0
137	99.175	19.463	0.160	0.136	0.282	0.114	764258	1874826	0	0	347587	1042761	0	0
138	99.166	19.464	0.130	0.111	0.226	0.114	1000001	2357315	0	0	572572	1717717	0	0
139	99.157	19.467	0.121	0.099	0.248	0.146	1216207	195545	0	0	782188	190891	0	0
140	99.150	19.467	0.212	0.163	0.274	0.180	2183801	149400	1775521	0	791169	68652	602795	0
141	99.170	19.457	0.201	0.170	0.306	0.125	1446724	137117	0	0	560867	58662	0	0
142	99.207	19.467	0.158	0.092	0.389	0.184	239377	0	529481	0	113219	0	161741	0
143	99.197	19.466	0.055	0.053	0.810	0.278	0	0	1127949	0	0	0	269827	0
144	99.211	19.459	0.175	0.099	0.443	0.290	1274939	1110625	0	0	555207	1083975	0	0
145	99.195	19.460	0.062	0.063	0.866	0.326	433470	423220	0	0	428924	418712	0	0
146	99.186	19.454	0.091	0.085	0.753	0.236	793722	998557	0	0	777807	981098	0	0
147	99.180	19.452	0.245	0.199	0.487	0.176	566656	691410	2195624	22172	190406	279920	605837	9684
148	99.171	19.452	0.114	0.104	0.290	0.133	476598	69083	0	0	332603	58449	0	0
149	99.216	19.449	0.126	0.074	0.655	0.379	159440	0	2750182	0	98998	0	664702	0
150	99.208	19.450	0.165	0.094	0.465	0.467	272257	190240	1492335	25325	125698	186159	400545	6822
151	99.199	19.451	0.083	0.094	0.953	0.406	462642	683255	5586948	79401	454813	668631	1447134	23131
152	99.192	19.452	0.069	0.068	0.893	0.303	765881	515117	0	34298	756281	508771	0	11000
153	99.187	19.443	0.174	0.138	0.733	0.227	1463685	464051	593952	0	635357	259330	152745	0
154	99.176	19.445	0.201	0.180	0.396	0.162	622487	840403	2487956	28765	241367	354049	768564	13198
155	99.170	19.445	0.094	0.086	0.249	0.125	220287	0	403533	0	215550	0	136857	0
156	99.171	19.440	0.099	0.090	0.267	0.129	206878	12410	305788	0	201948	12166	102364	0
157	99.181	19.438	0.260	0.219	0.466	0.180	1231095	996629	0	0	428992	367707	0	0
158	99.177	19.430	0.120	0.106	0.320	0.148	589882	27013	618829	0	377887	22902	192706	0
159	99.228	19.441	0.324	0.192	0.434	0.204	693990	0	0	0	217728	0	0	0
160	99.215	19.440	0.345	0.210	0.480	0.601	595552	634657	2336936	0	193710	252130	639550	0
161	99.208	19.441	0.260	0.153	0.458	0.465	1153584	657906	0	0	402029	306892	0	0
162	99.199	19.441	0.120	0.125	0.953	0.407	722043	942247	6256734	0	463035	584055	1620622	0
163	99.192	19.441	0.106	0.094	0.926	0.337	435613	0	1649868	0	369117	0	421848	0
164	99.223	19.437	0.729	0.450	0.617	0.323	78635	641262	0	0	20158	198098	0	0
165	99.216	19.430	0.904	0.539	0.458	0.349	4069666	471501	0	0	1029033	125931	0	0
166	99.209	19.432	0.734	0.454	0.410	0.245	1513845	2558034	2042655	0	389474	677154	598374	0

167	99.199	19.430	0.519	0.320	0.371	0.195	2156961	2586721	2777900	0	616896	805420	825777	0
168	99.191	19.431	0.078	0.069	0.712	0.281	362241	491258	2540214	0	356724	485144	643244	0
169	99.186	19.430	0.126	0.100	0.686	0.229	423149	93280	1628422	0	262881	88364	404000	0
170	99.202	19.411	0.115	0.138	0.953	0.411	0	0	0	0	0	0	0	0
171	99.188	19.409	0.091	0.078	0.783	0.247	512808	1363302	1425759	0	502477	1342747	378963	0
172	99.189	19.399	0.071	0.070	0.867	0.338	587267	383243	1136194	0	579537	378309	281490	0
173	99.182	19.400	0.105	0.088	0.693	0.222	589467	842276	1120984	0	499294	826441	279824	0
174	99.175	19.399	0.194	0.159	0.410	0.155	1098304	1636597	107325	0	438814	777846	31451	0
175	99.196	19.405	0.127	0.075	0.379	0.198	881123	487686	0	0	548379	480758	0	0
176	99.204	19.401	0.120	0.070	0.424	0.315	330194	105525	369347	7326	211432	104183	110407	2405
177	99.208	19.424	1.362	1.087	0.445	0.438	3365886	1623075	976340	0	764401	329742	299765	0
178	99.216	19.424	1.349	1.129	0.486	0.693	1306435	2232803	125685	0	295439	462992	34642	0
179	99.212	19.417	0.400	0.246	0.471	0.593	1199973	118703	53774	0	346449	40031	14557	0
180	99.226	19.420	0.740	0.455	0.586	0.242	1439234	1374779	42018	0	371989	364281	11757	0
181	99.222	19.418	0.495	0.289	0.645	0.279	1437796	2623231	0	0	400683	817605	0	0
182	99.216	19.413	0.361	0.225	0.451	0.399	649303	58598	25795	0	189880	21940	7978	0
183	99.232	19.408	0.346	0.212	0.186	0.156	1969984	1239762	0	0	641572	449100	0	0
184	99.226	19.408	0.393	0.266	0.318	0.160	1095717	2500863	0	0	336733	835229	0	0
185	99.219	19.407	0.162	0.098	0.498	0.168	448444	24311	30870	0	205427	23736	8631	0
186	99.239	19.405	0.149	0.087	0.390	0.187	1177240	0	0	0	594398	0	0	0
187	99.237	19.398	0.149	0.087	0.390	0.187	679715	332947	0	0	343193	326851	0	0
188	99.225	19.402	0.279	0.178	0.274	0.146	585806	55469	24887	0	200985	23223	8445	0
189	99.232	19.394	0.149	0.087	0.390	0.187	890746	107334	587862	0	449745	105369	179898	0
190	99.248	19.400	0.149	0.087	0.390	0.187	1973493	0	0	0	996432	0	0	0
191	99.243	19.390	0.149	0.087	0.390	0.187	2484762	249651	0	0	1254576	245080	0	0
192	99.259	19.390	0.149	0.087	0.390	0.187	1598639	828798	0	0	807166	813623	0	0
193	99.253	19.384	0.149	0.087	0.390	0.187	654535	157100	0	0	330480	154224	0	0
194	99.261	19.382	0.149	0.087	0.390	0.187	742114	205524	0	0	374699	201761	0	0
195	99.265	19.343	0.149	0.087	0.390	0.187	108668	0	0	0	54867	0	0	0
196	99.235	19.389	0.149	0.087	0.390	0.187	90557	0	0	0	45723	0	0	0
197	99.228	19.391	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
198	99.220	19.392	0.147	0.085	0.462	0.436	50777	0	0	12240	25474	0	0	3715
199	99.211	19.394	0.101	0.060	0.452	0.401	440710	147886	0	88640	417376	146448	0	25628
200	99.203	19.396	0.138	0.080	0.447	0.463	558623	3882	26688	124808	312144	3821	8214	33430
201	99.193	19.397	0.146	0.084	0.389	0.222	747900	752770	723445	0	373884	739659	221107	0
202	99.248	19.381	0.149	0.087	0.390	0.187	60962	14109	0	0	30780	13851	0	0
203	99.242	19.383	0.149	0.087	0.390	0.187	446111	54754	0	0	225245	53752	0	0
204	99.235	19.383	0.149	0.087	0.390	0.187	664083	81507	0	0	335301	80015	0	0
205	99.226	19.384	0.149	0.087	0.390	0.187	1159554	333977	0	0	585468	327862	0	0
206	99.217	19.385	0.149	0.087	0.390	0.187	1483867	445194	0	0	749216	437043	0	0
207	99.208	19.385	0.137	0.080	0.429	0.272	1475635	1005681	0	0	822625	989624	0	0
208	99.200	19.385	0.194	0.116	0.426	0.303	945197	6604	33160	126068	377579	4622	9936	40438
209	99.193	19.385	0.209	0.210	0.958	0.442	584359	10965	36055	0	231663	4355	9362	0

210	99.264	19.368	0.149	0.087	0.390	0.187	45683	54823	0	0	23066	53820	0	0
211	99.257	19.370	0.149	0.087	0.390	0.187	177418	38021	0	0	89580	37325	0	0
212	99.249	19.372	0.149	0.087	0.390	0.187	328997	25309	0	0	166113	24846	0	0
213	99.241	19.373	0.149	0.087	0.390	0.187	539784	231354	0	0	272541	227118	0	0
214	99.234	19.373	0.149	0.087	0.390	0.187	1626329	0	0	0	821146	0	0	0
215	99.226	19.373	0.149	0.087	0.390	0.187	2145673	0	0	0	1083368	0	0	0
216	99.216	19.374	0.149	0.087	0.390	0.187	1763635	0	0	0	890473	0	0	0
217	99.208	19.374	0.149	0.087	0.390	0.187	1447294	0	0	0	730750	0	0	0
218	99.200	19.375	0.263	0.157	0.367	0.126	1312459	0	0	0	460291	0	0	0
219	99.194	19.375	0.240	0.196	0.953	0.394	920410	0	0	0	340167	0	0	0
220	99.263	19.358	0.149	0.087	0.390	0.187	88986	0	0	0	44930	0	0	0
221	99.256	19.359	0.149	0.087	0.390	0.187	635861	36338	0	0	321051	35672	0	0
222	99.248	19.360	0.149	0.087	0.390	0.187	1218923	58774	0	0	615444	57698	0	0
223	99.241	19.361	0.149	0.087	0.390	0.187	1100645	53071	0	0	555724	52099	0	0
224	99.234	19.362	0.149	0.087	0.390	0.187	1640188	140598	0	0	828144	138024	0	0
225	99.225	19.363	0.149	0.087	0.390	0.187	895090	205155	0	0	451938	201398	0	0
226	99.216	19.364	0.149	0.087	0.390	0.187	615301	351628	451197	0	310671	345189	138076	0
227	99.208	19.365	0.149	0.087	0.390	0.187	384328	705963	0	0	194050	693037	0	0
228	99.201	19.365	0.149	0.087	0.390	0.187	973678	878574	0	0	491618	862488	0	0
229	99.194	19.366	0.183	0.100	0.438	0.279	1240355	251396	364857	0	527877	238140	111132	0
230	99.261	19.347	0.149	0.087	0.390	0.187	141934	0	0	0	71664	0	0	0
231	99.254	19.348	0.149	0.087	0.390	0.187	441696	0	0	0	223016	0	0	0
232	99.247	19.349	0.149	0.087	0.390	0.187	425802	0	0	0	214991	0	0	0
233	99.240	19.350	0.149	0.087	0.390	0.187	964430	0	0	0	486949	0	0	0
234	99.233	19.352	0.149	0.087	0.390	0.187	988364	0	0	0	499033	0	0	0
235	99.225	19.353	0.149	0.087	0.390	0.187	799328	37974	0	0	403587	37279	0	0
236	99.216	19.355	0.149	0.087	0.390	0.187	926359	27872	0	0	467726	27362	0	0
237	99.208	19.356	0.149	0.087	0.390	0.187	793913	0	0	0	400853	0	0	0
238	99.201	19.357	0.149	0.087	0.390	0.187	1510565	100859	190321	0	762696	99012	58242	0
239	99.194	19.359	0.145	0.082	0.438	0.210	555389	0	360124	0	277108	0	109653	0
240	99.263	19.333	0.149	0.087	0.390	0.187	625812	0	0	0	315977	0	0	0
241	99.255	19.337	0.149	0.087	0.390	0.187	1321296	106143	0	0	667133	104200	0	0
242	99.246	19.338	0.149	0.087	0.390	0.187	648992	0	0	0	327681	0	0	0
243	99.240	19.340	0.149	0.087	0.390	0.187	1042212	0	0	0	526221	0	0	0
244	99.232	19.342	0.149	0.087	0.390	0.187	1801897	139014	0	0	909792	136469	0	0
245	99.224	19.344	0.149	0.087	0.390	0.187	1788897	143087	0	0	903228	140467	0	0
246	99.216	19.346	0.149	0.087	0.390	0.187	1332684	30073	0	0	672883	29523	0	0
247	99.208	19.348	0.149	0.087	0.390	0.187	655563	0	0	0	330999	0	0	0
248	99.202	19.350	0.149	0.087	0.390	0.187	1246310	324366	0	0	629272	318427	0	0
249	99.191	19.357	0.144	0.082	0.428	0.183	664419	41208	43271	0	345148	40533	13005	0
250	99.261	19.323	0.149	0.087	0.390	0.187	2079036	0	0	0	1049722	0	0	0
251	99.252	19.329	0.149	0.087	0.390	0.187	550888	59269	0	0	278148	58184	0	0
252	99.245	19.330	0.149	0.087	0.390	0.187	728228	0	0	0	367688	0	0	0

253	99.239	19.329	0.149	0.087	0.390	0.187	510595	68362	0	0	257803	67111	0	0
254	99.232	19.332	0.149	0.087	0.390	0.187	545824	142975	0	0	275591	140357	0	0
255	99.224	19.336	0.149	0.087	0.390	0.187	539028	0	0	0	272160	0	0	0
256	99.216	19.337	0.149	0.087	0.390	0.187	249290	148915	0	0	125869	146189	0	0
257	99.209	19.339	0.149	0.087	0.390	0.187	280122	490047	0	0	141436	481075	0	0
258	99.204	19.340	0.149	0.087	0.390	0.187	921738	0	0	0	465393	0	0	0
259	99.195	19.348	0.149	0.087	0.390	0.187	914105	55213	56830	0	461539	54202	17391	0
260	99.198	19.341	0.149	0.087	0.390	0.187	711949	0	645415	122506	359469	0	197510	52669
261	99.201	19.335	0.149	0.087	0.390	0.187	316949	0	522938	0	160030	0	160030	0
262	99.206	19.330	0.149	0.087	0.390	0.187	1006762	61027	62814	0	508322	59909	19222	0
263	99.211	19.321	0.149	0.087	0.390	0.187	1121001	67952	69941	0	566002	66707	21403	0
264	99.216	19.313	0.149	0.087	0.390	0.187	794779	48177	49588	0	401290	47295	15175	0
265	99.206	19.310	0.149	0.087	0.390	0.187	1026310	62212	64033	0	518192	61073	19596	0
266	99.201	19.318	0.149	0.087	0.390	0.187	1296329	78579	80880	0	654527	77141	24751	0
267	99.197	19.328	0.149	0.087	0.390	0.187	825935	50066	51532	0	417021	49149	15770	0
268	99.192	19.338	0.149	0.087	0.390	0.187	455210	122637	655684	0	229839	120392	200653	0
269	99.187	19.344	0.078	0.084	0.949	0.390	571245	45265	56926	0	562630	44487	14720	0
270	99.183	19.350	0.049	0.047	0.939	0.356	644992	44007	1875101	0	640761	43747	482501	0
271	99.175	19.355	0.076	0.070	0.695	0.304	323861	145898	1153315	0	319126	144027	288193	0
272	99.186	19.358	0.046	0.044	0.950	0.422	348392	31271	143473	0	346477	31112	37123	0
273	99.179	19.361	0.044	0.042	0.945	0.391	309225	42876	258265	0	307677	42687	66647	0
274	99.262	19.298	0.149	0.087	0.390	0.187	321477	0	0	0	162316	0	0	0
275	99.256	19.315	0.149	0.087	0.390	0.187	1616925	90203	0	0	816399	88551	0	0
276	99.246	19.324	0.149	0.087	0.390	0.187	1144520	101407	0	0	577877	99550	0	0
277	99.239	19.320	0.149	0.087	0.390	0.187	2297557	187063	0	0	1160055	183638	0	0
278	99.229	19.327	0.149	0.087	0.390	0.187	608294	0	0	0	307133	0	0	0
279	99.218	19.331	0.149	0.087	0.390	0.187	428528	236146	505024	0	216367	231822	154548	0
280	99.211	19.333	0.149	0.087	0.390	0.187	408692	264958	566644	0	206352	260107	173405	0
281	99.216	19.325	0.149	0.087	0.390	0.187	1054139	0	353369	0	532243	0	108138	0
282	99.222	19.317	0.149	0.087	0.390	0.187	2589834	0	299860	0	1307628	0	91763	0
283	99.231	19.311	0.149	0.087	0.390	0.187	3539624	364103	0	0	1787184	357437	0	0
284	99.247	19.309	0.149	0.087	0.390	0.187	2949564	222137	0	0	1489258	218070	0	0
285	99.235	19.302	0.149	0.087	0.390	0.187	1718856	215750	0	0	867864	211800	0	0
286	99.253	19.295	0.149	0.087	0.390	0.187	799164	0	0	0	403504	0	0	0
287	99.241	19.293	0.149	0.087	0.390	0.187	1365764	164573	0	0	689585	161560	0	0
288	99.254	19.283	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
289	99.257	19.264	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
290	99.225	19.305	0.149	0.087	0.390	0.187	327460	0	0	0	165337	0	0	0
291	99.218	19.306	0.149	0.087	0.390	0.187	822377	0	725620	0	415225	0	222055	0
292	99.209	19.303	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	711037	834239	0	0	217592	358668
293	99.204	19.302	0.149	0.087	0.390	0.187	204061	0	471357	0	103032	0	144245	0
294	99.197	19.300	0.149	0.087	0.390	0.187	333685	0	696659	0	168480	0	213192	0
295	99.188	19.299	0.149	0.087	0.390	0.187	811104	0	0	0	409533	0	0	0

296	99.179	19.298	0.149	0.087	0.390	0.187	1029931	0	1019578	290288	520020	0	312012	124805
297	99.171	19.298	0.149	0.087	0.390	0.187	1249684	0	0	0	630975	0	0	0
298	99.164	19.299	0.149	0.087	0.390	0.187	789138	0	0	0	398442	0	0	0
299	99.159	19.295	0.149	0.087	0.390	0.187	1231963	0	0	0	622028	0	0	0
300	99.155	19.290	0.149	0.087	0.390	0.187	1167924	0	0	0	589694	0	0	0
301	99.148	19.297	0.078	0.084	0.949	0.390	935218	0	1335830	0	921115	0	345418	0
302	99.138	19.295	0.127	0.096	0.230	0.105	887236	0	0	0	551600	0	0	0
303	99.135	19.302	0.176	0.153	0.235	0.106	290178	205152	58023	0	126386	95613	21156	0
304	99.128	19.304	0.183	0.156	0.212	0.111	978558	44137	334094	62717	415627	20781	133347	45719
305	99.118	19.299	0.274	0.221	0.267	0.218	686564	0	940125	1868737	233187	0	314694	686606
306	99.110	19.296	0.325	0.252	0.398	0.193	530296	0	780053	1231562	166422	0	224592	490020
307	99.102	19.298	0.405	0.264	0.321	0.203	544514	900645	61866	0	158355	316710	19278	0
308	99.119	19.290	0.263	0.210	0.276	0.206	1907949	0	551757	0	668395	0	188108	0
309	99.128	19.299	0.209	0.178	0.203	0.122	1075177	50899	350086	46269	426124	21306	136715	29829
310	99.128	19.293	0.211	0.177	0.200	0.121	1176272	56121	388940	51056	468893	23445	150437	32823
311	99.129	19.286	0.168	0.136	0.223	0.123	989175	41405	396811	52317	460728	23036	147817	32251
312	99.138	19.285	0.078	0.084	0.949	0.390	295669	0	686443	0	291211	0	177500	0
313	99.143	19.290	0.078	0.084	0.949	0.390	537106	0	0	0	529006	0	0	0
314	99.151	19.285	0.149	0.087	0.390	0.187	637132	127956	255294	0	321693	125613	78125	0
315	99.146	19.282	0.078	0.084	0.949	0.390	310522	0	189243	0	305839	0	48934	0
316	99.230	19.299	0.149	0.087	0.390	0.187	1152173	0	0	0	581741	0	0	0
317	99.215	19.297	0.149	0.087	0.390	0.187	603577	0	0	0	304751	0	0	0
318	99.211	19.292	0.149	0.087	0.390	0.187	829566	0	0	0	418854	0	0	0
319	99.204	19.292	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
320	99.196	19.291	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
321	99.187	19.291	0.149	0.087	0.390	0.187	833698	0	0	0	420941	0	0	0
322	99.177	19.290	0.149	0.087	0.390	0.187	1307383	0	0	0	660108	0	0	0
323	99.165	19.289	0.149	0.087	0.390	0.187	1302668	0	0	0	657727	0	0	0
324	99.169	19.284	0.149	0.087	0.390	0.187	1265974	386131	0	0	639201	379061	0	0
325	99.162	19.283	0.149	0.087	0.390	0.187	303396	491539	262803	0	153187	482540	80423	0
326	99.157	19.281	0.149	0.087	0.390	0.187	652611	0	0	408755	329509	0	0	175738
327	99.237	19.290	0.149	0.087	0.390	0.187	2085529	0	0	0	1053000	0	0	0
328	99.227	19.290	0.149	0.087	0.390	0.187	1516017	0	0	0	765449	0	0	0
329	99.219	19.289	0.149	0.087	0.390	0.187	842906	0	0	0	425590	0	0	0
330	99.240	19.281	0.149	0.087	0.390	0.187	1611311	0	0	0	813564	0	0	0
331	99.234	19.281	0.149	0.087	0.390	0.187	1724275	0	0	0	870600	0	0	0
332	99.226	19.281	0.149	0.087	0.390	0.187	2479689	0	0	0	1252015	0	0	0
333	99.216	19.282	0.149	0.087	0.390	0.187	2081884	0	0	0	1051160	0	0	0
334	99.212	19.283	0.149	0.087	0.390	0.187	659425	0	0	0	332949	0	0	0
335	99.203	19.280	0.149	0.087	0.390	0.187	1657837	0	0	0	837055	0	0	0
336	99.193	19.281	0.149	0.087	0.390	0.187	1023292	0	0	0	516668	0	0	0
337	99.185	19.283	0.149	0.087	0.390	0.187	924973	0	0	0	467026	0	0	0
338	99.177	19.283	0.149	0.087	0.390	0.187	362689	155450	232713	0	183125	152604	71215	0

339	99.172	19.279	0.149	0.087	0.390	0.187	721914	44556	2001041	0	364500	43740	612360	0
340	99.167	19.275	0.149	0.087	0.390	0.187	444699	104195	0	0	224532	102287	0	0
341	99.157	19.275	0.149	0.087	0.390	0.187	638345	0	702143	0	322306	0	214870	0
342	99.147	19.275	0.149	0.087	0.390	0.187	227740	0	0	0	114988	0	0	0
343	99.240	19.261	0.149	0.087	0.390	0.187	157362	0	0	0	79453	0	0	0
344	99.238	19.270	0.149	0.087	0.390	0.187	387061	0	0	0	195430	0	0	0
345	99.232	19.271	0.149	0.087	0.390	0.187	83857	0	0	0	42340	0	0	0
346	99.226	19.270	0.149	0.087	0.390	0.187	778973	0	0	0	393310	0	0	0
347	99.216	19.272	0.149	0.087	0.390	0.187	1682417	0	0	0	849466	0	0	0
348	99.206	19.269	0.149	0.087	0.390	0.187	510595	0	0	0	257804	0	0	0
349	99.196	19.268	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
350	99.187	19.272	0.149	0.087	0.390	0.187	930362	0	0	0	469747	0	0	0
351	99.180	19.275	0.149	0.087	0.390	0.187	747095	0	0	0	377214	0	0	0
352	99.172	19.268	0.149	0.087	0.390	0.187	1361185	0	0	0	687273	0	0	0
353	99.166	19.267	0.149	0.087	0.390	0.187	1490415	0	0	0	752522	0	0	0
354	99.158	19.266	0.149	0.087	0.390	0.187	560590	0	0	0	283047	0	0	0
355	99.145	19.266	0.149	0.087	0.390	0.187	521780	0	0	0	263451	0	0	0
356	99.225	19.264	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
357	99.195	19.260	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
358	99.178	19.262	0.149	0.087	0.390	0.187	709631	0	0	0	358298	0	0	0
359	99.180	19.256	0.149	0.087	0.390	0.187	397399	0	0	0	200650	0	0	0
360	99.169	19.257	0.149	0.087	0.390	0.187	1255938	0	0	0	634133	0	0	0
361	99.153	19.257	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	1095769	0	0	0	471109
362	99.140	19.257	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	1136193	0	0	0	488489
363	99.138	19.281	0.078	0.084	0.949	0.390	253253	0	0	0	249435	0	0	0
364	99.130	19.281	0.078	0.084	0.949	0.390	326756	0	0	0	321828	0	0	0
365	99.124	19.282	0.147	0.120	0.224	0.136	686553	0	0	0	344282	0	0	0
366	99.118	19.283	0.244	0.195	0.272	0.204	0	0	0	0	0	0	0	0
367	99.106	19.286	0.325	0.230	0.297	0.195	0	0	0	0	0	0	0	0
368	99.102	19.283	0.348	0.241	0.311	0.260	0	0	0	0	0	0	0	0
369	99.114	19.276	0.218	0.164	0.366	0.199	180884	0	0	0	66475	0	0	0
370	99.121	19.275	0.123	0.096	0.219	0.154	436144	32998	0	0	281522	32263	0	0
371	99.128	19.275	0.078	0.084	0.949	0.390	339191	0	0	0	334076	0	0	0
372	99.137	19.275	0.078	0.084	0.949	0.390	432176	0	407617	0	425659	0	105401	0
373	99.134	19.267	0.078	0.084	0.949	0.390	556107	0	0	0	547721	0	0	0
374	99.126	19.267	0.078	0.084	0.949	0.390	595919	121052	490775	0	586933	118973	126904	0
375	99.118	19.268	0.078	0.084	0.949	0.390	630486	216628	548914	0	620978	212907	141938	0
376	99.110	19.268	0.159	0.127	0.280	0.127	1719740	314966	0	0	817129	196111	0	0
377	99.102	19.269	0.316	0.213	0.283	0.247	2352162	284255	0	0	773322	103110	0	0
378	99.131	19.257	0.149	0.087	0.390	0.187	818810	33499	0	0	413424	32886	0	0
379	99.122	19.258	0.078	0.084	0.949	0.390	158743	59656	0	0	156349	58631	0	0
380	99.113	19.258	0.078	0.084	0.949	0.390	810268	221454	0	0	798050	217650	0	0
381	99.105	19.259	0.134	0.108	0.265	0.114	2226178	267340	0	0	1229905	215233	0	0

382	99.094	19.259	0.229	0.166	0.260	0.209	3652540	317838	329468	0	1311549	147549	114761	0
383	99.094	19.312	0.218	0.171	0.303	0.264	0	0	0	0	0	0	0	0
384	99.095	19.302	0.309	0.249	0.341	0.194	0	0	0	0	0	0	0	0
385	99.088	19.303	0.213	0.171	0.353	0.160	0	0	0	0	0	0	0	0
386	99.095	19.288	0.386	0.264	0.323	0.267	0	0	0	0	0	0	0	0
387	99.082	19.292	0.349	0.246	0.354	0.253	0	0	0	0	0	0	0	0
388	99.089	19.273	0.254	0.158	0.306	0.273	0	0	0	0	0	0	0	0
389	99.070	19.283	0.366	0.243	0.383	0.253	0	0	0	0	0	0	0	0
390	99.077	19.261	0.260	0.173	0.278	0.238	248864	0	0	0	86629	0	0	0
391	99.060	19.272	0.091	0.073	0.443	0.231	0	0	0	0	0	0	0	0
392	99.042	19.262	0.082	0.093	0.460	0.261	0	0	0	0	0	0	0	0
393	99.063	19.257	0.074	0.065	0.339	0.148	55987	0	0	0	55194	0	0	0
394	99.055	19.256	0.071	0.069	0.309	0.164	266113	0	0	0	262595	0	0	0
395	99.046	19.255	0.454	0.295	0.938	0.354	503570	0	0	0	133222	0	0	0
396	99.037	19.256	0.081	0.085	0.605	0.311	70968	0	0	0	69809	0	0	0
397	99.028	19.257	0.088	0.079	0.398	0.204	39056	0	0	0	38320	0	0	0
398	99.063	19.289	0.072	0.070	0.361	0.180	155470	0	0	0	153362	0	0	0
399	99.058	19.294	0.076	0.075	0.448	0.206	217594	0	0	0	214410	0	0	0
400	99.057	19.302	0.072	0.070	0.643	0.237	530001	0	0	0	522911	0	0	0
401	99.050	19.306	0.130	0.147	0.962	0.474	127837	0	0	0	73133	0	0	0
402	99.047	19.312	0.273	0.393	0.964	0.518	61299	0	0	0	20785	0	0	0
403	99.040	19.313	0.374	0.444	0.959	0.482	806178	0	0	0	240641	0	0	0
404	99.033	19.314	0.595	0.440	0.962	0.495	208638	0	0	0	58849	0	0	0
405	99.027	19.315	0.398	0.300	0.962	0.489	0	0	0	0	0	0	0	0
406	99.057	19.285	0.096	0.105	0.416	0.291	359642	0	0	0	351553	0	0	0
407	99.051	19.292	0.073	0.075	0.450	0.229	237231	0	0	0	233941	0	0	0
408	99.044	19.298	0.104	0.106	0.502	0.260	565453	0	0	0	478645	0	0	0
409	99.042	19.305	0.100	0.112	0.964	0.510	0	0	0	0	0	0	0	0
410	99.035	19.302	0.068	0.074	0.957	0.446	285967	0	0	0	282503	0	0	0
411	99.027	19.304	0.102	0.106	0.957	0.431	95819	0	2542988	0	90739	0	659922	0
412	99.047	19.281	0.051	0.054	0.607	0.316	0	0	0	0	0	0	0	0
413	99.043	19.289	0.123	0.138	0.525	0.357	733287	0	0	0	452201	0	0	0
414	99.039	19.295	0.090	0.095	0.585	0.242	132625	0	0	0	130015	0	0	0
415	99.032	19.274	0.124	0.099	0.520	0.256	0	0	0	0	0	0	0	0
416	99.031	19.285	0.071	0.066	0.517	0.275	101235	0	0	0	99906	0	0	0
417	99.030	19.295	0.101	0.099	0.436	0.224	408900	0	0	0	387264	0	0	0
418	99.068	19.293	0.076	0.069	0.337	0.190	51862	0	0	0	51105	0	0	0
419	99.074	19.299	0.070	0.065	0.343	0.156	615866	0	0	0	608051	0	0	0
420	99.062	19.302	0.074	0.071	0.512	0.212	820927	0	0	0	809335	0	0	0
421	99.081	19.307	0.062	0.060	0.398	0.166	649779	0	0	0	643064	0	0	0
422	99.069	19.308	0.063	0.065	0.803	0.312	714536	0	0	0	706765	0	0	0
423	99.059	19.313	0.097	0.109	0.955	0.419	76899	0	0	0	75143	0	0	0
424	99.054	19.309	0.083	0.093	0.957	0.434	32123	0	0	0	31577	0	0	0

425	99.087	19.314	0.058	0.056	0.441	0.157	62993	0	78519	70510	62412	0	24005	33340
426	99.074	19.314	0.065	0.066	0.903	0.344	480300	0	0	0	474841	0	0	0
427	99.067	19.314	0.074	0.080	0.923	0.378	375268	0	0	0	369967	0	0	0
428	99.058	19.318	0.222	0.368	0.963	0.475	1827831	0	0	0	679719	0	0	0
429	99.048	19.318	0.194	0.208	0.964	0.484	605897	0	0	0	241678	0	0	0
430	99.039	19.321	0.180	0.231	0.962	0.471	214395	0	0	0	90312	0	0	0
431	99.033	19.323	0.134	0.183	0.962	0.477	0	0	0	0	0	0	0	0
432	99.027	19.324	0.190	0.231	0.961	0.460	0	0	0	0	0	0	0	0
433	99.092	19.320	0.077	0.075	0.811	0.228	173469	0	963462	1403521	170901	0	230637	503208
434	99.081	19.319	0.066	0.067	0.891	0.338	148422	106175	0	246277	146715	104894	0	79185
435	99.068	19.322	0.139	0.147	0.955	0.415	369494	269720	0	345678	189010	135133	0	102013
436	99.058	19.327	0.120	0.122	0.958	0.433	776465	0	0	0	498247	0	0	0
437	99.100	19.327	0.111	0.120	0.954	0.411	425895	58110	0	0	310320	37238	0	0
438	99.093	19.328	0.120	0.134	0.955	0.419	554658	262923	0	0	355312	145144	0	0
439	99.080	19.325	0.168	0.097	0.397	0.199	587994	183372	0	334145	250580	179153	0	135243
440	99.068	19.329	0.307	0.186	0.466	0.561	515958	278315	0	329568	166823	119270	0	90037
441	99.058	19.334	0.119	0.146	0.956	0.430	844497	0	0	0	539946	0	0	0
442	99.049	19.329	0.100	0.100	0.956	0.418	1188892	0	0	0	1126154	0	0	0
443	99.039	19.331	0.215	0.351	0.959	0.446	1337365	0	0	0	488267	0	0	0
444	99.033	19.332	0.072	0.074	0.819	0.334	83165	0	0	0	82043	0	0	0
445	99.027	19.334	0.070	0.073	0.917	0.333	312787	0	0	0	308784	0	0	0
446	99.106	19.335	0.087	0.096	0.950	0.397	804024	135906	0	0	789219	132846	0	0
447	99.094	19.336	0.265	0.155	0.452	0.372	969616	0	0	0	341003	0	0	0
448	99.085	19.338	0.314	0.175	0.465	0.331	0	0	0	0	0	0	0	0
449	99.083	19.333	0.279	0.158	0.450	0.308	796091	412844	0	455276	273323	195413	0	147518
450	99.078	19.338	0.222	0.125	0.659	0.352	489866	209959	0	298644	181938	130077	0	98195
451	99.068	19.336	0.103	0.104	0.956	0.426	200963	160754	395820	0	190258	136026	102686	0
452	99.112	19.345	0.077	0.074	0.824	0.274	639438	75490	0	0	629969	74422	0	0
453	99.103	19.344	0.099	0.112	0.954	0.413	385821	57655	0	0	376654	42078	0	0
454	99.092	19.343	0.143	0.161	0.959	0.452	181005	20584	0	0	93732	9399	0	0
455	99.085	19.344	0.122	0.128	0.959	0.453	0	0	0	0	0	0	0	0
456	99.070	19.345	0.093	0.091	1.006	0.462	775422	37850	70623	0	759208	37086	18730	0
457	99.058	19.342	0.107	0.094	0.332	0.214	700043	0	0	0	562691	0	0	0
458	99.048	19.341	0.132	0.106	0.432	0.350	1222035	0	0	0	702591	0	0	0
459	99.040	19.341	0.144	0.113	0.483	0.390	816548	0	0	0	424740	0	0	0
460	99.033	19.341	0.094	0.091	0.443	0.191	383510	0	0	0	375270	0	0	0
461	99.027	19.342	0.074	0.076	0.861	0.315	304396	0	0	0	300105	0	0	0
462	99.117	19.355	0.244	0.203	0.181	0.177	395295	41152	0	0	147394	16040	0	0
463	99.109	19.353	0.108	0.098	0.610	0.175	890129	47028	38827	0	716448	45915	11091	0
464	99.103	19.352	0.068	0.071	0.910	0.318	92682	10592	0	0	91539	10454	0	0
465	99.092	19.354	0.076	0.080	0.913	0.348	544746	29063	34763	0	536803	28606	8829	0
466	99.083	19.352	0.090	0.100	0.953	0.403	232759	10383	24142	0	228116	10130	6253	0
467	99.077	19.349	0.104	0.112	0.955	0.415	193965	91046	318702	0	164182	66531	82628	0

468	99.134	19.361	0.334	0.253	0.223	0.256	2800641	2110781	171059	0	893228	723090	63802	0
469	99.126	19.363	0.407	0.343	0.278	0.413	1843233	193511	0	0	538176	62688	0	0
470	99.116	19.360	0.369	0.312	0.256	0.369	2997536	216435	34459	0	888397	70612	11888	0
471	99.115	19.367	0.302	0.238	0.495	0.464	3713373	256849	57100	0	1189129	94515	15912	0
472	99.106	19.365	0.223	0.169	0.600	0.392	1842585	216528	0	0	686660	92476	0	0
473	99.097	19.362	0.202	0.172	0.480	0.369	2172056	95802	76189	0	845097	41282	20849	0
474	99.088	19.363	0.146	0.141	0.553	0.490	697914	33022	31737	0	348676	17032	8602	0
475	99.082	19.361	0.192	0.191	0.460	0.307	589512	67354	0	0	233740	26693	0	0
476	99.076	19.358	0.097	0.097	0.617	0.255	204948	21369	0	0	200238	20878	0	0
477	99.068	19.355	0.105	0.103	0.619	0.232	818030	35737	59376	0	692625	33834	17088	0
478	99.058	19.351	0.380	0.272	0.810	0.374	2446468	0	0	0	737622	0	0	0
479	99.050	19.350	0.503	0.343	0.916	0.316	1504084	0	0	0	422704	0	0	0
480	99.041	19.349	0.591	0.449	0.959	0.363	3053141	0	0	0	858178	0	0	0
481	99.030	19.349	0.094	0.086	0.293	0.196	1457974	0	0	0	1426801	0	0	0
482	99.133	19.372	0.288	0.231	0.360	0.443	835012	140828	0	0	292145	50868	0	0
483	99.125	19.371	0.397	0.297	0.502	0.412	1864915	795746	0	0	576428	252036	0	0
484	99.116	19.372	0.316	0.249	0.680	0.287	1394626	558272	206498	0	458861	189371	50985	0
485	99.116	19.377	0.390	0.307	0.659	0.228	1185324	576067	426341	0	363008	186158	103421	0
486	99.106	19.374	0.266	0.209	0.572	0.208	1969361	815224	0	0	657720	323222	0	0
487	99.100	19.374	0.376	0.269	0.390	0.218	356908	14147	7186	0	107006	4752	2200	0
488	99.089	19.374	0.268	0.257	0.725	0.406	0	0	0	0	0	0	0	0
489	99.081	19.370	0.121	0.184	1.260	0.515	0	0	0	0	0	0	0	0
490	99.074	19.367	0.149	0.202	0.920	0.636	497078	28663	20234	0	250889	11141	5158	0
491	99.066	19.365	0.226	0.240	0.919	0.535	1855440	92113	67519	0	697353	34065	17204	0
492	99.057	19.362	0.423	0.321	0.900	0.350	2433085	0	0	0	726347	0	0	0
493	99.049	19.362	0.496	0.348	0.831	0.321	992154	0	0	0	276777	0	0	0
494	99.044	19.356	0.551	0.382	0.858	0.316	296988	0	0	0	80321	0	0	0
495	99.037	19.360	0.144	0.113	0.478	0.384	1158698	0	0	0	601395	0	0	0
496	99.029	19.359	0.060	0.057	0.688	0.261	734345	0	0	0	727057	0	0	0
497	99.088	19.385	0.320	0.250	0.431	0.346	1009323	44754	15572	0	313986	15211	4695	0
498	99.082	19.378	0.277	0.263	0.718	0.431	0	0	0	0	0	0	0	0
499	99.081	19.388	0.350	0.268	0.417	0.323	1206523	59923	31429	0	396031	20099	9305	0
500	99.074	19.376	0.252	0.248	0.832	0.440	1756598	86622	61097	0	600827	29350	14823	0
501	99.071	19.383	0.364	0.298	0.527	0.405	1168994	54866	27958	0	343357	17426	8068	0
502	99.064	19.377	0.388	0.324	0.673	0.431	3368775	0	0	0	1027624	0	0	0
503	99.055	19.375	0.433	0.372	0.773	0.442	288572	56559	0	0	87295	16846	0	0
504	99.045	19.372	0.202	0.169	0.775	0.341	346876	0	0	0	134992	0	0	0
505	99.036	19.370	0.087	0.089	0.822	0.285	57582	0	0	0	56510	0	0	0
506	99.028	19.367	0.091	0.098	0.953	0.404	381626	0	0	0	373977	0	0	0
507	99.054	19.385	0.492	0.396	0.604	0.412	1909024	0	0	0	529748	0	0	0
508	99.045	19.381	0.371	0.300	0.791	0.344	109200	17683	0	0	32479	5641	0	0
509	99.036	19.378	0.079	0.082	0.902	0.331	236551	48831	0	0	232844	48024	0	0
510	99.028	19.375	0.082	0.089	0.950	0.395	503810	0	0	0	495487	0	0	0

511	99.054	19.395	0.979	0.720	0.661	0.366	3310619	692157	0	0	867827	176290	0	0
512	99.044	19.390	0.336	0.228	0.600	0.289	2081869	374097	0	0	666370	134189	0	0
513	99.035	19.387	0.111	0.096	0.391	0.270	779915	117565	0	0	568911	114896	0	0
514	99.027	19.384	0.064	0.065	0.769	0.241	383385	78083	0	0	379140	77188	0	0
515	99.132	19.379	0.486	0.344	0.527	0.304	735233	258298	78283	0	202625	83903	22589	0
516	99.126	19.378	0.279	0.173	0.598	0.217	699084	229315	94326	0	240045	99066	26672	0
517	99.131	19.385	0.275	0.178	0.527	0.221	784604	263098	102800	0	266989	110186	29665	0
518	99.126	19.385	0.245	0.196	0.564	0.202	1157636	510574	489530	0	389503	205209	134175	0
519	99.116	19.385	0.284	0.228	0.527	0.234	3542207	1636282	321215	0	1227443	587348	92664	0
520	99.106	19.384	0.353	0.222	0.465	0.247	1761575	42765	1698620	0	580137	15894	456295	0
521	99.097	19.382	0.402	0.282	0.432	0.316	1153661	232553	0	0	334034	80272	0	0
522	99.131	19.393	0.208	0.135	0.529	0.180	331983	98353	49520	0	131393	54453	13090	0
523	99.126	19.394	0.181	0.137	0.583	0.206	994074	318451	160592	0	420079	177700	44808	0
524	99.117	19.394	0.344	0.277	0.506	0.267	2145424	938206	202453	0	696294	320686	57132	0
525	99.108	19.393	0.473	0.357	0.534	0.492	5419763	300876	79455	0	1470790	87403	21112	0
526	99.095	19.391	0.357	0.264	0.454	0.379	2436248	109151	65841	0	706806	38363	17438	0
527	99.133	19.399	0.197	0.147	0.604	0.211	774189	256974	113248	0	311895	128719	32180	0
528	99.127	19.401	0.287	0.227	0.587	0.214	667713	259744	85792	0	232795	97845	24019	0
529	99.120	19.402	0.333	0.258	0.502	0.255	2165626	873684	202788	0	689763	303003	56933	0
530	99.105	19.403	0.407	0.277	0.617	0.508	1003179	517148	0	0	292902	176911	0	0
531	99.092	19.397	0.373	0.264	0.471	0.351	531581	272677	0	0	158542	95758	0	0
532	99.101	19.406	0.377	0.250	0.641	0.448	0	0	0	0	0	0	0	0
533	99.090	19.402	0.367	0.254	0.501	0.335	355633	29009	0	0	105046	9952	0	0
534	99.085	19.394	0.384	0.279	0.417	0.296	853282	47249	15239	0	258787	16236	4510	0
535	99.078	19.395	0.405	0.294	0.425	0.272	1879633	235416	367213	0	547087	74183	109901	0
536	99.069	19.391	0.650	0.449	0.593	0.400	2543651	282013	321870	0	612251	87004	90629	0
537	99.062	19.388	0.544	0.423	0.626	0.351	2054744	0	0	0	551707	0	0	0
538	99.077	19.404	0.520	0.357	0.479	0.279	780425	100262	53785	0	223537	29119	14706	0
539	99.068	19.400	0.655	0.467	0.548	0.308	2164399	94985	47882	0	523212	25558	12908	0
540	99.060	19.398	1.107	0.821	0.699	0.382	2598389	450919	0	0	533196	108631	0	0
541	99.072	19.411	0.516	0.394	0.464	0.244	448590	236969	0	0	127893	72955	0	0
542	99.067	19.409	0.521	0.410	0.465	0.243	861752	0	523046	0	247199	0	140454	0
543	99.060	19.407	0.733	0.579	0.529	0.283	1682985	317218	0	0	432854	88188	0	0
544	99.068	19.416	0.529	0.411	0.438	0.235	2524497	0	0	0	667109	0	0	0
545	99.060	19.418	0.516	0.408	0.393	0.231	2578351	0	0	0	735376	0	0	0
546	99.125	19.409	0.332	0.258	0.557	0.239	920829	480300	0	0	292718	166387	0	0
547	99.118	19.409	0.297	0.203	0.466	0.260	2049016	739714	214455	0	649102	288661	57698	0
548	99.109	19.410	0.377	0.271	0.504	0.372	1018010	24936	0	762068	305413	8406	0	226958
549	99.103	19.413	0.449	0.306	0.541	0.394	2067337	208400	27902	0	638253	67185	7465	0
550	99.094	19.414	0.381	0.261	0.539	0.358	4099600	214623	60970	0	1238093	74937	16291	0
551	99.083	19.409	0.471	0.320	0.464	0.256	1506540	64694	37507	0	407773	20120	10060	0
552	99.079	19.416	0.326	0.250	0.423	0.219	1836851	83937	53118	0	577974	28518	15844	0
553	99.072	19.423	0.336	0.261	0.391	0.227	1470737	66612	37886	0	470812	23231	11615	0

554	99.064	19.425	0.398	0.317	0.378	0.234	2987442	0	0	0	860349	0	0	0
555	99.059	19.427	0.544	0.444	0.387	0.244	2921512	0	0	0	784082	0	0	0
556	99.125	19.418	0.493	0.393	0.618	0.341	1590895	609831	166873	0	442383	187379	47987	0
557	99.117	19.417	0.442	0.298	0.486	0.292	1313439	539492	150885	0	402100	171226	41605	0
558	99.110	19.416	0.532	0.377	0.432	0.330	1177078	439488	110102	0	311895	131937	33269	0
559	99.124	19.426	0.392	0.274	0.520	0.252	393032	202541	0	0	120709	68857	0	0
560	99.116	19.426	0.456	0.307	0.475	0.255	589062	279727	0	0	156447	90357	0	0
561	99.109	19.422	0.379	0.262	0.419	0.315	1303574	55305	1087423	0	392408	19362	322704	0
562	99.101	19.420	0.545	0.394	0.443	0.344	1080254	46510	779552	0	290365	14327	238787	0
563	99.122	19.435	0.485	0.403	0.681	0.391	485679	262891	0	0	133772	76308	0	0
564	99.117	19.434	0.484	0.355	0.562	0.264	349155	189325	0	0	96018	54772	0	0
565	99.112	19.433	0.466	0.322	0.452	0.237	140549	154152	0	0	37776	48140	0	0
566	99.106	19.429	0.468	0.349	0.393	0.323	2517277	318560	153671	0	678637	104320	47223	0
567	99.099	19.424	0.595	0.453	0.441	0.357	1938923	523012	0	0	546868	162200	0	0
568	99.090	19.420	0.407	0.304	0.457	0.293	2226215	359453	0	0	650074	115474	0	0
569	99.123	19.445	0.332	0.261	0.535	0.306	692179	1279594	0	0	220021	446153	0	0
570	99.116	19.443	0.375	0.295	0.570	0.282	1491813	0	0	0	446044	0	0	0
571	99.109	19.441	0.423	0.301	0.462	0.219	1634790	75349	44990	0	487752	24067	12033	0
572	99.102	19.440	0.488	0.406	0.338	0.212	2790406	130592	59161	0	771027	38044	19022	0
573	99.100	19.434	0.470	0.379	0.366	0.342	1588444	70369	35905	0	429048	21170	10585	0
574	99.094	19.431	0.446	0.352	0.357	0.317	1229372	1034469	0	0	377831	340545	0	0
575	99.123	19.455	0.263	0.202	0.458	0.239	324611	1132805	0	0	113692	440872	0	0
576	99.115	19.451	0.208	0.152	0.510	0.252	1178953	983498	0	0	466661	457345	0	0
577	99.106	19.448	0.328	0.237	0.485	0.228	1060564	572518	0	0	334887	209855	0	0
578	99.095	19.448	0.116	0.086	0.304	0.189	789535	432990	42423	0	552365	425176	13627	0
579	99.090	19.439	0.094	0.074	0.347	0.197	674218	118818	0	0	659528	117153	0	0
580	99.084	19.440	0.065	0.064	0.942	0.364	600965	29644	568727	0	594127	29315	146577	0
581	99.081	19.448	0.084	0.073	0.935	0.337	0	0	0	0	0	0	0	0
582	99.075	19.445	0.145	0.111	0.361	0.178	0	0	0	0	0	0	0	0
583	99.070	19.435	0.335	0.243	0.477	0.201	0	0	0	0	0	0	0	0
584	99.056	19.436	0.560	0.459	0.387	0.251	0	0	0	0	0	0	0	0
585	99.159	19.460	0.171	0.136	0.254	0.168	692452	0	0	0	297665	0	0	0
586	99.151	19.460	0.192	0.162	0.301	0.197	1615584	0	0	0	641571	0	0	0
587	99.144	19.458	0.268	0.227	0.349	0.232	2219614	1595623	0	0	744008	600930	0	0
588	99.135	19.459	0.387	0.291	0.388	0.279	3294830	0	0	0	1003662	0	0	0
589	99.127	19.457	0.267	0.208	0.426	0.259	1187487	0	0	0	397353	0	0	0
590	99.163	19.452	0.099	0.086	0.249	0.159	455329	49861	0	0	444507	48953	0	0
591	99.156	19.451	0.177	0.145	0.292	0.197	1011750	89467	0	0	423088	46594	0	0
592	99.150	19.451	0.228	0.185	0.329	0.223	131951	183087	609038	0	47289	78280	192689	0
593	99.143	19.451	0.339	0.255	0.380	0.262	195831	346052	419306	36115	63061	119167	126438	12644
594	99.138	19.449	0.378	0.280	0.451	0.310	104828	146673	401624	38193	31479	50481	124261	12426
595	99.131	19.449	0.251	0.180	0.523	0.341	327612	537275	0	0	111676	226454	0	0
596	99.164	19.444	0.083	0.074	0.247	0.159	103673	151964	959918	5452	101931	149850	324325	2592

597	99.159	19.443	0.112	0.093	0.267	0.190	189618	207841	1317885	8921	138422	203496	440432	3520
598	99.152	19.442	0.161	0.119	0.296	0.203	352643	1125990	1225565	0	160847	720593	387819	0
599	99.144	19.444	0.162	0.121	0.376	0.255	323587	1034945	1186657	0	148055	664979	355333	0
600	99.132	19.444	0.252	0.184	0.536	0.359	482320	783019	0	0	164658	333890	0	0
601	99.166	19.438	0.086	0.078	0.257	0.141	155681	228216	1407294	15113	152896	224775	486486	7776
602	99.162	19.436	0.093	0.080	0.244	0.168	184968	270439	1546433	21638	181028	266134	576000	9207
603	99.156	19.434	0.120	0.092	0.354	0.245	65348	498724	1082618	301392	41918	488457	312624	101273
604	99.145	19.437	0.109	0.081	0.353	0.221	14949	135001	594802	278284	12046	132835	171547	103094
605	99.136	19.437	0.186	0.146	0.521	0.351	186076	334295	368136	26002	79879	167020	105509	8543
606	99.130	19.436	0.375	0.272	0.631	0.437	873871	493936	363062	28112	261423	167020	105509	8543
607	99.134	19.432	0.223	0.166	0.499	0.314	0	0	0	0	0	0	0	0
608	99.175	19.424	0.089	0.072	0.227	0.159	0	75619	468145	0	0	74606	176379	0
609	99.172	19.427	0.096	0.080	0.240	0.169	0	166074	1042020	0	0	163439	384562	0
610	99.169	19.431	0.090	0.078	0.244	0.163	107017	172265	984228	12767	104896	169630	367135	5868
611	99.164	19.430	0.113	0.089	0.286	0.219	149930	164414	1002265	15118	109677	161238	348972	5578
612	99.175	19.421	0.092	0.076	0.232	0.169	0	84971	544346	0	0	83735	197374	0
613	99.170	19.423	0.131	0.100	0.285	0.178	0	123067	813093	0	0	120064	282503	0
614	99.165	19.425	0.153	0.115	0.351	0.201	64454	316487	66711	0	30091	221113	21902	0
615	99.158	19.428	0.275	0.198	0.449	0.234	164866	1658851	1424224	408335	56138	669688	439607	148599
616	99.148	19.430	0.162	0.123	0.477	0.261	113331	895433	2734017	1304550	51970	577642	745764	455254
617	99.138	19.430	0.202	0.154	0.528	0.313	186245	323638	331089	23653	72366	151311	95585	7740
618	99.132	19.427	0.264	0.176	0.429	0.237	173554	291903	267546	17788	60927	127393	80476	6516
619	99.174	19.416	0.105	0.087	0.234	0.175	0	320984	2037818	0	0	315089	742709	0
620	99.168	19.419	0.142	0.114	0.323	0.170	71133	386967	76910	0	36745	270013	24072	0
621	99.159	19.419	0.167	0.125	0.462	0.180	204975	1129659	233229	0	95248	699907	62396	0
622	99.151	19.419	0.130	0.100	0.591	0.258	99051	664849	2892261	1433212	56661	629788	813087	496352
623	99.139	19.419	0.420	0.274	0.585	0.261	317608	1794998	1064421	938265	94401	609120	297362	327334
624	99.133	19.420	0.476	0.316	0.574	0.285	264653	1415807	820691	719574	72109	465285	227144	250039
625	99.177	19.412	0.119	0.099	0.232	0.129	391409	126310	360840	4988	250165	123268	130632	2846
626	99.170	19.412	0.135	0.111	0.236	0.182	581864	183784	242873	7013	322642	133903	88758	2976
627	99.161	19.411	0.316	0.237	0.340	0.278	2524894	747465	727139	22951	829577	274391	234614	7865
628	99.150	19.410	0.249	0.190	0.525	0.219	1596038	614218	503614	19349	541327	242495	144925	7144
629	99.141	19.410	0.382	0.314	0.455	0.239	1665195	1381298	64588	0	503428	452057	17123	0
630	99.132	19.411	0.385	0.292	0.573	0.253	1317866	1099954	113823	0	400508	344648	31464	0
631	99.178	19.407	0.167	0.144	0.345	0.147	1091821	481869	832494	11535	507250	250802	270997	5791
632	99.170	19.403	0.171	0.160	0.236	0.132	806629	318598	268694	5535	346311	145202	98257	3184
633	99.164	19.404	0.247	0.194	0.232	0.189	2274757	806952	602120	17921	768102	322052	217930	7063
634	99.151	19.405	0.247	0.194	0.553	0.254	761295	183710	67704	0	256783	73367	18342	0
635	99.141	19.405	0.372	0.304	0.478	0.226	1626442	626853	0	0	484241	201243	0	0
636	99.131	19.405	0.306	0.243	0.599	0.224	1785935	304021	0	0	575618	113053	0	0
637	99.185	19.393	0.073	0.075	0.942	0.368	396679	86640	210846	0	391257	85393	54341	0
638	99.179	19.393	0.090	0.077	0.788	0.256	144653	51990	920734	0	141785	51218	245470	0
639	99.173	19.396	0.174	0.143	0.381	0.144	529795	260376	878688	0	229485	134991	265257	0

640	99.166	19.396	0.187	0.177	0.232	0.139	1337821	502244	410815	9409	523909	219666	148646	4817
641	99.161	19.399	0.198	0.149	0.236	0.225	1301490	1268131	0	0	524874	638977	0	0
642	99.151	19.398	0.220	0.182	0.458	0.393	841870	5412745	0	0	310950	2297035	0	0
643	99.141	19.401	0.227	0.168	0.615	0.251	703322	1730958	134914	0	264654	737083	38692	0
644	99.186	19.386	0.106	0.102	0.952	0.409	104412	1201660	813692	0	88493	1137763	210697	0
645	99.179	19.388	0.070	0.066	0.906	0.326	383243	300386	617125	0	378276	296925	156220	0
646	99.173	19.389	0.159	0.126	0.562	0.183	437150	120790	1314587	0	207582	74985	359381	0
647	99.169	19.387	0.171	0.145	0.429	0.160	851430	253581	2103674	0	365431	132006	632662	0
648	99.163	19.385	0.193	0.184	0.271	0.142	587733	198482	1201896	0	234148	84582	405375	0
649	99.158	19.391	0.227	0.204	0.262	0.220	2450111	2358229	0	0	877415	921908	0	0
650	99.148	19.393	0.197	0.166	0.456	0.420	86274	0	0	415588	34759	0	0	123587
651	99.152	19.387	0.273	0.242	0.274	0.275	1578386	1847908	162648	0	535203	686419	55219	0
652	99.142	19.394	0.178	0.144	0.556	0.365	1184451	394673	203011	0	496420	204872	55158	0
653	99.144	19.383	0.327	0.271	0.266	0.286	2171611	831265	210161	0	684531	280402	70101	0
654	99.134	19.394	0.185	0.126	0.540	0.193	978556	277633	161276	0	418038	172524	43131	0
655	99.136	19.383	0.351	0.232	0.440	0.321	1863576	693801	220348	0	612088	251113	67262	0
656	99.187	19.381	0.140	0.135	0.956	0.430	373557	1058566	0	0	191974	586027	0	0
657	99.178	19.381	0.077	0.074	0.944	0.372	677615	108299	600347	77976	667440	106790	154846	23227
658	99.172	19.377	0.076	0.070	0.886	0.297	742448	581679	1206701	0	731640	574295	302152	0
659	99.164	19.376	0.215	0.179	0.396	0.150	1811160	1691313	228246	0	660940	709723	70500	0
660	99.154	19.382	0.312	0.288	0.249	0.219	1258692	488529	124010	0	410552	170901	42078	0
661	99.158	19.370	0.206	0.196	0.279	0.136	1103504	445871	131284	0	434215	178909	45113	0
662	99.154	19.375	0.253	0.245	0.232	0.187	1915415	802219	189203	0	655695	269918	68623	0
663	99.144	19.374	0.361	0.318	0.229	0.227	3171659	1247287	263692	0	927738	386794	94803	0
664	99.139	19.372	0.328	0.236	0.263	0.315	1677023	600490	153650	0	529227	219703	53849	0
665	99.189	19.374	0.179	0.197	0.954	0.421	558773	66600	150230	6545	234965	26853	38937	1947
666	99.184	19.364	0.060	0.058	0.951	0.415	692897	96415	576193	0	686131	95519	149132	0
667	99.183	19.371	0.099	0.101	0.949	0.400	259640	36399	212644	8650	253381	34474	54985	2499
668	99.176	19.369	0.079	0.079	0.942	0.370	111390	240043	834234	275964	109653	236353	215006	81907
669	99.175	19.364	0.052	0.050	0.942	0.372	190282	38023	228851	0	188876	37765	58963	0
670	99.168	19.368	0.079	0.071	0.864	0.275	66338	147059	1097973	273798	65317	145121	271616	93125
671	99.164	19.361	0.170	0.131	0.579	0.197	464871	308540	461228	15926	198988	176878	128237	6412
672	99.160	19.366	0.245	0.213	0.397	0.161	613392	920392	303710	0	206235	333683	87360	0
673	99.153	19.365	0.201	0.194	0.266	0.147	1438726	607940	110233	0	558990	242399	36813	0
674	99.154	19.359	0.231	0.220	0.328	0.156	273434	33550	66813	0	98880	12408	21085	0
675	99.146	19.365	0.274	0.264	0.210	0.142	1935051	1649281	127858	0	657538	579259	50881	0
676	99.147	19.359	0.231	0.221	0.260	0.157	858620	568665	62000	0	310045	211010	21565	0
677	99.140	19.364	0.372	0.347	0.231	0.211	1451825	551602	77232	0	432407	180170	27883	0
678	99.141	19.358	0.299	0.286	0.233	0.183	499333	278890	0	0	158873	97200	0	0
679	99.171	19.354	0.074	0.063	0.705	0.217	0	0	0	0	0	0	0	0
680	99.167	19.355	0.113	0.090	0.625	0.207	641114	299288	35254	0	468882	293427	10194	0
681	99.160	19.354	0.224	0.182	0.433	0.172	521317	54053	24330	0	194631	22939	7360	0
682	99.155	19.354	0.273	0.265	0.332	0.148	1104289	413502	33716	0	374578	145424	10719	0

683	99.147	19.354	0.233	0.224	0.262	0.153	1129634	399661	155134	0	410236	149314	54296	0
684	99.143	19.351	0.228	0.218	0.238	0.170	554675	146253	0	0	198881	53751	0	0
685	99.141	19.352	0.244	0.230	0.239	0.202	0	36242	0	0	0	13049	0	0
686	99.132	19.353	0.251	0.206	0.259	0.286	1025131	103642	0	0	349571	40719	0	0
687	99.127	19.354	0.220	0.177	0.252	0.313	956549	352209	106210	0	353837	147293	36265	0
688	99.122	19.354	0.185	0.146	0.219	0.267	602491	214230	71498	0	257262	107091	26367	0
689	99.175	19.349	0.063	0.056	0.741	0.222	528130	325084	43317	0	522423	322300	11197	0
690	99.166	19.348	0.157	0.116	0.494	0.163	786280	113432	28824	0	371371	79446	8025	0
691	99.161	19.348	0.188	0.144	0.411	0.162	937497	83225	0	0	368270	43239	0	0
692	99.153	19.347	0.257	0.238	0.313	0.138	1436338	828566	44617	0	496116	304965	14592	0
693	99.146	19.347	0.221	0.210	0.251	0.147	1080853	355589	170412	0	401017	141397	58052	0
694	99.140	19.344	0.214	0.203	0.220	0.173	4648	0	0	0	1691	0	0	0
695	99.133	19.344	0.227	0.207	0.237	0.232	1096941	450476	578561	0	392828	177789	212387	0
696	99.125	19.345	0.213	0.189	0.248	0.259	1665179	229438	0	0	604976	90219	0	0
697	99.119	19.346	0.115	0.109	0.226	0.140	544374	53575	0	0	380713	43157	0	0
698	99.184	19.340	0.078	0.084	0.949	0.390	261945	118307	905712	0	257995	116275	234198	0
699	99.177	19.342	0.062	0.056	0.845	0.266	357126	161980	1307212	0	353404	160561	319678	0
700	99.169	19.340	0.098	0.078	0.620	0.202	643156	290759	1272914	0	628011	286324	366684	0
701	99.161	19.339	0.157	0.118	0.466	0.167	1195925	391068	981920	0	565367	274947	264086	0
702	99.152	19.338	0.230	0.205	0.355	0.139	2024939	1356095	1616283	0	729326	531800	467478	0
703	99.142	19.338	0.208	0.202	0.221	0.141	1663843	765071	1601000	0	658593	297955	593899	0
704	99.132	19.338	0.235	0.221	0.224	0.212	1930543	955597	848750	0	705115	353933	317474	0
705	99.123	19.338	0.178	0.170	0.212	0.185	1440279	225923	0	0	603029	96686	0	0
706	99.115	19.338	0.118	0.104	0.726	0.195	749569	95272	0	0	526455	80631	0	0
707	99.180	19.336	0.149	0.087	0.390	0.187	198901	46035	294024	0	100427	45192	89978	0
708	99.172	19.332	0.078	0.084	0.949	0.390	788068	0	0	0	776184	0	0	0
709	99.162	19.331	0.139	0.111	0.533	0.187	1077638	0	0	0	552145	0	0	0
710	99.154	19.330	0.183	0.155	0.398	0.140	913363	0	0	0	388407	0	0	0
711	99.146	19.331	0.188	0.176	0.337	0.132	1349900	680661	885921	0	528906	296627	284150	0
712	99.139	19.330	0.222	0.215	0.211	0.130	690206	318865	581190	0	256359	116471	231894	0
713	99.131	19.331	0.265	0.252	0.204	0.191	807474	370515	654329	0	284145	126761	256098	0
714	99.121	19.331	0.243	0.227	0.197	0.193	687215	81280	0	0	255851	29102	0	0
715	99.111	19.333	0.091	0.090	0.830	0.267	209729	22916	0	0	205468	22465	0	0
716	99.186	19.329	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	2290182	0	0	0	700844	0
717	99.171	19.325	0.149	0.087	0.390	0.187	894960	0	0	0	451873	0	0	0
718	99.162	19.324	0.270	0.191	0.206	0.103	1630971	0	0	0	549179	0	0	0
719	99.153	19.323	0.147	0.121	0.453	0.146	1251284	0	0	0	627757	0	0	0
720	99.143	19.322	0.220	0.202	0.281	0.116	1805571	795368	871885	0	668207	309355	300516	0
721	99.135	19.323	0.185	0.180	0.189	0.106	741621	702062	0	0	317285	295862	0	0
722	99.127	19.323	0.199	0.190	0.191	0.129	855722	164626	105154	1062675	346291	64930	41663	606010
723	99.120	19.327	0.243	0.222	0.199	0.199	728427	133651	78655	858394	270718	49724	30387	331491
724	99.118	19.319	0.203	0.181	0.198	0.160	392906	0	773520	866961	153342	0	312548	395082
725	99.108	19.326	0.123	0.109	0.669	0.167	134474	0	985521	1080337	82892	0	241105	502135

726	99.109	19.319	0.210	0.184	0.225	0.276	1090858	0	391796	537495	433580	0	146944	183203
727	99.102	19.324	0.074	0.075	0.915	0.333	9832	0	0	0	9694	0	0	0
728	99.100	19.319	0.149	0.132	0.219	0.162	144858	0	577017	966840	73120	0	212682	442941
729	99.194	19.316	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
730	99.189	19.318	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	0	0	0	0	0	0
731	99.182	19.319	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	521871	194574	0	0	159704	83654
732	99.172	19.316	0.149	0.087	0.390	0.187	689785	0	0	0	348278	0	0	0
733	99.162	19.316	0.149	0.087	0.390	0.187	1526402	0	0	0	770693	0	0	0
734	99.153	19.315	0.134	0.106	0.472	0.145	1519063	0	0	0	840465	0	0	0
735	99.143	19.314	0.218	0.199	0.262	0.108	2095354	1559505	0	0	770895	602278	0	0
736	99.135	19.314	0.197	0.179	0.253	0.100	511156	351468	0	165906	205906	147596	0	157163
737	99.126	19.312	0.179	0.161	0.228	0.108	931867	160436	131289	850785	391289	73367	47077	684755
738	99.118	19.313	0.199	0.165	0.208	0.164	394255	0	544139	1020277	159564	0	215337	469826
739	99.117	19.306	0.196	0.159	0.232	0.191	607801	299717	370366	0	244166	142430	134291	0
740	99.109	19.312	0.491	0.394	0.448	0.372	1088193	25562	0	739847	301657	7869	0	220341
741	99.109	19.305	0.251	0.184	0.478	0.227	332547	0	605129	1138623	113270	0	165091	428162
742	99.101	19.311	0.359	0.266	0.527	0.337	251803	0	739248	1384815	73322	0	213270	444165
743	99.102	19.304	0.325	0.256	0.434	0.197	529694	0	537024	760682	166263	0	162636	306303
744	99.198	19.307	0.149	0.087	0.390	0.187	907184	0	0	0	458044	0	0	0
745	99.189	19.307	0.149	0.087	0.390	0.187	1205267	0	0	0	608549	0	0	0
746	99.180	19.307	0.149	0.087	0.390	0.187	0	0	2694613	0	0	0	824608	0
747	99.172	19.307	0.149	0.087	0.390	0.187	111379	784087	803974	0	56236	769731	246033	0
748	99.163	19.306	0.149	0.087	0.390	0.187	714752	227365	1637116	0	360884	223202	500992	0
749	99.152	19.306	0.078	0.084	0.949	0.390	1075833	129967	0	0	1059609	127734	0	0
750	99.144	19.304	0.120	0.094	0.323	0.113	539022	25243	0	0	345780	24699	0	0
751	99.140	19.304	0.157	0.127	0.250	0.103	782137	0	0	0	369804	0	0	0

## 10.Apéndice B.

### Código para la implementación de la red neuronal artificial de Kohonen.

```
// kohonen.cpp    V. Rao, H. Rao
// Program to simulate a Kohonen map
#include "layerk.cpp"
#define INPUT_FILE "input.dat"
#define OUTPUT_FILE "kohonen.dat"
#define dist_tol 0.05
void main()
{
int neighborhood_size, period;
float avg_dist_per_cycle=0.0;
float dist_last_cycle=0.0;
float avg_dist_per_pattern=100.0; // for the latest cycle
float dist_last_pattern=0.0;
float total_dist;
float alpha;
unsigned startup;
int max_cycles;
int patterns_per_cycle=0;
int total_cycles, total_patterns;
// create a network object
Kohonen_network knet;
FILE * input_file_ptr, * output_file_ptr;
// open input file for reading
if ((input_file_ptr=fopen(INPUT_FILE,"r"))==NULL)
    {
        cout << "problem opening input file\n";
        exit(1);
    }
// open writing file for writing
if ((output_file_ptr=fopen(OUTPUT_FILE,"w"))==NULL)
    {
        cout << "problem opening output file\n";
        exit(1);
    }
// -----
//  Read in an initial values for alpha, and the
//  neighborhood size.
//  Both of these parameters are decreased with
//  time. The number of cycles to execute before
//  decreasing the value of these parameters is
//  called the period. Read in a value for the
//  period.
// -----
    cout << " Please enter initial values for:\n";
    cout << "alpha (0.01-1.0),\n";
    cout << "and the neighborhood size (integer between 0
and
```

```

50)\n";
cout << "separated by spaces, e.g. 0.3 5 \n ";
cin >> alpha >> neighborhood_size ;
cout << "\nNow enter the period, which is the\n";
cout << "number of cycles after which the values\n";
cout << "for alpha the neighborhood size are
    decremented\n";
cout << "choose an integer between 1 and 500 , e.g. 50 \n";
cin >> period;
// Read in the maximum number of cycles
// each pass through the input data file is a cycle
cout << "\nPlease enter the maximum cycles for the
    simulation\n";
cout << "A cycle is one pass through the data set.\n";
cout << "Try a value of 500 to start with\n\n";
cin >> max_cycles;

// the main loop
//
// continue looping until the average distance is less
// than the tolerance specified at the top of this file
// , or the maximum number of
// cycles is exceeded;
// initialize counters
total_cycles=0; // a cycle is once through all the input data
total_patterns=0; // a pattern is one entry in the input data
// get layer information
knet.get_layer_info();
// set up the network connections
knet.set_up_network(neighborhood_size);
// initialize the weights
// randomize weights for the Kohonen layer
// note that the randomize function for the
// Kohonen simulator generates
// weights that are normalized to length = 1
knet.randomize_weights();
// write header to output file
fprintf(output_file_ptr,
    "cycle\tpattern\twin index\tneigh_size\tavg_dist_per_pa
    tern\n");
fprintf(output_file_ptr,
    "-----\n");

// main loop
startup=1;
total_dist=0;
while (
    (avg_dist_per_pattern > dist_tol)
    && (total_cycles < max_cycles)
    || (startup==1)
    )
{
startup=0;

```

```

dist_last_cycle=0; // reset for each cycle
patterns_per_cycle=0;
// process all the vectors in the datafile
while (!feof(input_file_ptr))
    {
        knet.get_next_vector(input_file_ptr);
        // now apply it to the Kohonen network
        knet.process_next_pattern();
dist_last_pattern=knet.get_win_dist();
// print result to output file
fprintf(output_file_ptr,"%i\t%i\t%i\t%i\t%i\t%f\n",
        total_cycles,total_patterns,knet.get_win_index(),
        neighborhood_size,avg_dist_per_pattern);
        total_patterns++;
        // gradually reduce the neighborhood size
        // and the gain, alpha
        if (((total_cycles+1) % period) == 0)
            {
                if (neighborhood_size > 0)
                    neighborhood_size —;
                knet.update_neigh_size(neighborhood_size);
                if (alpha>0.1)
                    alpha -= (float)0.1;
            }
        patterns_per_cycle++;
        dist_last_cycle += dist_last_pattern;
        knet.update_weights(alpha);
        dist_last_pattern = 0;
    }
avg_dist_per_pattern= dist_last_cycle/patterns_per_cycle;
total_dist += dist_last_cycle;
total_cycles++;
fseek(input_file_ptr, 0L, SEEK_SET); // reset the file
    pointer
    // to the beginning of
    // the file
} // end main loop
cout << "\n\n\n\n\n\n\n\n\n\n\n\n";
cout << "-----\n";
cout << " done\n";
avg_dist_per_cycle= total_dist/total_cycles;
cout << "\n";
cout << "—>average dist per cycle = " << avg_dist_per_cycle
    << " <—\n";
cout << "—>dist last cycle = " << dist_last_cycle << " <—
    \n";
cout << "—>dist last cycle per pattern= " <<
    avg_dist_per_pattern << " <—\n";
cout << "----->total cycles = " << total_cycles << " <—\n";
cout << "----->total patterns = " << total_patterns << " <—
    \n";

```

```

cout << "-----\n";
// close the input file
fclose(input_file_ptr);
}
// layerk.cpp    V.Rao, H.Rao
// compile for floating point hardware if available
#include "layer.cpp"
#include "layerk.h"
// -----
//           Kohonen layer
//-----
Kohonen_layer::Kohonen_layer(int i, int o, int
    init_neigh_size)
{
    num_inputs=i;
    num_outputs=o;
    neighborhood_size=init_neigh_size;
    weights = new float[num_inputs*num_outputs];
    outputs = new float[num_outputs];
}
Kohonen_layer::~Kohonen_layer()
{
    delete [num_outputs*num_inputs] weights;
    delete [num_outputs] outputs;
}
void Kohonen_layer::calc_out()
{
    // implement lateral competition
    // choose the output with the largest
    // value as the winner; neighboring
    // outputs participate in next weight
    // update. Winner's output is 1 while
    // all other outputs are zero
    int i,j,k;
    float accumulator=0.0;
    float maxval;
    winner_index=0;
    maxval=-1000000;
    for (j=0; j<num_outputs; j++)
        {
            for (i=0; i<num_inputs; i++)
                {
                    k=i*num_outputs;
                    if (weights[k+j]*weights[k+j] > 1000000.0)
                        {
                            cout << "weights are blowing up\n";
                            cout << "try a smaller learning constant\n";
                            cout << "e.g. beta=0.02
                                aborting...\n";
                            exit(1);
                        }
                }
        }
}

```

```

outputs[j]=weights[k+j]*(inputs+i);
    accumulator+=outputs[j];
    }
    // no squash function
    outputs[j]=accumulator;
    if (outputs[j] > maxval)
        {
            maxval=outputs[j];
            winner_index=j;
        }
    accumulator=0;
    }
    // set winner output to 1
    outputs[winner_index]=1.0;
    // now zero out all other outputs
    for (j=0; j< winner_index; j++)
        outputs[j]=0;
    for (j=num_outputs-1; j>winner_index; j--)
        outputs[j]=0;
}
void Kohonen_layer::randomize_weights()
{
int i, j, k;
const unsigned first_time=1;
const unsigned not_first_time=0;
float discard;
float norm;
discard=randomweight(first_time);
for (i=0; i< num_inputs; i++)
    {
        k=i*num_outputs;
        for (j=0; j< num_outputs; j++)
            {
                weights[k+j]=randomweight(not_first_time);
            }
    }
    // now need to normalize the weight vectors
    // to unit length
    // a weight vector is the set of weights for
    // a given output
    for (j=0; j< num_outputs; j++)
        {
            norm=0;
            for (i=0; i< num_inputs; i++)
                {
                    k=i*num_outputs;
                    norm+=weights[k+j]*weights[k+j];
                }
            norm = 1/((float)sqrt((double)norm));
        }
    for (i=0; i< num_inputs; i++)
        {

```

```

        k=i*num_outputs;
        weights[k+j]*=norm;
    }
}
}
void Kohonen_layer::update_neigh_size(int new_neigh_size)
{
neighborhood_size=new_neigh_size;
}
void Kohonen_layer::update_weights(const float alpha)
{
int i, j, k;
int start_index, stop_index;
// learning law: weight_change =
//     alpha*(input-weight)
// zero change if input and weight
// vectors are aligned
// only update those outputs that
// are within a neighborhood's distance
// from the last winner
start_index = winner_index -
    neighborhood_size;
if (start_index < 0)
    start_index =0;
stop_index = winner_index +
    neighborhood_size;
if (stop_index > num_outputs-1)
    stop_index = num_outputs-1;
for (i=0; i< num_inputs; i++)
    {
        k=i*num_outputs;
        for (j=start_index; j<=stop_index; j++)
            weights[k+j] +=
                alpha*((*(inputs+i))-weights[k+j]);
    }
}
void Kohonen_layer::list_weights()
{
int i, j, k;
for (i=0; i< num_inputs; i++)
    {
        k=i*num_outputs;
        for (j=0; j< num_outputs; j++)
            cout << "weight["<<i<<","<<
                j<<"] is: "<<weights[k+j];
    }
}
void Kohonen_layer::list_outputs()
{
int i;
for (i=0; i< num_outputs; i++)

```

```

    {
cout << "outputs["<<i<<
        "]" is: "<<outputs[i];
    }
}
float Kohonen_layer::get_win_dist()
{
int i, j, k;
j=winner_index;
float accumulator=0;
float * win_dist_vec = new float [num_inputs];
for (i=0; i< num_inputs; i++)
    {
        k=i*num_outputs;
        win_dist_vec[i]=*(inputs+i)-weights[k+j];
        accumulator+=win_dist_vec[i]*win_dist_vec[i];
    }
win_distance =(float)sqrt((double)accumulator);
delete [num_inputs]win_dist_vec;
return win_distance;
}
Kohonen_network::Kohonen_network()
{
}
Kohonen_network::~Kohonen_network()
{
}
void Kohonen_network::get_layer_info()
{
int i;
//-----
//
//  Get layer sizes for the Kohonen network
//
// -----
cout << " Enter in the layer sizes separated by spaces.\n";
cout << " A Kohonen network has an input layer \n";
cout << " followed by a Kohonen (output) layer \n";
for (i=0; i<2; i++)
    {
        cin >> layer_size[i];
    }
// -----
// size of layers:
//   input_layer   layer_size[0]
//   Kohonen_layer layer_size[1]
// -----
}
void Kohonen_network::set_up_network(int nsz)
{
int i;

```

```

// set up neighborhood size
neighborhood_size = nsz;
//-----
// Construct the layers
//
//-----
layer_ptr[0] = new input_layer(0,layer_size[0]);
layer_ptr[1] =
    new Kohonen_layer(layer_size[0],
        layer_size[1],neighborhood_size);
for (i=0;i<2;i++)
    {
    if (layer_ptr[i] == 0)
        {
        cout << "insufficient memory\n";
        cout << "use a smaller architecture\n";
        exit(1);
        }
    }
//-----
// Connect the layers
//
//-----
// set inputs to previous layer outputs for the Kohonen layer
layer_ptr[1]->inputs = layer_ptr[0]->outputs;
}
void Kohonen_network::randomize_weights()
{
((Kohonen_layer *)layer_ptr[1])
    ->randomize_weights();
}
void Kohonen_network::update_neigh_size(int n)
{
((Kohonen_layer *)layer_ptr[1])
    ->update_neigh_size(n);
}
void Kohonen_network::update_weights(const float a)
{
((Kohonen_layer *)layer_ptr[1])
    ->update_weights(a);
}
void Kohonen_network::list_weights()
{
((Kohonen_layer *)layer_ptr[1])
    ->list_weights();
}
void Kohonen_network::list_outputs()
{
((Kohonen_layer *)layer_ptr[1])
    ->list_outputs();
}

```

```

void Kohonen_network::get_next_vector(FILE * ifile)
{
int i;
float normlength=0;
int num_inputs=layer_ptr[1]->num_inputs;
float *in = layer_ptr[1]->inputs;
// get a vector and normalize it
for (i=0; i<num_inputs; i++)
    {
        fscanf(ifile,"%f", (in+i));
        normlength += (*(in+i))*(*(in+i));
    }
fscanf(ifile, "\n");
normlength = 1/(float)sqrt((double)normlength);
for (i=0; i< num_inputs; i++)
    {
        (*(in+i)) *= normlength;
    }
}
void Kohonen_network::process_next_pattern()
{
    layer_ptr[1]->calc_out();
}
float Kohonen_network::get_win_dist()
{
float retval;
retval=((Kohonen_layer *)layer_ptr[1])
    ->get_win_dist();
return retval;
}
int Kohonen_network::get_win_index()
{
return ((Kohonen_layer *)layer_ptr[1])
    ->winner_index;
}
// layerk.h      V.Rao, H. Rao
// header file for the Kohonen layer and
// the Kohonen network
class Kohonen_network;
class Kohonen_layer: public layer
{
protected:
    float * weights;
int winner_index;
    float win_distance;
    int neighborhood_size;
    friend Kohonen_network;
public:
    Kohonen_layer(int, int, int);
    ~Kohonen_layer();
    virtual void calc_out();
}

```

```

    void randomize_weights();
    void update_neigh_size(int);
    void update_weights(const float);
    void list_weights();
    void list_outputs();
    float get_win_dist();
};
class Kohonen_network
{
private:
    layer *layer_ptr[2];
    int layer_size[2];
    int neighborhood_size;
public:
    Kohonen_network();
    ~Kohonen_network();
    void get_layer_info();
    void set_up_network(int);
    void randomize_weights();
    void update_neigh_size(int);
    void update_weights(const float);
    void list_weights();
    void list_outputs();
    void get_next_vector(FILE *);
    void process_next_pattern();
    float get_win_dist();
    int get_win_index();
};

```