

**RED NEURONAL ARTIFICIAL DE KOHONEN PARA LA LOCALIZACIÓN  
Y RELOCALIZACIÓN DE RECURSOS APLICADO A LA CIUDAD  
DE BUCARAMANGA**

**JHOHAN FABIÁN MEDINA CONDE  
MAURICIO SERRANO TÉLLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

**RED NEURONAL ARTIFICIAL DE KOHONEN PARA LA LOCALIZACIÓN  
Y RELOCALIZACIÓN DE RECURSOS APLICADO A LA CIUDAD  
DE BUCARAMANGA**

**JHOHAN FABIÁN MEDINA CONDE  
MAURICIO SERRANO TÉLLEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero de Sistemas**

**Director  
FERNANDO RUIZ DÍAZ  
Ingeniero de Sistemas**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA**

**2004**

A Dios,  
A mis padres y hermanos,  
A Carolina y Juan Felipe por llenarme la vida de alegría,  
A mis amigos y familiares.

***JHOHAN FABIAN MEDINA C.***

A papito Dios,  
A mis padres Ramón Serrano y Carmen Alicia Téllez  
por su apoyo, cariño y comprensión,  
A mis hermanas Sandra Fabiola y Leyla Juliana por creer en mi,  
A mis dos familias que me apoyaron en los momentos más difíciles,  
A Giuliana María por su amor y comprensión,  
A mis amigos por su lealtad y confianza.

**MAURICIO SERRANO TÉLLEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

A la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática por la formación dada como profesionales en esta rama de la ciencia.

A Fernando Ruiz Díaz, Ingeniero de Sistemas, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Juan Carlos Toscano por el apoyo y su amistad brindada.

A todos los amigos que de una u otra forma contribuyeron a nuestra formación integral.

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	1
1. PROBLEMA	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES	6
2.2. CONCEPTOS BÁSICOS	6
2.2.1. Fisiología de la Neurona	6
2.2.2. Definición de Red Neuronal	7
2.2.3. Características de las Redes Neuronales Artificiales	8
2.2.4. Red Neuronal de Kohonen	9
2.2.5. Arquitectura	9
2.2.6. Aprendizaje y funcionamiento de la red	12
2.2.7. Algoritmo de Aprendizaje	13
2.3. ZONIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE RECURSOS	14
2.3.1. Estructura como modelo a gran escala	14
2.3.2. Clasificación de recursos	15

2.3.3. Políticas de localización de las unidades servidoras	15
2.3.4. Medidas de eficiencia	16
2.3.5. Factores que influyen en las políticas de localización	16
2.3.6. Cálculo del tiempo de respuesta	16
2.3.7. Procesos espaciales	17
2.3.8. Clasificación de los problemas de localización	17
2.3.8.1. Según el espacio	17
2.3.8.2. Según el número de localizaciones	17
2.3.8.3. Según la función objetivo	18
3. DISEÑO Y MODELADO DE LA RED NEURONAL	19
3.1. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS	19
3.1.1. Capa de entrada	19
3.1.2. Capa de salida	19
3.2. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED	20
3.2.1 Arquitectura para la ubicación de recursos públicos	23
3.2.2 Arquitectura para la ubicación de recursos privados	24
4. METODOLOGÍA DE DESARROLLO SOFTWARE	26
4.1. DESCRIPCIÓN PROTOTIPO INICIAL	26
4.2. DESCRIPCIÓN PROTOTIPO FINAL	26
4.3. MODELO DE FLUJO DE DATOS	27
5. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE	28
“Neural Net District Versión 1.0” (NND1.0)	
	35

5.1 MÓDULO PRINCIPAL	29
5.2 MÓDULO DATOS MAPA	32
5.3 MÓDULO DATOS FACILIDADES	33
5.4 MÓDULO DATOS INCIDENTES	34
5.5 MÓDULO DE REFERENCIACIÓN	35
5.6 MÓDULO DE AYUDA DEL NND1.0	36
6. PRUEBAS REALIZADAS	37
6.1 PRUEBAS DE REJILLA	37
6.1.1 Pruebas de rejilla con frontera o delimitación de contorno	52
6.2 PRUEBAS APLICADAS AL MAPA DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA	56
7. CONCLUSIONES	64
8. ALCANCES, LIMITACIONES Y EXPECTATIVAS	66
8.1 ALCANCES	66
8.2 LIMITACIONES	66
8.3 EXPECTATIVAS	67
9. BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	70

## ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Artículo “Zonificación y localización de recursos basado en una derivación de la estructura neuronal de kohonen”.	70
Anexo B. Análisis de población por sector urbano de la ciudad de bucaramanga para la ubicación y localización de recursos y distribución de la población por sectores urbanos.	78
Anexo C. Manual de funcionamiento (NND versión 1.0)	101

## FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Neurona biológica	7
Figura 2. Arquitectura de Red LVQ	10
Figura 3. Interacción entre neuronas de salida	10
Figura 4. Arquitectura de red TPM	11
Figura 5. Interacción circular entre neuronas de la capa de salida	11
Figura 6. Posible evolución de la zona de vecindad	14
Figura 7. Diagrama de especificaciones del sistema	21
Figura 8. Diagrama de posibles escenarios para la ubicación de recursos	23
Figura 9. Arquitectura de red para la ubicación de recursos públicos	24
Figura 10. Arquitectura de red para la ubicación de recursos privados	25
Figura 11. Diagrama de flujo de datos	27
Figura 12. Ejemplo de distritamiento	29
Figura 13. Ventana para cargar el mapa	32
Figura 14. Ventana para asignar datos a las facilidades	33
Figura 15. Ventana para asignar datos de incidentes	34
Figura 16. captura de puntos sobre el mapa	35
Figura 17. Ventana de ayuda de términos	36
Figura 18 .Pantalla de Datos Mapa	38
Figura 19. Pantalla de Datos de facilidades	38
Figura 20 .Pantalla de Datos incidentes	39
Figura 21. Pantalla de Ubicaciones iniciales	39
Figura 22. Resultados de la ubicación para 1000 iteraciones	40
Figura 23. Resultados de la ubicación para 4000 iteraciones	40
Figura 24. Resultados del Distritamiento	41
Figura 25. Ubicación de Facilidades en el Mapa	41
Figura 26. Ubicación de Incidentes en el Mapa	42

Figura 27. Asignación de facilidades e Incidentes en rejilla	42
Figura 28. Ajuste de pesos de las neuronas	43
Figura 29. Distribución especial de facilidades e incidentes en la rejilla	43
Figura 30. Distribución especial de los incidentes	44
Figura 31. Organización de las facilidades según las ubicación de los distritos	44
Figura 32. Resultado del distritamiento	45
Figura 33. Prueba de rejilla con generación de facilidades aleatorias	45
Figura 34. Organización de las facilidades con nueva ubicación de su punto de inicio	46
Figura 35. Resultado del distritamiento para facilidades con generación aleatoria de su punto de inicio	46
Figura 36. Generación de facilidades e incidentes para distritamiento mixto	47
Figura 37. Organización de las facilidades en distritamiento mixto	47
Figura 38. Resultado del distritamiento mixto	48
Figura 39. Resultado del distritamiento para dos facilidades del mismo tipo de recorrido con diferentes velocidades	48
Figura 40. Resultado del distritamiento para dos facilidades del mismo tipo de recorrido con diferentes velocidades y diferente tiempo de retardo en prestar el servicio	49
Figura 41. Asignación de cuatro facilidades para distritar, donde todas son de tipo público y de aceptación fílica	49
Figura 42. Organización de la facilidades para distritamiento con cuatro facilidades, donde todas son de tipo público y de aceptación fílica	50
Figura 43. Distritamiento con cuatro facilidades, donde todas son de tipo público y de aceptación fílica	50
Figura 44. Generación de múltiples facilidades con múltiples incidentes	51
Figura 45. Organización de múltiples facilidades	51
Figura 46. Distritamiento de múltiples facilidades con múltiples incidentes	52

Figura 47. Pruebas de rejilla con frontera o delimitación de contorno	53
Figura 48. Organización de facilidades bajo una rejilla con frontera	53
Figura 49. Distritamiento bajo condiciones de frontera	54
Figura 50. Ubicación de facilidades para tipo de recurso privado	55
Figura 51. Ubicación uniforme de incidentes para distritamiento junto a facilidades con tipo de recurso privado	55
Figura 52. Organización de las facilidades con tipo de recurso privado	56
Figura 53. Distritamiento para dos facilidades con tipo de recurso privado	56
Figura 54. Ubicación inicial de hospitales en el mapa con una distribución de incidentes uniforme	57
Figura 55. Distritamiento de hospitales en el mapa con una distribución de incidentes uniforme	58
Figura 56. Resultado en formato digital de la reubicación óptima de los dos hospitales según NND Ver1.0	59
Figura 57. Resultado de la zonificación de la reubicación de los hospitales	60
Figura 58. Datos de Facilidades para la Reubicación de dos Hospitales fijos y uno a instalar	61
Figura 59. Resultados para la Reubicación de dos hospitales fijos y uno a instalar	61
Figura 60. Resultados Ubicación de dos hospitales fijos y uno a instalar ubicado intencionalmente	62
Figura 61. Resultados zonificación de dos hospitales fijos y uno a instalar ubicado intencionalmente	63

## RESUMEN

### TÍTULO\*:

**RED NEURONAL ARTIFICIAL DE KOHONEN PARA LA LOCALIZACIÓN Y RELOCALIZACIÓN DE RECURSOS APLICADO A LA CIUDAD DE BUCARAMANGA**

### AUTORES:

Jhohan Fabián Medina Conde.

Mauricio Serrano Téllez.\*\*

### PALABRAS CLAVES:

Redes Neuronales, programación no lineal, simulación digital, modelos de sistemas urbanos.

### DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es dotar a la ciudad de Bucaramanga de un software para la localización y relocalización de recursos como hospitales, escuelas, estaciones de servicio teniendo en cuenta la distancia euclidiana, distribución de la densidad de población por manzana, el tipo de recurso público o privado y si es aceptable o no, por la población, permitiendo ubicar y zonificar varios recursos en un plano coordenado o mapa digital, para su posterior manejo y utilización como soporte tecnológico en el estudio, planeación, ubicación y construcción de instalaciones que brindan un servicio a la comunidad.

El algoritmo del programa se diseñó fundamentado en la estructura de la red neuronal de Kohonen, tomando como patrones de aprendizaje la distribución de población por manzanas de la ciudad de Bucaramanga y como salidas de la red el número de recursos a ubicar con respecto al tipo de recorrido euclidiano y metropolitano.

El resultado es un software de fácil manejo que presenta una solución a problemas de ubicación concernientes a la mala ubicación de recursos que no atienden a la demanda de población y a su distribución en la ciudad, generando problemas de ineficiencia funcional y costos de transporte. Los resultados se presentan en un formato claro y de fácil interpretación, que incluye la representación gráfica de la ubicación y el distritamiento de los recursos sobre el mapa de Bucaramanga permitiendo guardarlos en cualquier formato de imagen, con independencia del mismo software.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas .Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Director: Ing. Fernando Ruíz Díaz. Ingeniero de Sistemas.

## SUMMARY

**TITLE\*:**

**NET ARTIFICIAL NEURONAL DE KOHONEN FOR THE LOCALIZATION AND APPLIED RELOCATION OF RESOURCES TO THE CITY DE BUCARAMANGA**

**AUTHORS:**

Jhohan Fabián Medina Conde.

Mauricio Serrano Téllez.\*\*

**KEY WORDS:**

Neural networks, non linear programming, digital simulation, urban systems models.

**DESCRIPTION:**

The objective of this project is to endow to the city of Bucaramanga of a software for the localization and relocation of resources like hospitals, schools, stations of service keeping in mind the distance euclidian, distribution of population's density for apple, the type of public or private resource and if it is acceptable or not, for the population, allowing to locate and to zone several resources in a coordinated plane or digital map, for its later handling and use like technological support in the study, planning, location and construction of facilities that offer a service to the community.

The algorithm of the program was designed based in the structure of the net neuronal of Kohonen, taking as learning patterns population's distribution for apples of the city of Bucaramanga and I eat exits of the net the number of resources to locate with regard to the type of journey euclidian and subway.

The result is a software of easy handling that presents a solution to concerning location problems to the bad location of resources that you/they don't assist to population's demand and its distribution in the city, generating problems of functional inefficient and costs of transport. The results are presented in a clear format and of easy interpretation that includes the graphic representation of the location and the distritamiento of the resources on the map of Bucaramanga allowing to keep them in any image format, with independence of the same software.

---

\* Work of Grade. Research Project.

\*\*Faculty of Physique Mechanics Engineerings. School of Systems and Computer Engineering. Director: Eng. Fernando Ruíz Díaz. Engineer of Systems.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que sobresale en el ámbito de estudio y planeación de los servicios es la localización óptima de equipamientos, recursos, facilidades o estaciones; esta tendencia, se debe fundamentalmente a la demanda creciente de servicios por parte de la población. El problema radica en encontrar los sitios mas apropiados económicamente para instalar determinados equipamientos en función de la demanda de los usuarios que hacen uso de ellos y de la distancia que deben recorrer para poder obtener los servicios que brindan. Estos recursos responden a las características de los equipamientos que se desean instalar y quien tiene que llevar adelante esta tarea.

En la actualidad se dispone de un conjunto de metodologías como la lógica borrosa o difusa, el razonamiento aproximado, la teoría de caos y las redes neuronales, que permiten obtener soluciones de problemas complejos como la evolución de sistemas de computación inspirados en la combinación de elementos simples de procesos interconectados, que operando de forma paralela consiguen resolver problemas relacionados con el reconocimiento de formas o patrones, predicción, codificación, control y optimización, y ahora con una nueva aplicación en el ámbito de la localización(Ubicación) y zonificación de recursos dependiendo de su carácter u objetivo, teniendo en cuenta el tipo de recorrido como se propone en este documento de manera exclusiva aplicado a la ciudad de Bucaramanga.

En el Capítulo 1. se describe el problema junto con la justificación de la realización del proyecto y los objetivos para la solución del problema. El Capítulo 2. describe el aspecto teórico, es decir las temáticas necesarias empleadas para la comprensión del proyecto. En el Capítulo 3. se plantean los modelos de red empleados en el desarrollo del prototipo final. En el Capítulo 4. Se describe la metodología de ciclo de vida del software empleada, aplicada al desarrollo del proyecto. En los Capítulo 5 y 6. contienen la descripción del

producto final y las pruebas realizadas para la verificación de la solución del problema y por ultimo en los Capítulos 7 y 8. se describen las conclusiones, alcances, limitaciones y expectativas obtenidas con el desarrollo de este proyecto. El capítulo Final contiene las fuentes bibliográficas base de la investigación.

# **1. PROBLEMA**

## **1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El problema radica en encontrar los sitios más apropiados económicamente para instalar determinados recursos en función de la demanda, es decir, de los usuarios que hacen uso de ellos y de la distancia que se debe recorrer para poder obtener los servicios que brindan.

Estos recursos responden a las características de los equipamientos que se desean instalar y quién tiene que llevar adelante esta tarea. Con respecto a este último aspecto se hace referencia a si las instalaciones son de carácter público o privado; además de considerar si se trata de un servicio público o privado, también es preciso tener en cuenta si se trata de equipamientos deseables también llamados fílicos (que son aquellos en los que predominan las externalidades positivas: hospitales, escuelas bibliotecas, cines), no-deseables denominados asimismo fóbicos (en los que las externalidades negativas son las preponderantes (cementeros, vertederos de residuos sólidos urbanos, cárceles).

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La existencia en la ciudad de actividades complementarias a otras que resultan incompatibles, hace necesaria la búsqueda de una distribución funcional eficiente, que radica en los desplazamientos diarios de la población desde las áreas residenciales hacia los centros de empleo y de adquisición de bienes y servicios. Este planteamiento es coincidente con la política urbana del estado que propende porque los equipamientos urbanos<sup>1</sup> formen parte

---

<sup>1</sup> Los equipamientos urbanos son las construcciones fundamentales que conforman los puntos importantes de una concentración urbana, cuya existencia condiciona el buen funcionamiento global de las áreas residenciales comerciales e industriales de la ciudad.

integral de una estrategia de desarrollo para la ciudad, articulada en el POT<sup>2</sup> urbano de manera que haya correspondencia entre su localización, capacidad, calidad y accesibilidad (demanda).

La ineficiencia funcional de los recursos genera un gran número de problemas que van en detrimento de la calidad de vida de los ciudadanos. Algunos de estos problemas se manifiestan por la mezcla o la vecindad de actividades incompatibles y por los desplazamientos excesivamente largos en distancia y duración, lo cual ocasiona dificultades para el tránsito automotor, provocando congestión vehicular e incrementando los niveles de contaminación atmosférica y ruido. Por su parte, la carencia de vías de acceso genera tiempos de viaje mayores, con sus correspondientes consecuencias ambientales; produciendo simultáneamente otros inconvenientes a los ciudadanos, tales como: la falta de atención en casos de urgencia, la inadecuada prestación del servicio de transporte público y del servicio de recolección de basuras entre otras.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Desarrollar un Software, para resolver el problema de la localización y relocalización espacial de recursos[1] basado en la Red Neuronal Artificial de Kohonen con una aplicación práctica e impulsar el uso de tecnologías modernas en la solución de problemas de sistemas públicos en el ambiente urbano.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar e implementar un algoritmo fundamentado en la red neuronal de Kohonen que permita:

---

<sup>2</sup> Plan de Ordenamiento Territorial.

- a) Mostrar la ubicación de los recursos de acuerdo a parámetros de referencia espacial y factores de densidad de población, teniendo en cuenta el carácter público<sup>3</sup> o privado<sup>4</sup> del recurso, su situación filica<sup>5</sup> o fóbica<sup>6</sup> para los siguientes casos:
- b) Ubicar los recursos ausentes en el área sobre la cual se realiza el estudio.
- c) Ubicar nuevos recursos partiendo de la existencia de recursos instalados del mismo tipo en el área de estudio.
- d) Reubicar todos los recursos instalados cuya ineficiencia funcional requiera una nueva distribución espacial.
- e) Obtener la capacidad poblacional y el distritamiento dependiendo del tipo de recorrido (euclidiano o metropolitano) [2] de los recursos localizados, según los casos descritos en el numeral anterior.

---

<sup>3</sup> La localización de servicios públicos debería responder al principio de “justicia o equidad espacial”, este principio tiene especial relevancia en el caso de los servicios ofertados por la Administración Pública, ya que son financiados por toda la población que, por lo tanto, tiene iguales derechos a usarlos en las mismas condiciones de acceso, como ejemplo de este caso podemos referirnos a hospitales, escuelas o bibliotecas públicas.

Los servicios privados por su parte tienen como finalidad otro principio que es el de “eficiencia espacial”, su objetivo es obtener la mayor cantidad de beneficios posibles y por ello preferirán localizarse en aquellos lugares que alberguen la mayor cantidad de población o demanda. En otras palabras la eficiencia se ocupa de maximizar los resultados de unos recursos dados. Por lo tanto una distribución eficiente de los servicios maximizará su utilización por parte de los usuarios. En este caso los ejemplos son numerosos y se refieren a todo tipo de servicios por el cual el o los propietarios obtienen algún beneficio económico, cines, comercios, escuela privadas, consultorios médicos de diferente índole, etc.

<sup>5</sup> Equipamientos deseables a la comunidad.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES

En la búsqueda de proyectos relacionados con aplicaciones bajo el enfoque que ofrecen las Redes Neuronales se encuentran algunos con estas características y que por lo general se enfocan a la búsqueda de estimaciones para problemas de predicción de la demanda en sistemas de servicios públicos, de diferente índole, entre otras aplicaciones los sistemas eléctricos.

Investigaciones hechas con Aplicaciones realizadas bajo el uso de paquetes matemáticos propios del entorno educativo en el que nos hemos formado, el más sobresaliente es Matlab, el cual incluye los conocidos toolbox; que son una colección especializada de programas escritos en lenguaje Matlab, que fueron construidos específicamente para resolver problemas particulares [9]. Uno de los toolbox hace referencia a la solución de problemas con redes neuronales, donde es importante el cubrimiento que tienen sobre la mayoría de las clases de redes que existen hasta el momento. Sin embargo, no hay una aplicación determinada para la ubicación o localización dentro de las redes neuronales, pero si dentro de los sistemas de información geográfica (SIG), modelos, localización y asignación óptima que presentan cierto grado de complejidad y un elevado costo debido a la tecnología que manejan.

### 2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

**2.2.1. Fisiología de la Neurona.** Una neurona es una célula viva y, como tal, contiene los mismos elementos que forman parte de todas las células biológicas, además, contienen elementos característicos que las diferencian. En general una neurona consta de un cuerpo celular más o menos esférico,

---

<sup>6</sup> Equipamientos no deseables a la comunidad.

de 5 a 10 micras de diámetro, del que salen una rama principal, el axón, y varias ramas cortas, llamadas dendritas. A su vez, el axón puede producir ramas en torno a su punto de arranque, y con frecuencia se ramifica extensamente cerca de su extremo.

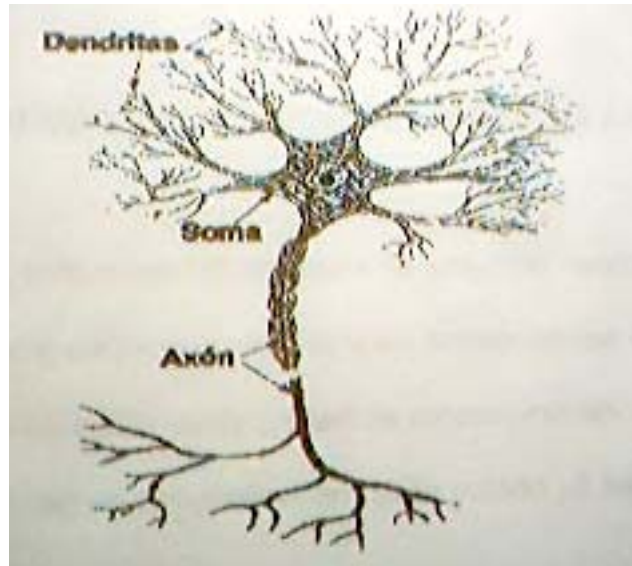


Figura 1. Neurona biológica

Una de las características que diferencian a las neuronas del resto de las células vivas, es su capacidad de comunicarse. En términos generales, las dendritas y el cuerpo celular reciben señales de entrada; el cuerpo celular las combina e integra y emite señales de salida. El axón transporta esas señales a los terminales axónicos, que se encargan de distribuir información a un nuevo conjunto de neuronas. Por lo general, una neurona recibe información de miles de otras neuronas y, a su vez, envía información a miles de neuronas más.

**2.2.2. Definición de Red Neuronal.** Existen numerosas formas para definir lo que son las redes neuronales, una de ellas que reúnen la esencia de su significado es la siguiente:

*Un modelo matemático compuesto por un gran número de elementos procesales organizados en niveles.*

La compleja operación de las redes neuronales es el resultado de abundantes lazos de realimentación junto con no linealidades de los elementos de proceso y cambios adaptativos de sus parámetros, que pueden definir incluso fenómenos dinámicos con alto nivel de complejidad.

**2.2.3. Características de las Redes Neuronales Artificiales.** Debido a su constitución y a sus fundamentos, las redes neuronales artificiales presentan un gran número de características semejantes a las del cerebro. Por ejemplo, son capaces de aprender de la experiencia, de generalizar de casos anteriores a nuevos casos, de abstraer características esenciales a partir de entradas a la red, que le representen información relevante. Esto hace que ofrezcan numerosas ventajas y que estén aplicadas en múltiples áreas. Algunas ventajas incluyen:

a. *Aprendizaje adaptativo.* Capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento o experiencia inicial.

b. *Autoorganización.* Una red neuronal puede crear su propia organización o representación de la información que recibe mediante una etapa de aprendizaje.

c. *Tolerancia a fallos.* La destrucción parcial de una red conduce a una degradación de su estructura; sin embargo, algunas capacidades de la red se pueden retener, aunque la red sufra daños.

d. *Operación en tiempo real.* Los computadores neuronales pueden ser realizados en paralelo, esto producto de la necesidad de realizar grandes procesos con datos de forma muy rápida. De todos los métodos posibles, las redes neuronales son la mejor alternativa para reconocimiento y clasificación de patrones en tiempo real.

e. *Fácil inserción dentro de la tecnología existente.* Una red individual puede ser entrenada para desarrollar una única y bien definida tarea. Debido a que la red puede ser rápidamente entrenada, comprobada, verificada y de fácil

traslado dentro de los sistemas existentes, se pueden utilizar para mejorar sistemas de forma incremental.

**2.2.4. Red Neuronal de Kohonen.** A partir de estudios científicos en los cuales se concluyó que no toda la organización neuronal está predeterminada genéticamente, sino que es probable que parte de ella se origine mediante el aprendizaje, lo cual sugiere que el cerebro podría poseer la capacidad inherente de formar mapas topológicos de la información recibida del exterior.

Basado en estas ideas, T. Kohonen presentó un modelo de red neuronal con capacidad para formar mapas de características similares, pretendiendo demostrar que un estímulo externo (información de entrada), por si solo, o una estructura y una descripción funcional propia del comportamiento de la red, era suficiente para forzar la auto-formación de grupos o clases homogéneas. [3]

Los neurobiólogos han demostrado que en el cerebro existen áreas donde se realizan funciones específicas como el centro del habla, el control de movimiento, el centro de visión, en fin, cada área corresponde a un grupo de neuronas donde existe una intensa actividad local. Este hecho biológico ha llevado a la idea de que el cerebro utiliza una proyección espacial para modelar estructuras de datos.

La red de Kohonen utiliza esta idea para almacenar datos de tal manera que se preservan las relaciones espaciales existentes en los datos. [4]

**2.2.5. Arquitectura.** La arquitectura de este modelo de red, en su versión original conocido como LVQ (Learning Vector Quantization), está compuesta de dos capas con  $N$  neuronas de entrada y  $M$  de salida. Cada una de las  $N$  neuronas de entrada se conecta a las  $M$  de salida a través de conexiones hacia delante (feedforward).

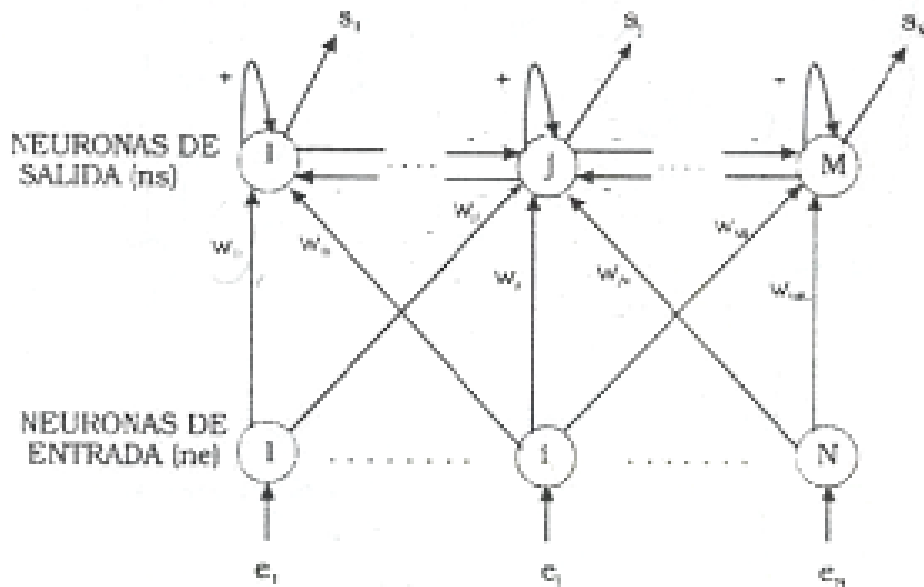


Figura 2. Arquitectura de Red LVQ

Entre las neuronas ubicadas en la capa de salida, puede decirse que existen conexiones laterales de inhibición implícitas (pesos negativos). Pues aunque no estén conectadas, cada una de estas neuronas va a tener cierta influencia sobre sus vecinas. El valor asignado a los pesos de las conexiones feedforward entre las capas de entrada y las de salida ( $w_{ji}$ ) durante el proceso de aprendizaje de la red va a depender de la interacción lateral.

La influencia que una neurona ejerce sobre las demás es función de la distancia entre ellas, siendo muy pequeñas cuando están muy alejadas. Es frecuente que dicha influencia tenga la forma de sombrero mejicano, como se ilustra en la figura 3. Esta afirmación tiene base biológica, ya que estudios realizados en animales producen este tipo de interacciones entre neuronas próximas.

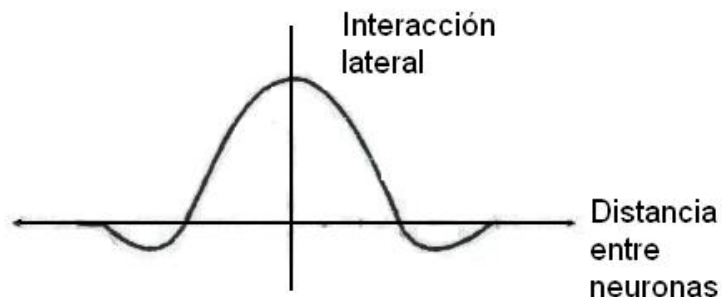


Figura 3. Interacción entre neuronas de salida

Por otra parte, la versión del modelo denominada TPM (Topology Preserving Map) que trata de establecer una correspondencia entre los datos de entrada y un espacio bidimensional de salida, creando mapas de dos dimensiones, de tal forma que ante datos de entrada con características comunes se deben activar neuronas situadas en zonas próximas de la capa de salida. La siguiente figura muestra una representación de esta red.

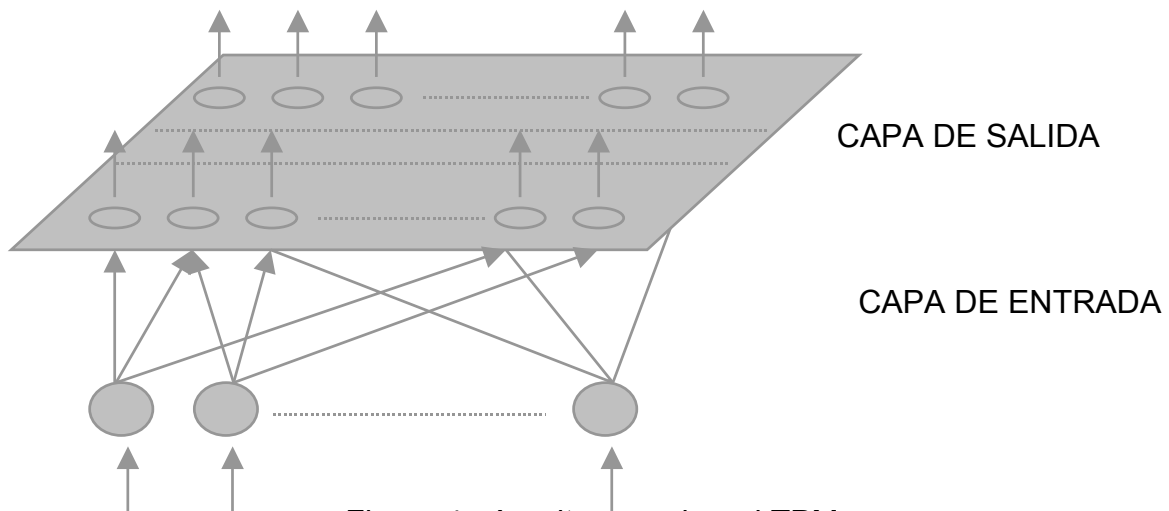


Figura 4. Arquitectura de red TPM

La interacción lateral entre las neuronas de la capa de salida sigue existiendo. Aunque ahora hay que entender la distancia como una zona bidimensional que existe alrededor de una neurona. Esta zona se representa en la figura 5. Esta zona puede tener cualquier forma pero debe estar centrada en la neurona.

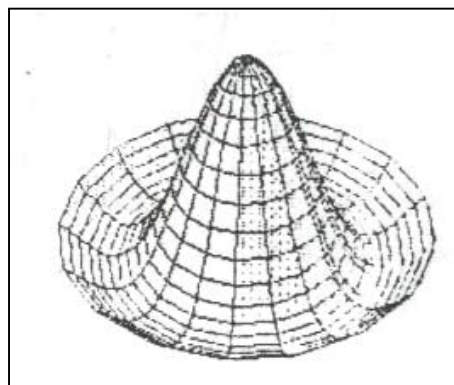


Figura 5. Interacción circular entre neuronas de la capa de salida

Una red Neuronal de tipo Kohonen es un mapa que preserva la topología de una representación multidimensional dentro de un arreglo bidimensional que proyecta señales similares a posiciones similares de neuronas. [5]

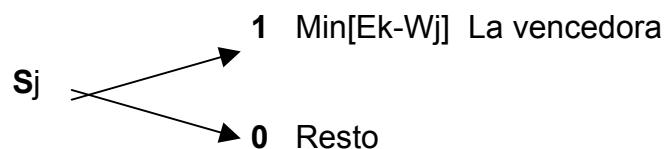
**2.2.6. Aprendizaje y funcionamiento de la red.** El algoritmo de aprendizaje para una red de Kohonen organiza las neuronas en vecindades locales, que actúan como clasificadores de características de los datos de entrada. El mapa de neuronas se organiza de manera autónoma mediante un proceso cíclico que compara los patrones de entrada (vectores de datos de entrada) con los vectores correspondientes a cada neurona. El algoritmo no requiere información sobre salidas deseadas.

El aprendizaje es no supervisado de tipo competitivo, donde las neuronas compiten por activarse y solo una se activa ante una determinada información de entrada a la red. Los pesos de las conexiones se actualizan según la neurona que resulte vencedora. Al final del aprendizaje las neuronas forman grupos correspondientes a las características de los patrones. [6]

En esta fase se presenta a la entrada una información  $E_K = (e_1^{(K)} \dots e_N^{(K)})$  y cada neurona de salida las recibe a través de las conexiones hacia adelante con pesos  $W_{ji}$ .

La salida generada depende de las conexiones hacia adelante con pesos  $W_{ji}$  y las conexiones laterales con el resto de las neuronas.

Ante una entrada  $E_K$ , la red evoluciona hasta una situación estable, en la que se activa la neurona vencedora ( $n_v$ ).



Características del aprendizaje:

Es de tipo OFF LINE.

No supervisado de tipo competitivo (los pesos de las conexiones se ajustan en función de la neurona vencedora).

**2.2.7. Algoritmo de Aprendizaje.** Inicializar vector de pesos  $W_{ji}$ , con valores aleatorios pequeños y fijar zona inicial de vecindad para las neuronas de salida. Presentar a la red la información de entrada (la que debe aprender) en forma de vector  $E(k)$ , donde sus componentes serán valores continuos.

Determinar cuál será la neurona ganadora ( $j^*$ ). Siendo ésta la que posea el vector de pesos  $W_j$  más parecido a la información de entrada  $E(k)$  (vector de entrada), para ello se recurre al cálculo de las distancias entre ambos vectores, considerando una a una todas las neuronas de salida. Utilizamos esta expresión que es similar a hallar la distancia Euclidiana entre los vectores:

$$d_j = \sum_1^N (e_i^{(k)} - W_{ji})^2 \quad 1 \leq j \leq M$$

*$e_i^{(k)}$  componente  $i$ -ésimo del vector  $K$  -ésimo de entrada  
 $W_{ji}$  peso de la conexión entre la neurona  $i$  de la capa de entrada  
y la neurona  $j$  de la capa de salida*

Una vez que ha sido localizada la neurona vencedora ( $j^*$ ), se actualizan las conexiones entre las neuronas de entrada y esta neurona. Lo que se consigue en este paso es asociar la conexión de entrada con una zona en la capa de salida.

$$W_{ji}(t+1) = W_{ji}(t) + \alpha(t) [e_i^{(k)} - W_{j^*i}(t)]$$

La zona  $j^*(t)$  es la zona de vecindad alrededor de la zona vencedora  $j^*$  en la que se encuentran las neuronas cuyos pesos son actualizados. El tamaño de esta zona puede reducirse en cada iteración del proceso de ajuste de los pesos (fig.6)

$\alpha(t)$  es un parámetro de ganancia, conocido también como coeficiente de aprendizaje, el cual posee un valor entre 0 y 1, decrece con el número de iteraciones ( $t$ ) del proceso de entrenamiento.

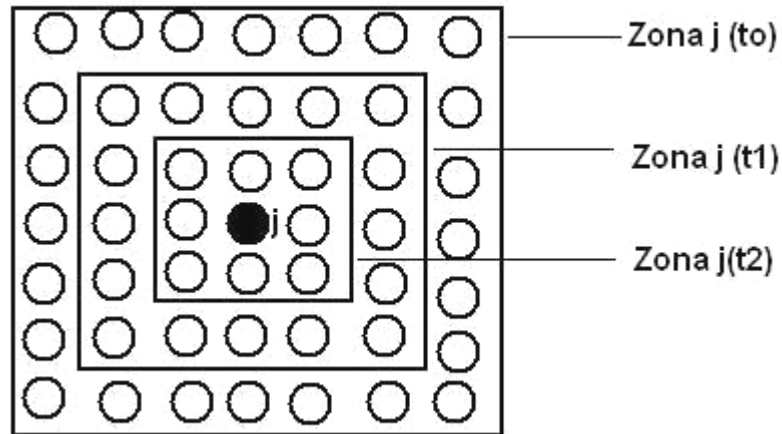


Figura 6. Posible evolución de la zona de vecindad

Cuando se considera un número de iteraciones considerable pertenecientes al rango ( $500 \leq t \leq 1000$ ) su valor se reducirá prácticamente a 0, lo cual hace que las modificaciones de los pesos se haga insignificante. Se acostumbra utilizar la expresión  $\alpha(t)=1/t$ . El proceso se debe repetir, volviendo a presentar el conjunto de patrones de entrada a los vectores de pesos un mínimo de 500 veces ( $t \geq 500$ ).[7]

## 2.3. ZONIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE RECURSOS

**2.3.1. Estructura como modelo a gran escala.** Las llamadas por servicio de la demanda son distribuidas, tanto en el tiempo como en el espacio, en forma estocástica, sobre el área de la ciudad o la red de ciudades. Para atender a cada una de las solicitudes se despachan una o más unidades de servicio, el tiempo de respuesta conformado por el tiempo de despacho y el tiempo de viaje son algunas de las medidas más importantes que definen la calidad del servicio.

Observaciones: Existen localizaciones fijas (hospitales) y móviles (patrullas). Se establece un sistema de prioridades. Se reconoce la importancia del tiempo de ocio, que se traduce en la utilización del recurso.

**2.3.2. Clasificación de recursos.** Los recursos responden a las características de los equipamientos<sup>7</sup> que se desean instalar y quién tiene que llevar adelante esta tarea; si las instalaciones son de servicio público o privado: La localización de servicios públicos debería responder al principio de “justicia o equidad espacial”, este principio tiene especial relevancia en el caso de los servicios ofertados por la Administración Pública, ya que son financiados por toda la población que, por lo tanto, tiene iguales derechos a usarlos en las mismas condiciones de acceso, como por ejemplo a hospitales, escuelas o bibliotecas públicas o estaciones de atención inmediata como bomberos o policía. Los servicios privados por su parte tienen como finalidad otro principio que es el de “eficiencia espacial”, su objetivo es obtener la mayor cantidad de beneficios posibles y por ello preferirán localizarse en aquellos lugares que alberguen la mayor cantidad de población o demanda. En otras palabras la eficiencia se ocupa de maximizar los resultados de unos recursos dados. Por lo tanto una distribución eficiente de los servicios maximizará su utilización por parte de los usuarios. En este caso los ejemplos son numerosos y se refieren a todo tipo de servicios por el cual él o los propietarios obtienen algún beneficio económico, cines, comercios, escuelas privadas, consultorios médicos de diferente índole.

**2.3.3. Políticas de localización de las unidades servidoras.** Las unidades que pueden ser ambulancias, bomberos, policías, hospitales, escuelas, colegios, son organizadas teniendo en cuenta:

- i. Número de unidades de cada tipo en cada horario.
- ii. La demanda determinada por el número de personas usuarias asignadas a cada unidad.
- iii. El área de servicio asignado a cada unidad (denominada distrito o zona). La unidad seleccionada será aquella que minimice la sumatoria de los costos de despacho, viaje y servicio.
- iv. La estructura de prioridades y la disciplina de colas.

---

<sup>7</sup> Los equipamientos urbanos son las construcciones fundamentales que conforman los puntos importantes de una concentración urbana, cuya existencia condiciona el buen funcionamiento global de las áreas residenciales comerciales e industriales de la ciudad

v. ¿Cuál unidad en particular se despacha a un incidente dado?

vi. Relocalización y preposicionamiento.

**2.3.4. Medidas de eficiencia.** Las medidas de eficiencia son los parámetros en los cuales se basa un distritamiento, éstas pueden ser: El Tiempo de respuesta, como función de la distancia metropolitana o euclidiana. Los Costos proporcionales a la distancia, velocidad y calidad del recurso. El Balance de cargas conforme a las capacidades de los recursos. La Probabilidad de error, conformidad ciudadana y prevención de accidentes.

### **2.3.5. Factores que influyen en las políticas de localización**

i. Recursos presupuestales.

ii. Naturaleza del uso de tierras (planeación), como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).

iii. Densidad y distribución de población demandante.

iv. Distribución en tiempo y espacio de llamadas

v. Tiempo de servicio, dedicado por la facilidad que atiende la demanda requerida.

### **2.3.6. Cálculo del tiempo de respuesta**

i. Tiempo de despacho. Un helicóptero requiere de un tiempo de despacho mayor al de una ambulancia o patrulla.

ii. Tiempo de viaje. Sujeto a la modalidad de recorrido euclidiano por aire o mar y

metropolitano por las calles de la ciudad.

Los despachos usualmente consisten en colas bajo varias disciplinas. Mediante el manejo de teoría de colas se puede obtener la distribución de probabilidad de los tiempos de despacho. El tiempo de viaje se obtiene de acuerdo con el área geográfica y la distribución espacial de las llamadas. Los modelos de tiempo de viaje son usualmente aproximados; no obstante, proporcionan una buena idea de la distribución de los valores.

### **2.3.7. Procesos espaciales.**

A. Las entidades están distribuidas sobre la ciudad en forma aleatoria con distribuciones uniforme, exponencial y sigmoideal.

B. Las entidades pueden ser:

i. Empleados de un servicio particular

ii. Usuarios de un servicio social

iii. Unidades de emergencia como bomberos, ambulancias y CAIs<sup>8</sup>.

iv. Incidentes o delitos que requieren ser atendidos por las facilidades de servicio público.

Se requiere describir probabilísticamente el número de entidades en una sub-área dada y las interrelaciones espaciales entre las entidades.

### **2.3.8. Clasificación de los problemas de localización**

#### **2.3.8.1. Según el espacio**

Según el espacio en el que se desarrolla el problema estos pueden ser:

a. En una ciudad considerada como un plano.

b. En varias ciudades conectadas por vías de transporte conformando una red.

c. En un conjunto de puntos. Donde un número finito de puntos se consideran soluciones factibles.

#### **2.3.8.2. Según el número de localizaciones**

Teniendo en cuenta el número de localizaciones a realizar, se tienen:

a. Facilidad sencilla o única: Definido el distrito de demanda, encontrar la localización que optimice el costo de atenderla.

b. K facilidades (K es dado): Definidos los distritos encontrar las mejores localizaciones o definida la localización de las facilidades encontrar los distritos.

c. K facilidades (K es variable): Encontrar el número apropiado de facilidades y conformación de los distritos sujeto a las disponibilidades presupuestales.

---

<sup>8</sup> Centros de Atención Inmediata

### **2.3.8.3. Según la función objetivo**

Según la meta que se persigue, los objetivos pueden ser: Minimizar el costo promedio, Minimizar el máximo costo, Minimizar K (Número de facilidades).

### 3. DISEÑO Y MODELADO DE LA RED NEURONAL

#### 3.1. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS

Los datos de entrada son los encargados de darle marcha al algoritmo ajustado para la búsqueda de ubicación de las facilidades y de la organización de los distritos de servicio que se forman para servir a las demandas que se le estimen.

Los datos de entrada están compuestos por vectores de datos, los cuales representan posiciones cartesianas dentro del mapa digitalizado de la ciudad de Bucaramanga.

La estructura de red neuronal de Kohonen usada como base en el presente trabajo presenta una característica propia de organización, en la cual se distinguen dos tipos de capas.

**3.1.1 Capa de entrada.** Reciben la información proveniente del exterior de la red y se componen de dos elementos fundamentales de proceso, que se representan por dos vectores de coordenadas cartesianas tanto en X como en Y, que hacen referencia a la ubicación de cada una de los incidentes que utiliza como patrones de aprendizaje la red.

**3.1.2 Capa de salida.** Corresponde a la ubicación final de las facilidades y está constituida por los vectores coordenados y de población dado el caso, los cuales después del proceso de funcionamiento y actualización de pesos con respecto a los datos de la capa de entrada son ubicados en el mapa digitalizado de la ciudad de Bucaramanga.

### **3.2 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE RED**

El modelo de Kohonen implementado para el desarrollo del software opera mediante el continuo reordenamiento de los pesos iniciales o ubicaciones iniciales de las facilidades, producto de las comparaciones que hacen estos elementos con los de la capa de entrada. Lo anterior lleva a encontrar la organización de estos actores dentro de una posible óptima clasificación por zonas características, que difieren en tamaño una de otra por la distribución de la localización de los patrones de aprendizaje y los parámetros de velocidad y tiempo de mora de cada facilidad, así como la distribución de los valores iniciales de ubicación para las facilidades asignados a los pesos de las conexiones entre las capas que componen la red.

En el proceso de diseño de la arquitectura de la red se tuvieron en cuenta parámetros, como el tipo de recurso, aceptación, criterios de decisión, estado actual, tiempo de mora en atender, tipo de recorrido(Véase Figura 7).

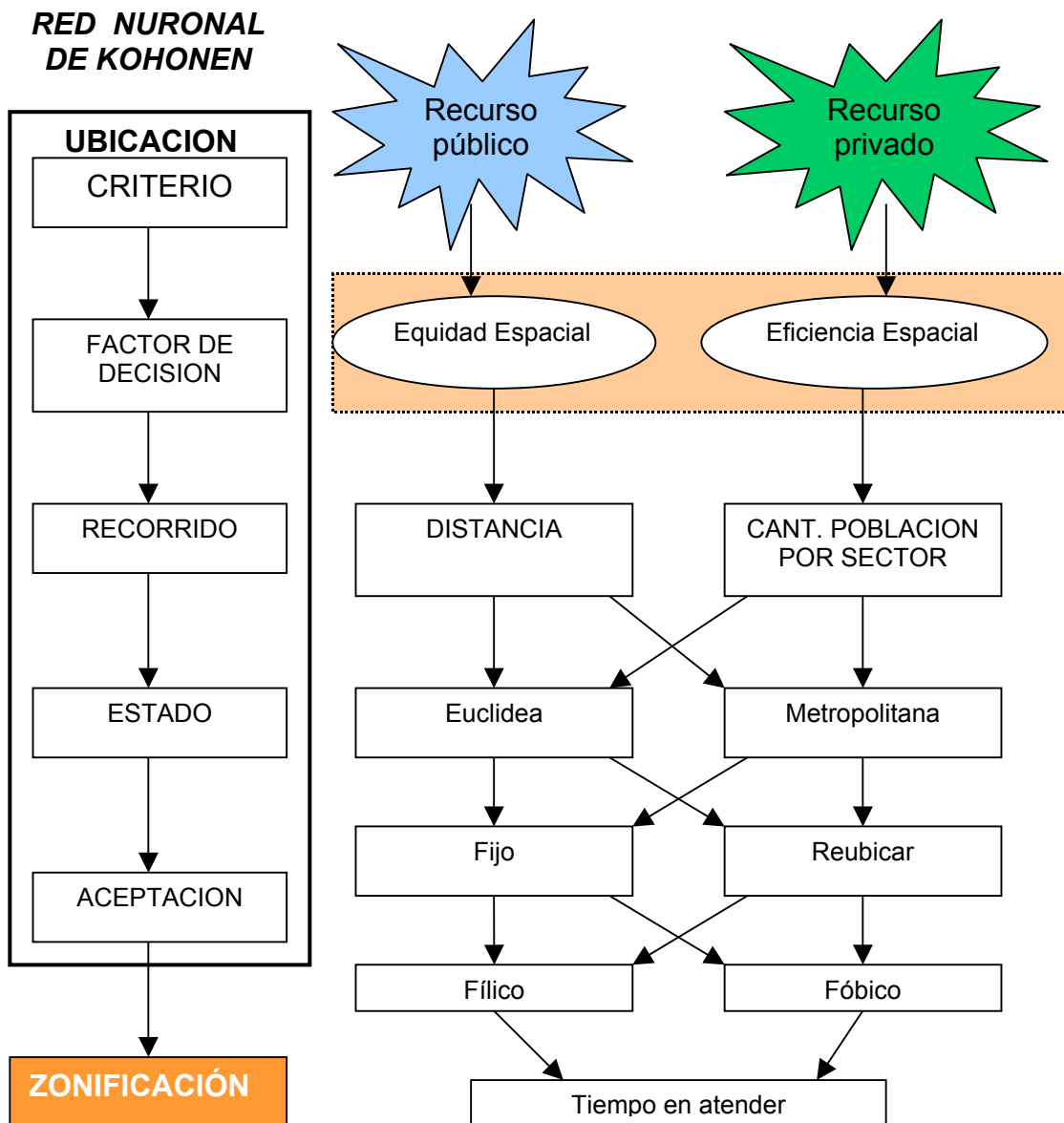


Figura 7. Diagrama de especificaciones del sistema

La salida generada por el sistema se caracteriza por crear zonas de características comunes con respecto a los patrones con los cuales fue entrenada. Esta organización por sectores generada al final del proceso se aprecia en una representación de tipo grafico, para la cual se genera un mapa donde las zonas se distinguen por colores, lo que permite de una manera sencilla y cómoda visualizar el entrenamiento de la red como una solución óptima para el distritamiento de los recursos en estudio.

Resulta importante tener en cuenta que los resultados obtenidos son producto de la interacción de un número de variables que son posibles de incluir en el modelo desarrollado. Con el siguiente gráfico (Véase Figura 8) se describe el universo de posibles estados para los cuales se pueden obtener resultados con el software. Por ejemplo: Un escenario de distritamiento puede ser el siguiente: Distritar recursos públicos cuya aceptación es Fílica, su estado actual sea fijo, es decir, no se pueden reubicar (solo se obtendrá el distritamiento, la red no actuará en la reubicación) y su recorrido sea metropolitano (todas las facilidades se mueven por calles y carreras, como ambulancias).

Los resultados nos mostrarían los distritos actuales de las facilidades que se encuentran ubicadas en los puntos asignados inicialmente. Estos nos permitirían identificar la capacidad o el área de atención de cada distrito, para generar un posterior escenario partiendo de la ubicación dada, ubicando nuevamente estas facilidades solo cambiando el estado actual de “fijo” a “no fijo” (Reubicar), para observar el cambio de las facilidades a una óptima ubicación y generando una nueva zonificación de áreas, con el fin de establecer diferencias en la implantación de estos recursos o la posibilidad de implantar otros, que permitan cumplir con la demanda planteada, también es posible generar un nuevo escenario con otras facilidades que permitan complementar y cubrir la demanda, generando un escenario que contenga una o dos facilidades más para los objetivos planteados permitiendo simular el número de escenarios deseados para obtener una óptima respuesta.

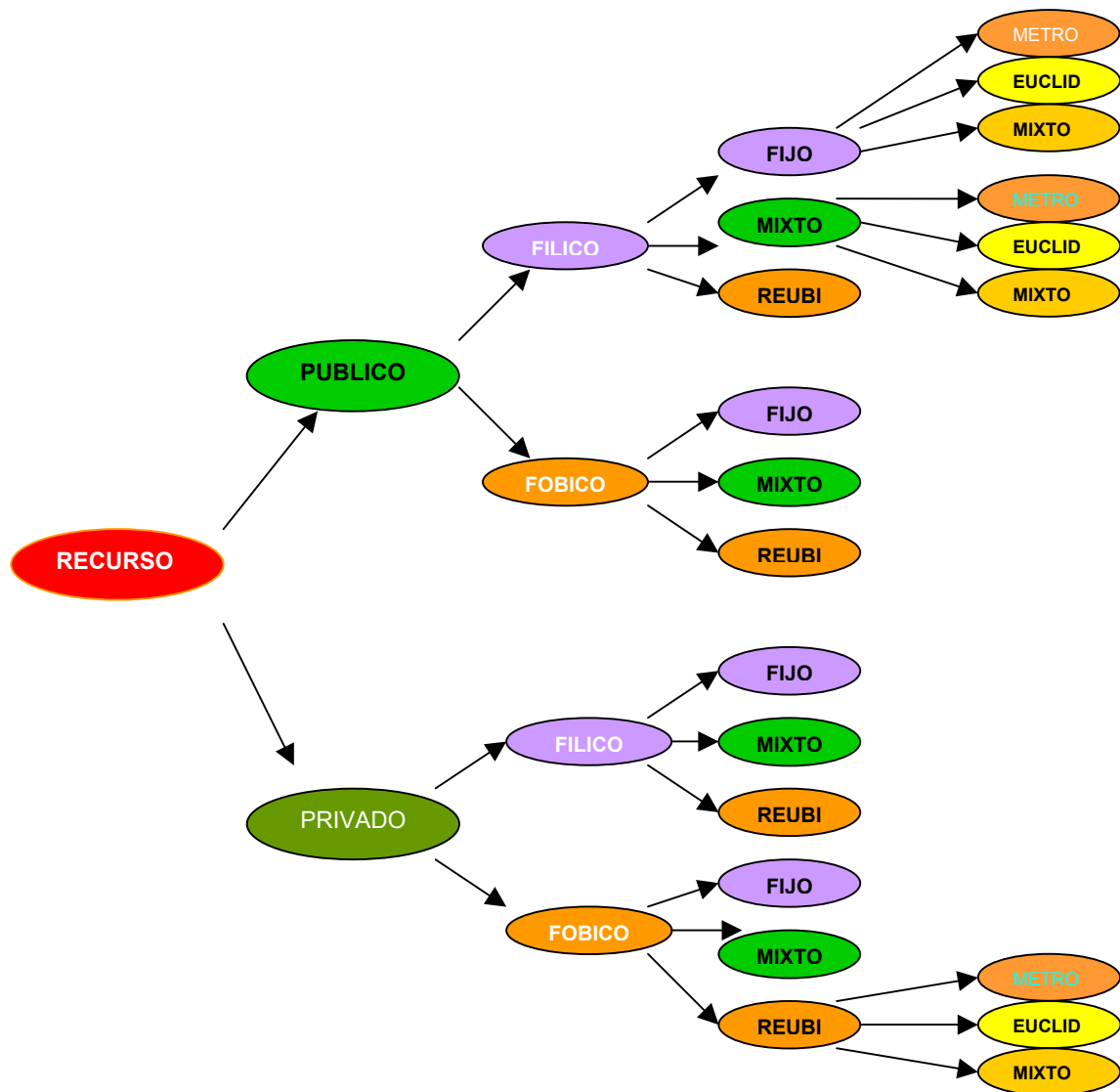


Figura 8. Diagrama de posibles escenarios para la ubicación de recursos.

Según el anterior grafico se pueden generar 36 escenarios de simulación en los cuales el número de facilidades e incidentes dependerá de la población y las características del estudio.

**3.2.1 Arquitectura para la ubicación de recursos públicos.** Una de las características que marcan diferencia dentro de la manera en que se implementó la herramienta, es la posibilidad que se tiene para diferenciar la obtención de zonas de servicio para equipamientos de tipo público y privado. Para la primera se toma como parámetros de comparación entre las neuronas de las capas de entrada y de salida el posicionamiento espacial de los patrones de entrenamiento y la ubicación inicial de las facilidades, ya que se

parte de la premisa que los servicios de tipo público deben estar localizados bajo criterios de equidad espacial, lo cual se puede entender como la localización del recurso, de tal manera que esté ubicado a la menor distancia posible de todos los puntos que demandan su servicio cubriendo el espacio de estudio, como se muestra en la figura 9, los pesos  $W_{ij}$  se actualizan según los parámetros de distancia, teniendo en cuenta como criterio de decisión al incluir velocidades y tiempos de mora, el tiempo total en atender el incidente de cada facilidad.

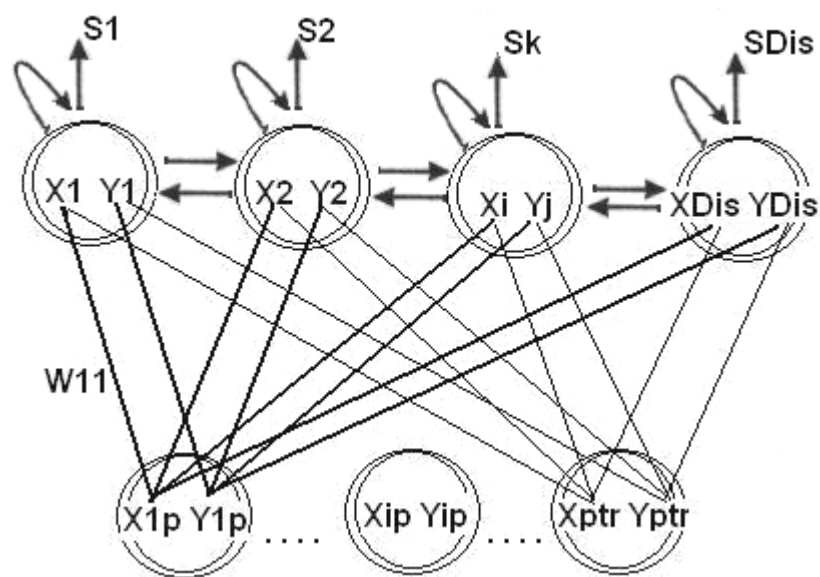


Figura 9. Arquitectura de red para la ubicación de recursos públicos

**3.2.2 Arquitectura para la ubicación de recursos privados.** La característica que tienen los recursos privados para ser tenida en cuenta al momento de buscar el distritamiento de esta clase de recurso, se realiza bajo criterio de eficiencia espacial, donde el manejo del algoritmo de creación de distritos se basa en cálculos que tienen en cuenta la diferencias entre las densidades de población, ya que la existencia de esta clase de recursos se encamina a la prestación del servicio para el mayor número de personas por unidad de área (Véase figura 10).

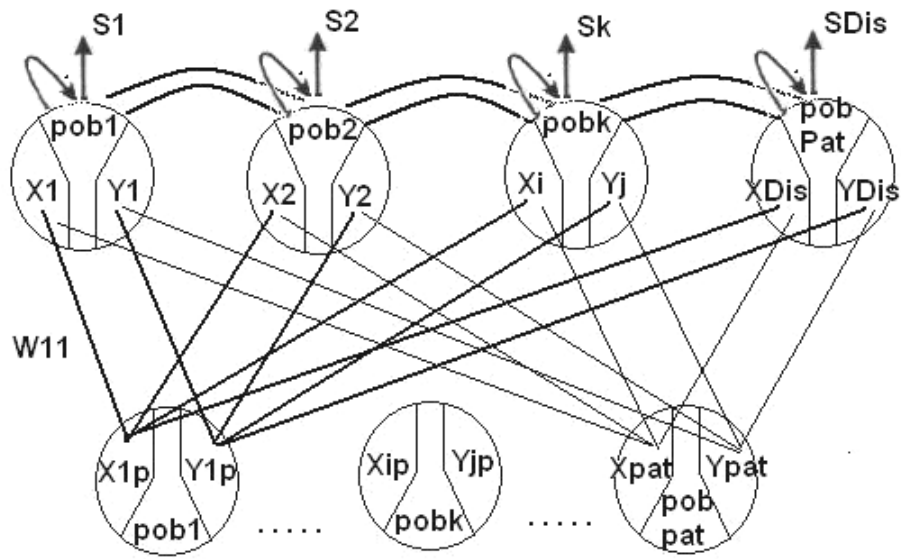


Figura 10. Arquitectura de red para la ubicación de recursos privados

En la figura 10 podemos observar que los pesos  $W_{ij}$  se actualizan según los parámetros de distancia de la neurona ganadora, teniendo en cuenta como criterio de decisión la población a ser atendida en cada incidente, según la capacidad de cada facilidad.

## **4. METODOLOGÍA DE DESARROLLO SOFTWARE**

Para el desarrollo del presente software, se aplicó la técnica de desarrollo software conocida como *Prototipado reutilizable o evolutivo*, ya que se fue mejorando la base de trabajo desarrollada para la solución de problemas de poca complejidad como las pruebas realizadas en este trabajo como “pruebas de rejilla” (capítulo 6).

Los resultados obtenidos con dichas pruebas fueron tomados como inspiración para aplicaciones de mayor complejidad donde las zonas de trabajo eran irregulares, como el caso de imágenes de mapas; el modelo fue creciendo mediante la inclusión de nuevas variables que intervienen en los posibles escenarios según el tipo de recurso que se quiera analizar mediante esta herramienta.

### **4.1. DESCRIPCIÓN PROTOTIPO INICIAL**

En el desarrollo e implementación del primer prototipo o prototipo inicial se implementó la red de Kohonen para la ubicación de puntos en un plano o fondo, sin tomar en cuenta los criterios establecidos anteriormente, solo para la solución de problemas de distancia con generación aleatoria de datos para las pruebas de la red, teniendo en cuenta el tipo de recorrido como se muestra en el documento Anexo A (Artículo presentado a la CIIC2003 “Conferencia Internacional de Inteligencia Computacional y publicado en la revista DINA indexada por COLCIENCIAS)

### **4.2. DESCRIPCIÓN PROTOTIPO FINAL**

En el desarrollo e implementación del primer prototipo final se implementó la red de Kohonen para la ubicación de puntos en un plano o fondo, teniendo en cuenta los criterios y parámetros establecidos en los objetivos propuestos, una descripción mas detallada la podemos observar en el capítulo 5.

### 4.3. MODELO DE FLUJO DE DATOS

Para representar este modelo se organizaron los procesos que componen el sistema en un diagrama de operatividad simplificado, donde se resaltan los procesos necesarios para conseguir que la información de la cual se alimenta el sistema sea tratada con el fin de obtener los resultados para los que fue diseñado.

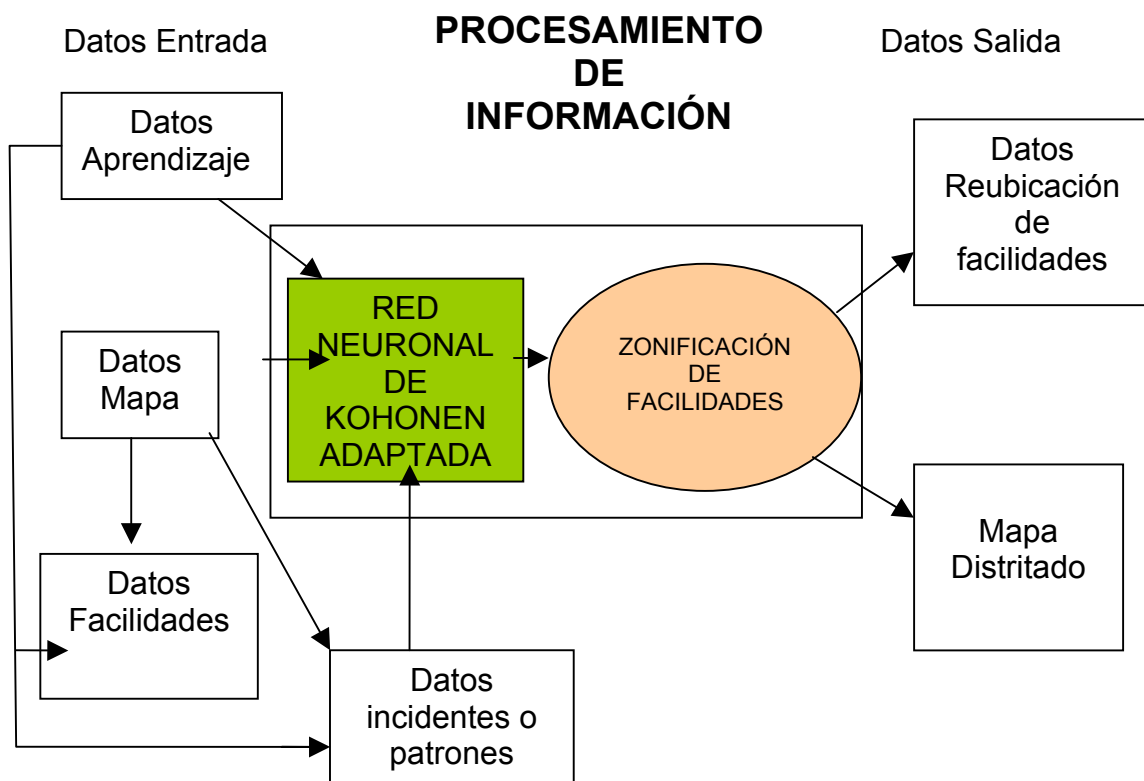


Figura 11. Diagrama de flujo de datos

## **5. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE “NEURAL NET DISTRICT VERSIÓN 1.0” (NND1.0).**

El software implementado constituye el prototipo final del ciclo de vida del software para este proyecto en el cual se adoptó la metodología de prototipado incremental o evolutivo (capítulo 4).

Se desarrolló con el lenguaje de programación DELPHI Versión 5.0, herramienta de alto nivel que permitió con gran versatilidad y eficiencia la implementación del algoritmo principal, interfaz y el modelo de Red Neuronal de Kohonen adaptada a los parámetros y factores definidos en los objetivos propuestos, se realizó una descripción detallada de cada uno de los Módulos empleados para el desarrollo de la aplicación y el cumplimiento de los objetivos propuestos.

El software “NND versión 1.0” contiene 7 Módulos representados en 7 unidades dentro de la herramienta DELPHI 5.0.

## 5.1. MÓDULO PRINCIPAL

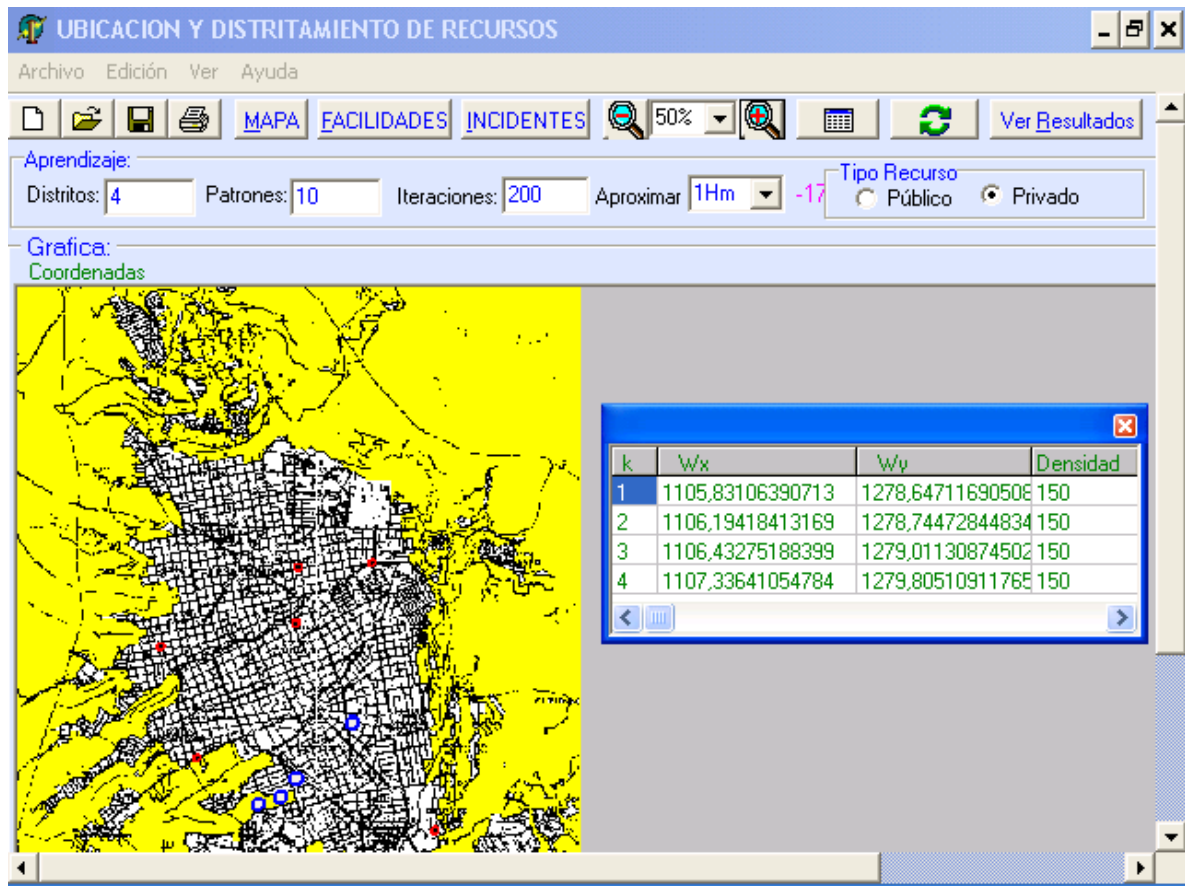


Figura 12. Ejemplo de distritamiento

El Módulo Principal enmarcado en la unidad ALGOR\_BASE, constituye el Algoritmo base o Red Neuronal de Kohonen, cuya interfaz se divide en cuatro partes:

1. Menú principal:

1.1 *Archivo: posee las siguientes opciones :*

1.1.1 Nuevo: permite reiniciar un nuevo distritamiento.

1.1.2 Abrir: Permite cargar los datos necesarios para un distritamiento, tales como los Datos del Mapa (Abre el mapa con extensión \*.bmp y las coordenadas máximas y mínimas del mapa para referenciar las coordenadas de cada uno de los puntos del distritamiento).

1.1.3 Guardar: permite guardar todos los datos utilizados para el distritamiento, así como los resultados del mismo en un formato de tablas tipo Paradox con extensión \*.DB, el mapa se guarda con un formato de tipo \*.bmp, ya distritado.

- 1.1.4 Guardar como: permite guardar o cambiar el nombre a los datos abiertos o cargados para uso posterior con el fin de proteger los datos inicialmente utilizados.
- 1.1.5 Imprimir: despliega la Unidad o Módulo de Impresión IMPRIMIR\_DATOS. (Capítulo 5).
- 1.1.6 Salir: termina o finaliza la aplicación.

### 1.2 Edición:

- 1.2.1 Ubicar Facilidades en el Mapa: despliega la unidad o módulo de ubicación de puntos en el mapa o módulo de referenciación para la ubicación de facilidades (Capítulo 5)
- 1.2.2 Ubicar Incidentes en el Mapa: despliega la unidad o módulo de ubicación de puntos en el mapa o módulo de referenciación para la ubicación de incidentes (Capítulo 5).

### 1.3 Ver:

- 1.3.1 Zoom Más: permite ampliar o expandir las dimensiones del mapa para determinado porcentaje en cualquier momento del desarrollo de la aplicación.
- 1.3.2 Zoom Menos: Permite contraer o reducir las dimensiones del mapa para determinado porcentaje en cualquier momento del desarrollo de la aplicación.

### 1.4 Ayuda:

- 1.4.1 Funcionamiento Neural Net District: presenta el manual de funcionamiento y utilización de la aplicación.

## 2. Barra de Herramientas: presenta los siguientes botones:

- 2.1 *Nuevo*: permite reiniciar un nuevo distritamiento.
- 2.2 *Abrir*: carga lo datos necesarios para un distritamiento, tales como los datos del mapa (abre el mapa con extensión .bmp y las coordenadas máximas y mínimas del mapa para referenciar las coordenadas de cada uno de los puntos del distritamiento).
- 2.3 *Guardar*: permite guardar todos los datos utilizados para el distritamiento, así como los resultados del mismo en un formato de tablas tipo Paradox

con extensión \*.DB, el mapa se guarda con un formato de tipo \*.bmp, ya distritado.

- 2.4 MAPA: despliega la unidad o módulo de DATOS\_MAPA (Capítulo 5).
  - 2.5 FACILIDADES: despliega la unidad o módulo de Impresión DATOS\_FACILIDADES. (Capítulo 5).
  - 2.6 INCIDENTES: despliega la unidad o módulo de Impresión DATOS\_INCIDENTES. (Capítulo 5).
  - 2.7 ZoomMin: contrae o reduce las dimensiones del mapa para determinado porcentaje en cualquier momento.
  - 2.8 ZoomMax: amplía o expande las dimensiones del mapa a determinado porcentaje en cualquier momento.
  - 2.9 UBICAR: corresponde a la fase de funcionamiento de la red en la cual se ubican o reubican las facilidades con respecto al modelo de red y los parámetros y criterios establecidos (capitulo 3).
  - 2.10 ZONIFICAR: realiza el proceso de zonificación, calculando el distritamiento de cada punto en el mapa con respecto a la ubicación final de las facilidades reubicadas y a los parámetros de distritamiento de cada facilidad (capitulo 3), permitiendo mostrar el mapa inicial con los resultados del distritamiento con los distritos coloreados para su posterior análisis o impresión, en formato \*.bmp, mostrando las ubicaciones finales en una Tabla Flotante(puede moverse de la ubicación inicial o cerrarse si es necesario)
  - 2.11 Ver Resultados: muestra la tabla flotante en el último lado de la pantalla donde fue cerrada.
- 
3. Fase de Aprendizaje: recibe los datos de la fase de aprendizaje; la cantidad de distritos, el número de patrones, el número de iteraciones para la evolución de la Red así como el tipo de recurso a distritar.
  4. Gráfica: en esta área se muestra el Mapa sobre el cual se realiza la aplicación o distritamiento, una vez distritado se puede mostrar haciendo clic derecho sobre la gráfica información acerca del punto coordinado sobre el cual se mueve el Mouse, datos como las coordenadas del punto referenciadas con respecto al mapa, el distrito al cual pertenece y la demora en tiempo según los criterios y parámetros establecidos (capitulo 3).

## 5.2. MÓDULO DATOS MAPA

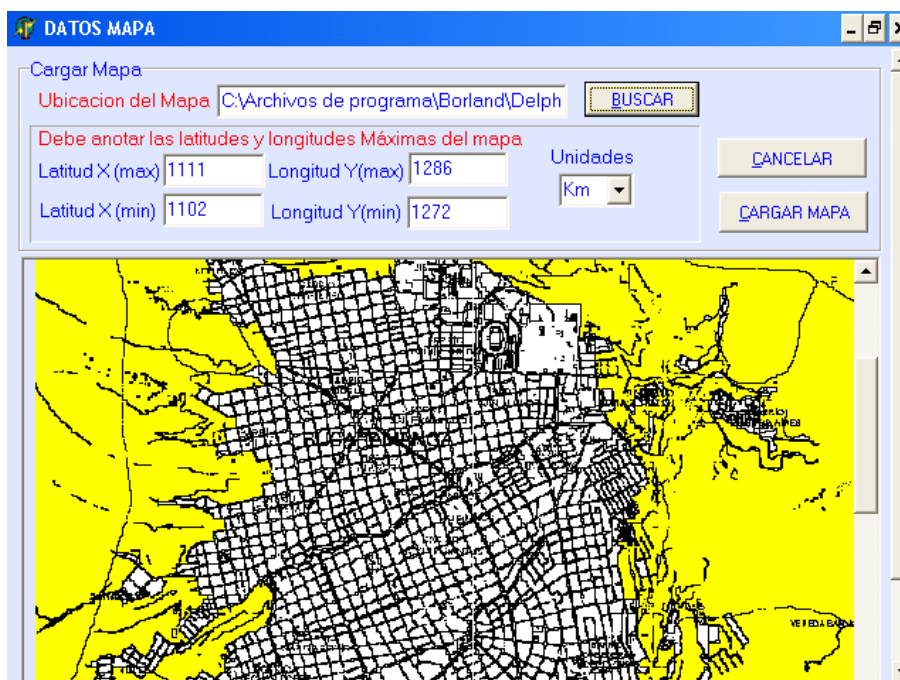


Figura 13. Ventana para cargar el mapa

El Módulo de datos mapa contenido en la unidad DATOS\_MAPA captura y carga los datos necesarios para referenciar los puntos y coordinarlos de acuerdo a las unidades en las cuales fue creado el mapa, tomando los datos de latitudes máxima y mínima en X, así como las longitudes máxima y mínima en Y. Los siguientes botones permiten la captura del mapa:

1. Buscar: permite encontrar la ubicación del mapa a distritar desplegando un cuadro de diálogo para seleccionar el mapa en formato \*.bmp.
2. Aceptar: permite cargar el mapa ubicado en el área de visualización del mismo módulo y en el módulo principal, así como en el módulo de referenciación (Capítulo 5).
3. Cancelar. hace que se omita la carga y captura de los datos del mapa.

### 5.3. MÓDULO DATOS FACILIDADES

**DATOS DE FACILIDADES (ESTACIONES O CENTROS DE DISTRITOS)**

ASIGNA DATOS A TODAS LAS FACILIDADES

Si las facilidades son del mismo tipo, llene los siguientes datos y haga click en GENERAR.  
Las ubicaciones iniciales son generadas aleatoriamente en el centroide del mapa.

Aceptación

Fílico (Deseables por la comunidad)  Fóbico (No deseables por la comunidad)

Tipo de Recorrido:  Velocidad Media:  Km/h Tiempo Despacho:  Mins Estado Actual:  Capacidad Población:

Puede modificar los datos de cualquier facilidad haciendo click en la celda..

Número	Latitud	Longitud	Velocidad	Demora	Recorrido	Estado Actual	Capacidad
1	1105,831063	1278,647116	40	15	Metropolitano	Fijo	150
2	1106,194184	1278,744728	40	15	Metropolitano	Fijo	150
3	1106,432751	1279,011308	40	15	Metropolitano	Fijo	150
4	1107,336410	1279,805109	40	15	Metropolitano	Fijo	150

Figura 14. Ventana para asignar datos a las facilidades

En el módulo de datos facilidades contenido en la unidad DATOS\_FACILIDADES. Se toma el tipo de aceptación del recurso, el cual es asignado internamente a todas las facilidades en el distritamiento (capítulo 4), dicho modulo se divide en dos partes, una donde se generan los datos de forma directa por la aplicación y otra donde se pueden capturar, editar o abrir de distritamientos anteriores realizados con esta aplicación, los siguientes botones de acción describen el proceso:

1. Generar: si las facilidades son del mismo tipo, editando los cuadros de texto para los parámetros de Tipo de Recorrido, Velocidad Media de las Facilidades y el Tiempo de demora en atender los incidentes, el estado actual de las facilidades (si son fijos o se pueden reubicar) y la capacidad de población de cada facilidad ,si el tipo de recurso es privado, el botón creará datos en donde las ubicaciones iniciales son generadas aleatoriamente en el centroide del mapa, visualizados en la tabla inferior, en la cual se pueden editar los datos de forma independiente para cada facilidad.
2. Ubicar Facilidades en el Mapa: este botón despliega la pantalla del módulo de referenciación de puntos (Véase Numeral 5.1.5).
3. Abrir: permite buscar y cargar los datos desde un archivo de extensión \*.DB
4. Aceptar: toma y asigna los datos al algoritmo o red neuronal.

5. Cancelar: no permite la asignación de los valores capturados en pantalla a la red neuronal.

#### 5.4. MÓDULO DATOS INCIDENTES

Número	Latitud	Longitud	Pop x Manza
1	1107,648275	1282,083333	150
2	1106,468965	1282,013888	150
3	1105,925862	1275,638888	150
4	1106,437931	1281,222222	150
5	1103,737931	1276,583333	150

Figura 15. Ventana para asignar datos de incidentes

El módulo de datos incidentes contenido en la unidad DATOS\_INCIDENTES permite realizar la generación y captura de datos; generando los datos de acuerdo a una distribución uniforme, exponencial o sigmoidal de las coordenadas de ubicación de cada uno de los puntos de incidencia o puntos de demanda o patrones para la red, así como la población por manzana (Unidad Fundamental en el Plan de Ordenamiento Territorial), este módulo se divide en dos partes, una donde se generan los datos de forma directa por la aplicación y otra donde se pueden capturar, editar o abrir los distritamientos anteriores realizados con esta aplicación, operando los siguientes botones de acción:

1. Generar: si los incidentes son del mismo tipo, seleccionando el tipo de distribución (Uniforme, Exponencial o Sigmoidal) para las coordenadas de cada incidente y la capacidad de población de cada facilidad, este botón genera y visualiza los datos en la tabla inferior de acuerdo a los parámetros establecidos, en la cual se pueden editar los datos de forma independiente para cada incidente.

2. Ubicar Incidentes en el Mapa: este botón despliega la pantalla del módulo de referenciación de puntos (Véase Numeral 5.1.5).
3. Abrir: permite buscar y cargar los datos desde un archivo de extensión \*.DB
4. Aceptar: toma y asigna los datos al algoritmo o red neuronal.
5. Cancelar: no permite la asignación de los valores capturados en pantalla a la red neuronal.

## 5.5. MÓDULO DE REFERENCIACIÓN

También se pueden capturar los datos de las facilidades de forma indirecta, es decir, mediante un proceso de edición sobre el mapa haciendo que se visualicen en la tabla los datos de las coordenadas del punto una vez capturado.

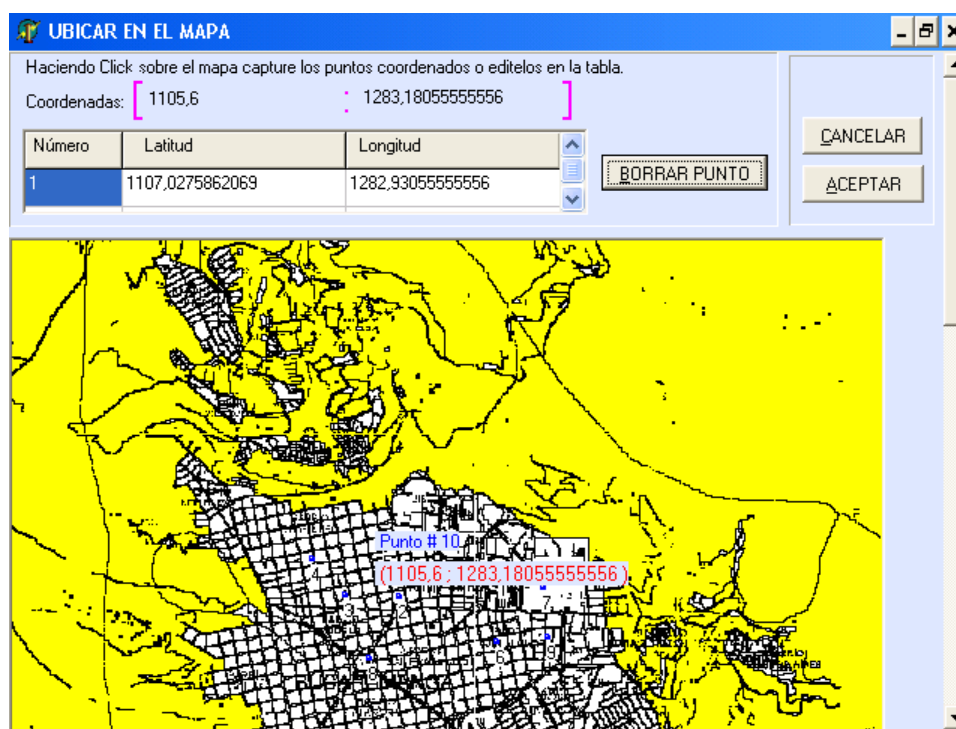


Figura 16. Captura de puntos sobre el mapa

Los siguientes botones describen el proceso de captura de datos:

1. Borrar Punto: permite borrar el punto inmediatamente capturado o todos si se hace indefinidamente.
2. Cancelar: cancela la toma de datos de coordenadas en el mapa.

3. Aceptar: captura los datos y los asigna a la tabla de incidentes o facilidades dependiendo del tipo de agente al cual se le realiza la acción.

## 5.6. MÓDULO DE AYUDA DEL NND 1.0

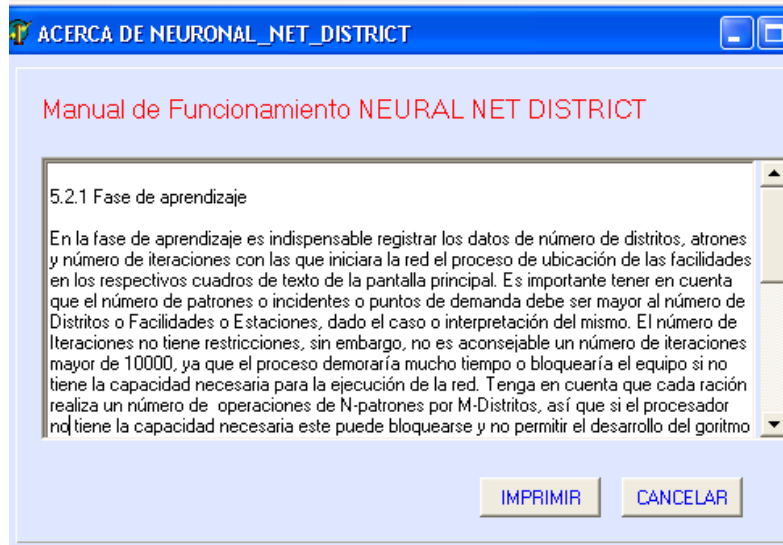


Figura 17. Ventana de ayuda de términos

Este módulo presenta el manual de funcionamiento de la aplicación y las sugerencias necesarias para que se pueda realizar cualquier distritamiento sin complicaciones o problemas de carácter técnico o científico.

## **6. PRUEBAS REALIZADAS**

Las pruebas realizadas al software están encaminadas a demostrar la eficacia del modelo de red y también proporcionar muestras de la utilidad de la aplicación corroboradas visualmente y de forma lógica según las reglas y políticas establecidas por el distritamiento y los recursos en cada prueba. Dentro del rango de pruebas realizadas encontramos las pruebas de rejilla o cuadrícula, las cuales nos pueden llevar a traslapar resultados a otros espacios como el Mapa de la ciudad de Bucaramanga sobre el cual se basan los objetivos de este proyecto.

### **6.1 PRUEBAS DE REJILLA**

Estas pruebas denominadas de rejilla son el soporte sobre la cual se investigó el funcionamiento del algoritmo, para tal fin se editó en Paint una rejilla de 5 x5 unidades, las cuales corresponden a las medidas máximas y mínimas que podrá tomar la rejilla, una vez es cargada (Véase figura 18) la rejilla junto con la selección de valores de longitud y latitud (máximas y mínimas) se procede a generar las facilidades dentro de la rejilla; éstas, tienen la libertad de ser generadas de manera aleatoria sobre el centroide del mapa o también ser introducidas por el usuario sobre una tabla que activa el módulo; una vez terminado este proceso, se necesita de la ubicación de los incidentes, que al igual que las facilidades pueden ser generados de manera aleatoria o ser de libre ubicación. Si los incidentes son generados de manera aleatoria, es posible seleccionar una de las tres distribuciones con las que cuenta el módulo, ahora ya es posible forzar a la red para que haga el proceso de evolución de los pesos por medio del botón de reubicar facilidades, ésto en lo que se refiere a la fase de aprendizaje. En las siguientes figuras se refleja el uso de las rejillas para un ejemplo de prueba y su posterior resultado distritado.

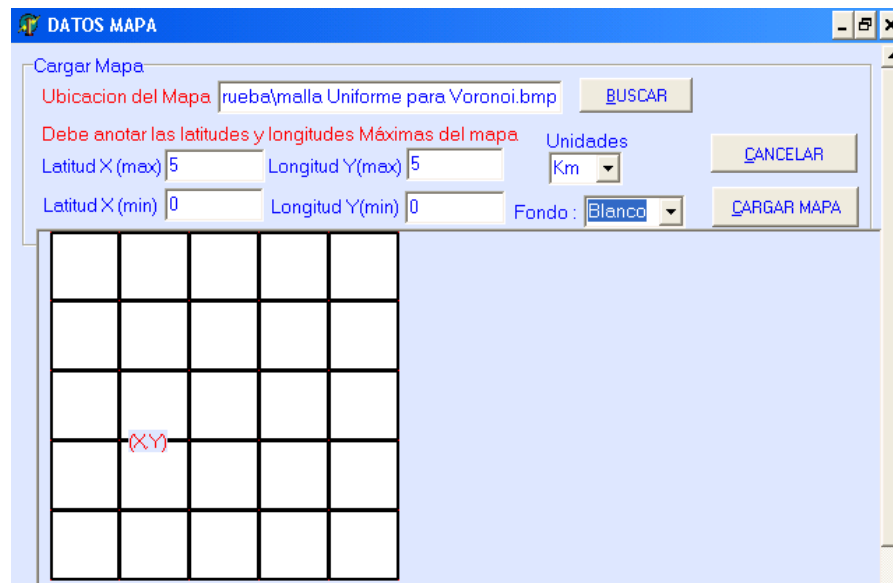


Figura 18. Pantalla de Datos Mapa

Tipo de recurso público, para todas tipo de recorrido metropolitano, todas las facilidades fueron reubicadas.

Todas tienen igual velocidad y el mismo tiempo de mora (Véase Figura 19. y Figura 20).

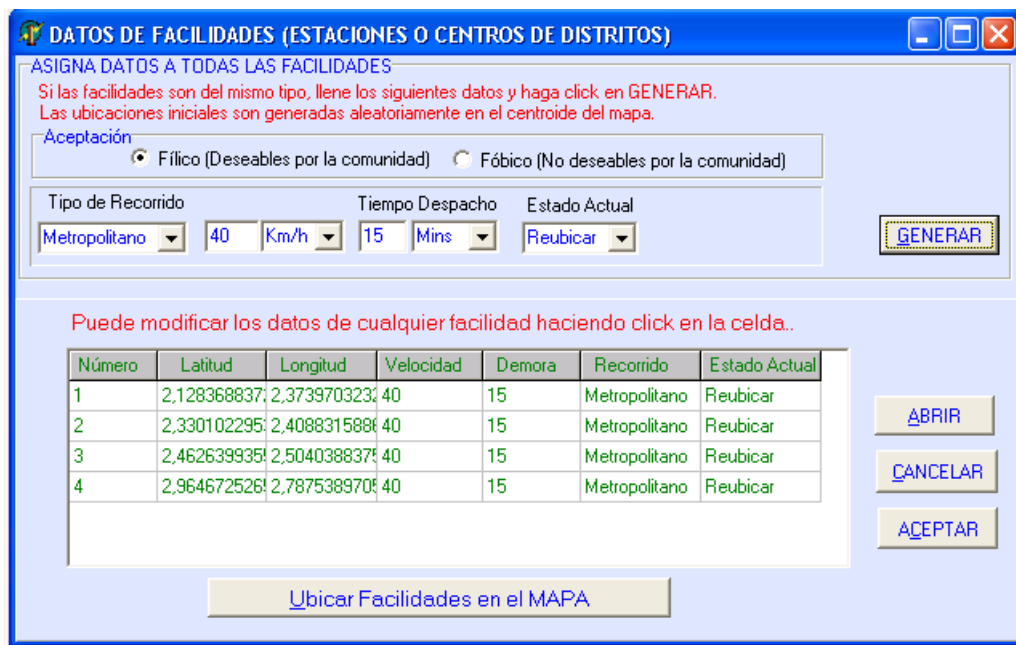


Figura 19. Pantalla de Datos de facilidades

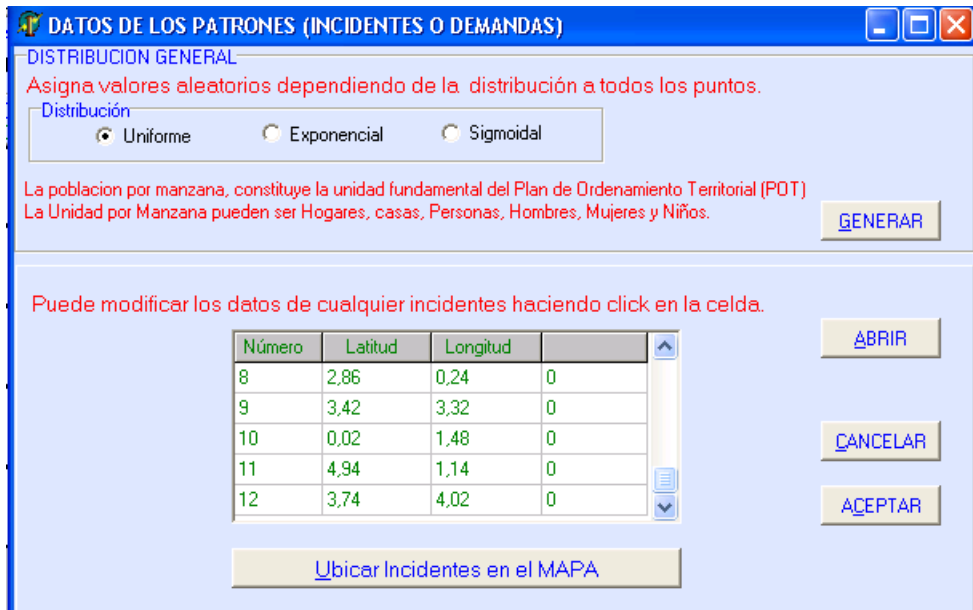


Figura 20 .Pantalla de Datos incidentes

Con los datos generados se procede a mostrar las ubicaciones iniciales (Véase Figura 21), en espera de iniciar la reubicación haciendo clic en el botón Ubicar que es el que da paso al trabajo de la red.

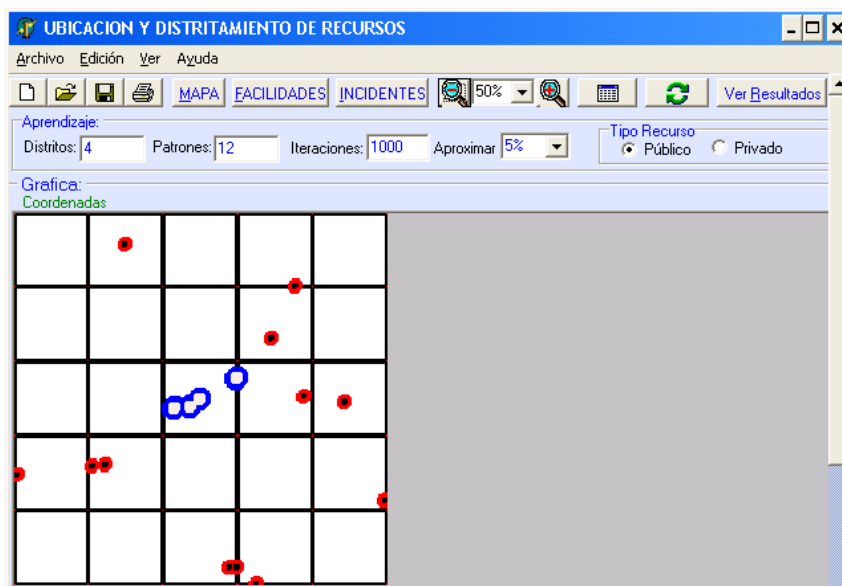


Figura 21. Pantalla de Ubicaciones iniciales

Ubicando las facilidades inicialmente y obtenemos los resultados(Figura 22).

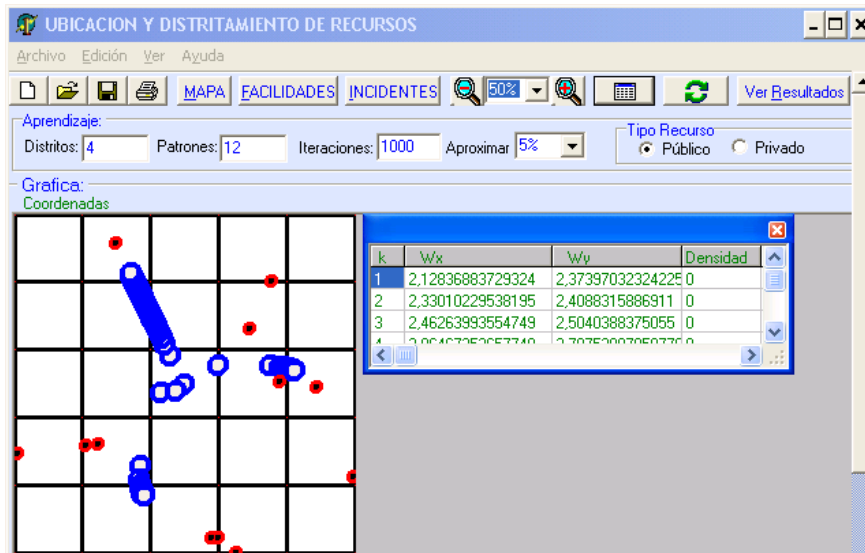


Figura 22 .Resultados de la ubicación para 1000 iteraciones

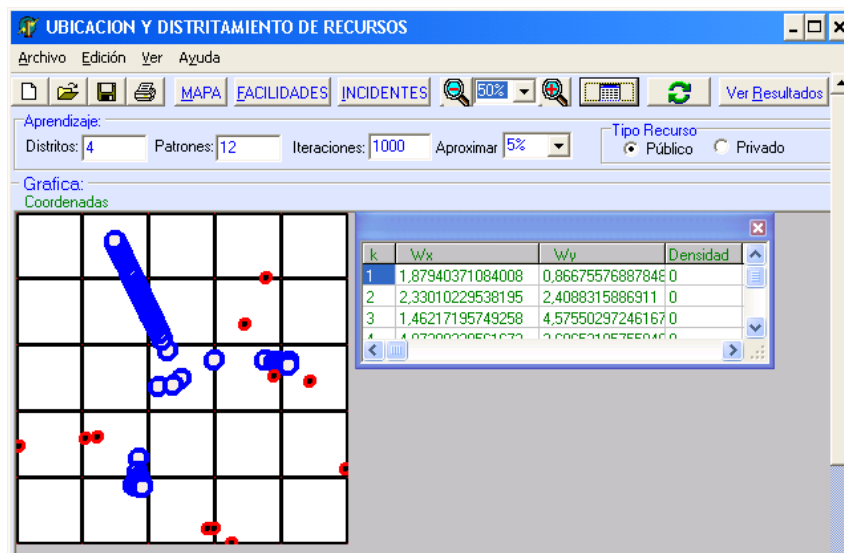


Figura 23. Resultados de la ubicación para 4000 iteraciones.

En este rango de iteraciones observamos que las facilidades de color azul ya no se mueven o no es representativo el corrimiento de coordenadas de cada uno, por cuanto se ha llegado a una ubicación óptima, según los patrones o incidentes generados, que en nuestro caso son doce.

Procedemos a distritar las ubicaciones de las facilidades para forzar a la zonificación del área de estudio, haciendo clic en el botón Zonificar, se obtiene el distritamiento (Véase Figura 24).

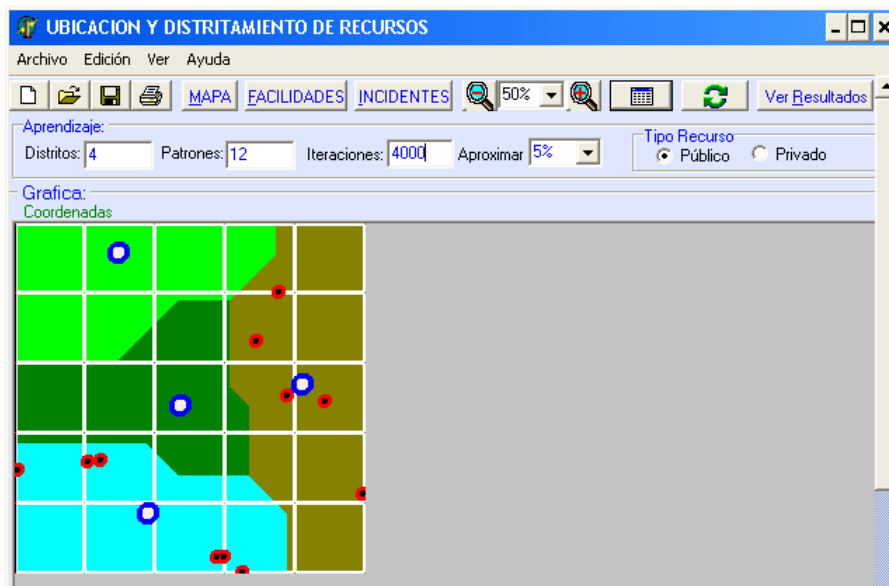


Figura 24. Resultados del Distritamiento.

Como podemos observar en la figura anterior las zonas o distritos son proporcionales a la distribución generada de incidentes. Aunque no se sienta que sea óptima.

A continuación se demuestra con la siguiente prueba la ubicación óptima para una rejilla con 4 facilidades ubicadas por el usuario en puntos alejados del centroide de la rejilla, hacia las cuatro esquinas (Véase Figura 25) y 16 puntos distribuidos por el usuario en los en intersecciones de la rejilla (Véase Figura 26)

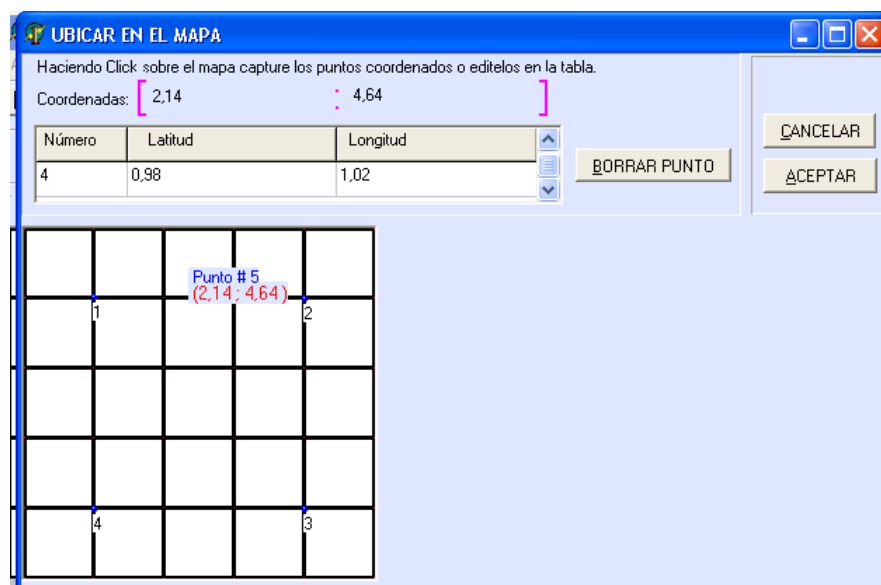


Figura 25. Ubicación de Facilidades en el Mapa

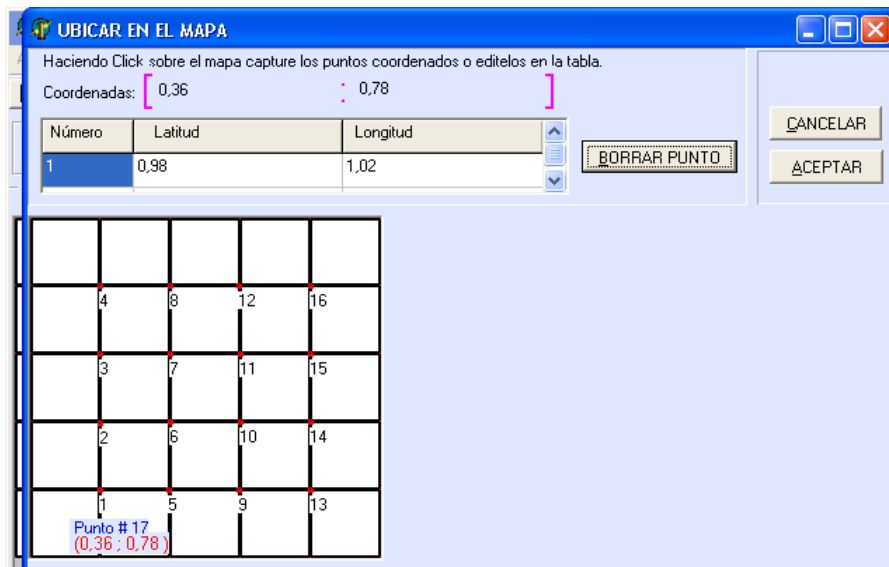


Figura 26. Ubicación de Incidentes en el Mapa

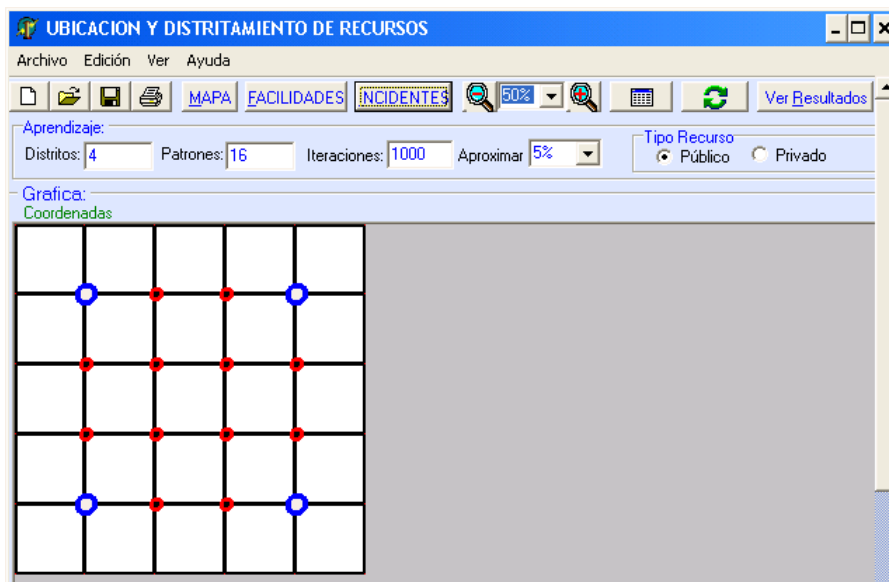


Figura 27. Asignación de facilidades e Incidentes en rejilla

Después de 1000 Iteraciones (Véase Figura 28)

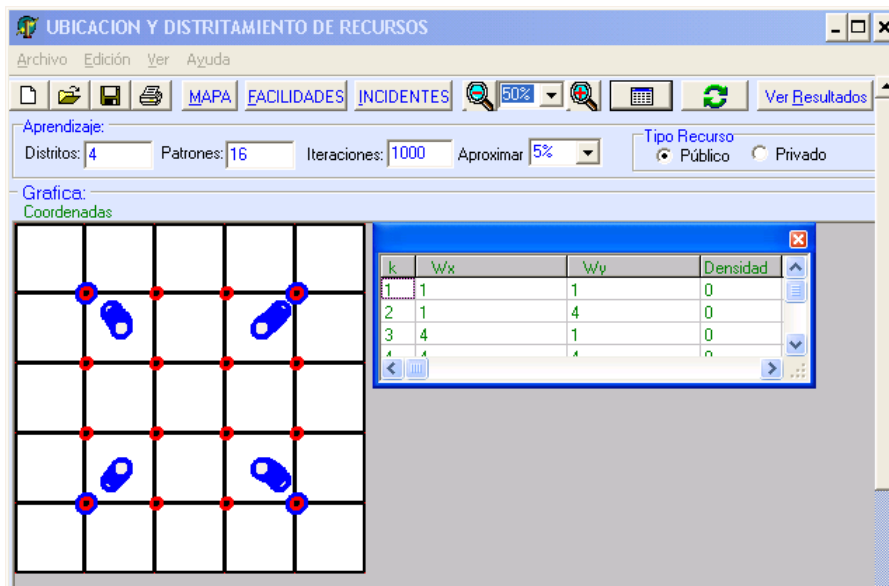


Figura 28. Ajuste de pesos de las neuronas

Después de 2000 iteraciones el movimiento de las facilidades no es significativo (Véase Figura 29).

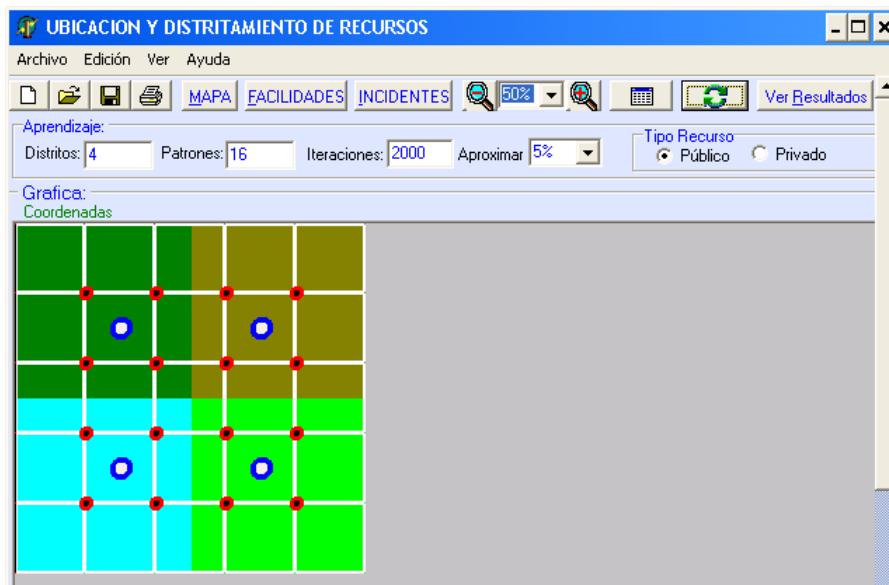


Figura 29. Distribución especial de facilidades e incidentes en la rejilla

A pesar de que el distritamiento es metropolitano, como los incidentes se encontraban distribuidos proporcionalmente a igual distancia uno del otro en el área de estudio, en la misma línea de coordenadas para las facilidades, forzando a zonificar cuadrados perfectos. La red ubicó los puntos en el lugar óptimo, donde por simple lógica, visualmente un humano con capacidades mínimas los ubicaría. Sin embargo, la ubicación inicial de las facilidades fue

dada por el usuario, lo cual llevaría al siguiente ejemplo, donde se generan aleatoriamente las facilidades en el centro de la rejilla (Véase Figura 30).

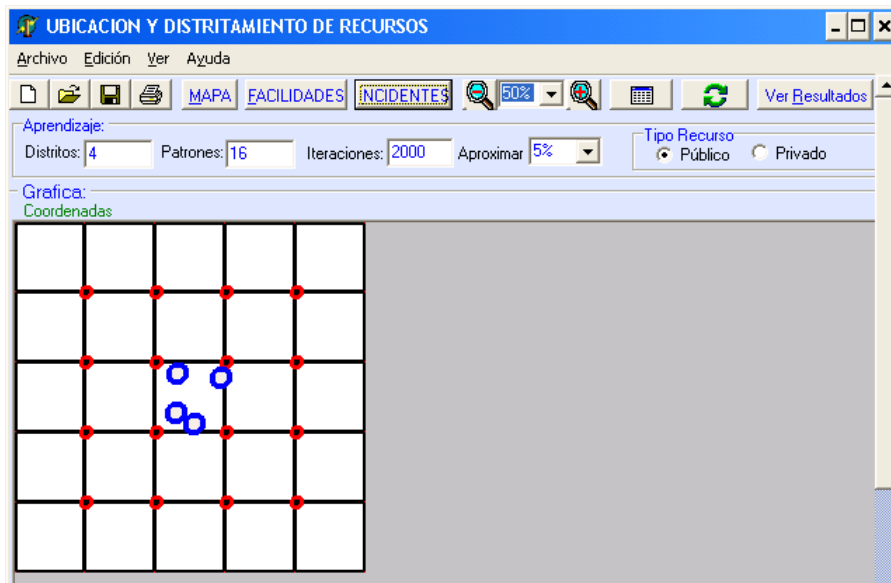


Figura 30. Distribución especial de los incidentes

Procedemos a observar si los resultados son los mismos de la prueba anterior: Para 2000 iteraciones(Véase Figura 31).

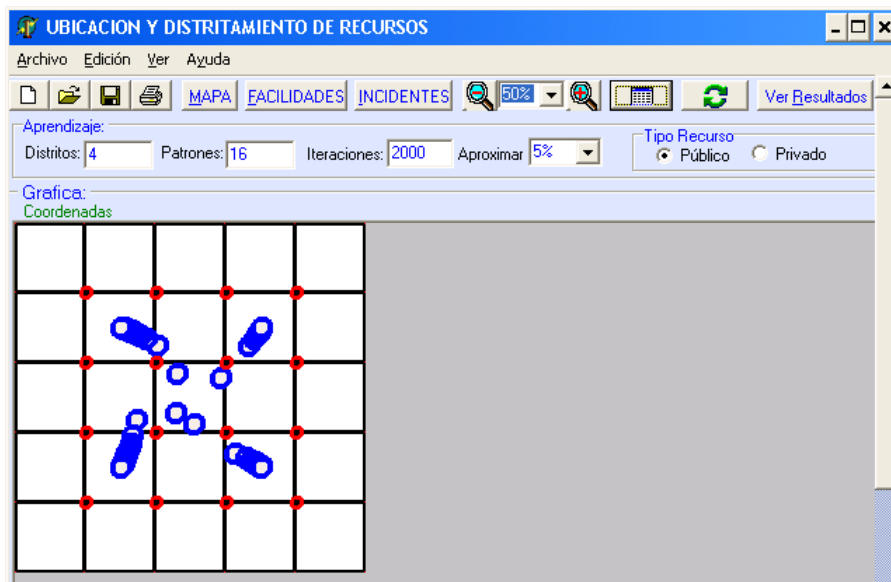


Figura 31. Organización de las facilidades según las ubicación de los distritos.

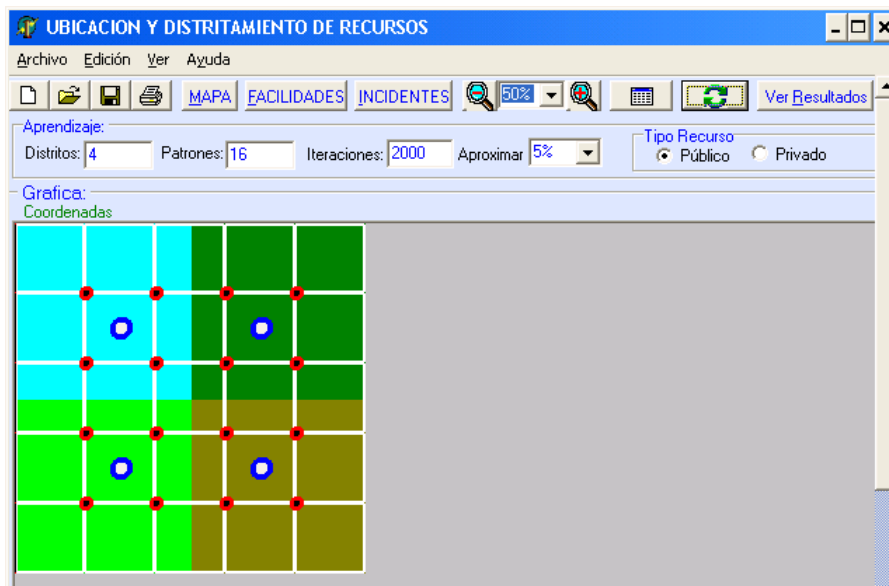


Figura 32. Resultado del distritamiento.

Los resultados son equivalentes en los dos casos(Véase Figura 32).

Sin embargo no en todos los casos el distritamiento es similar. Para las ubicaciones siguientes (Véase Figura 33).

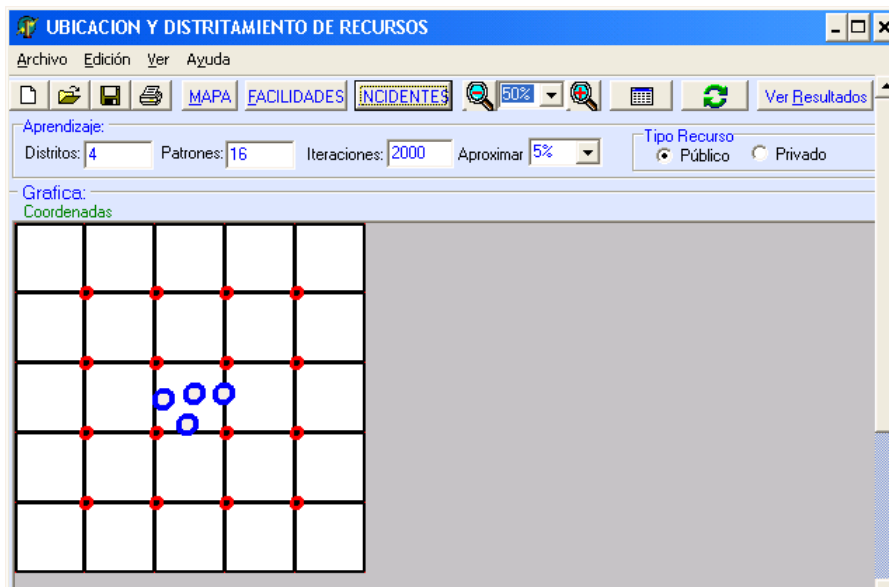


Figura 33. Prueba de rejilla con generación de facilidades aleatorias

Para la ubicación anterior de facilidades la red arroja otros resultados (Véase Figura 34)

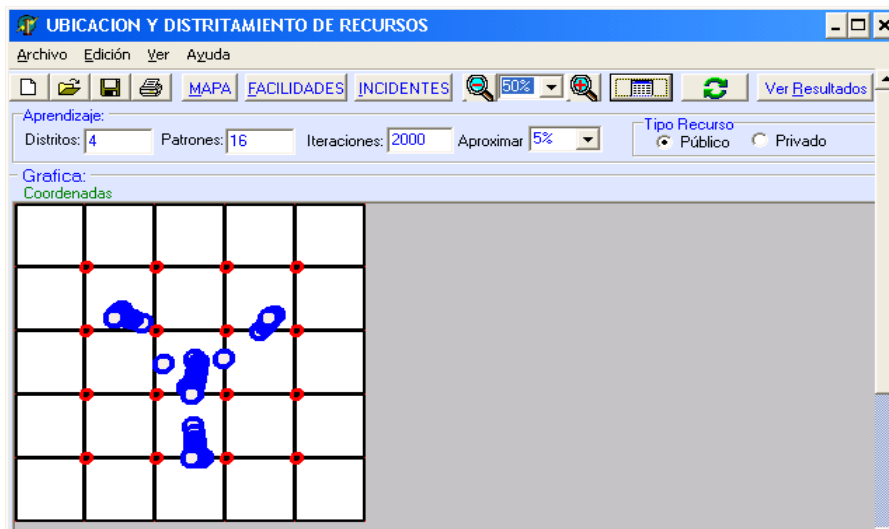


Figura 34. Organización de las facilidades con nueva ubicación de su punto de inicio.

Demarcando los siguientes distritos (Véase Figura 35):



Figura 35. Resultado del distritamiento para facilidades con generación aleatoria de su punto de inicio.

Donde podemos observar que aunque los distritos no son proporcionales en área, si lo son en demanda atendida, es decir el número de incidentes que atiende cada facilidad es igual, con una probabilidad de atención para cada distrito de 0.25. No se descarta la posibilidad de generar nuevos distritos en función de la demanda atendida, es decir, puede haber infinitos distritos de diferentes áreas distritadas con la misma probabilidad de atención. También se puede generar o ubicar N puntos de incidentes o facilidades en el mapa,

variando las velocidades y los tipos de recorrido para cada facilidad, veamos los siguientes resultados obtenidos por el Neural Net District 1.0: para dos facilidades con diferente tipo de recorrido, es decir distritamiento mixto.

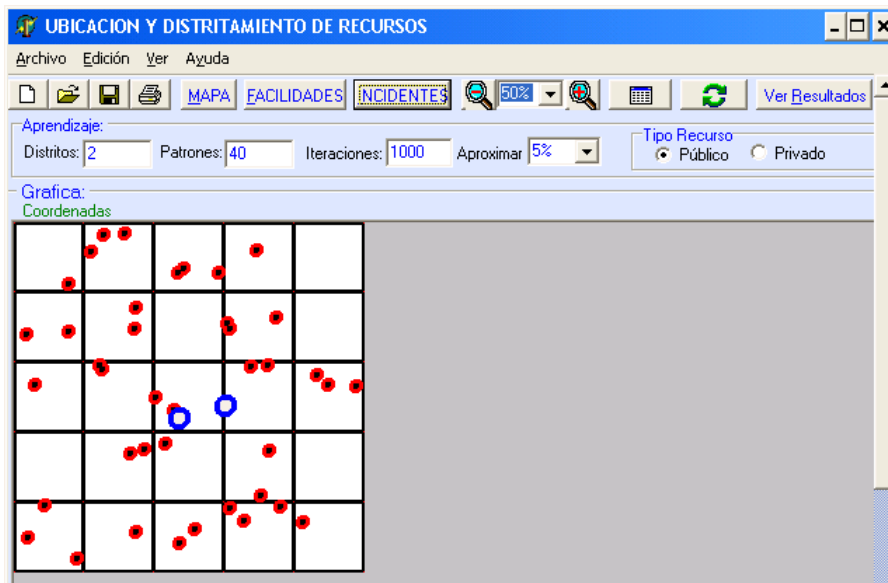


Figura 36. Generación de facilidades e incidentes para distritamiento mixto

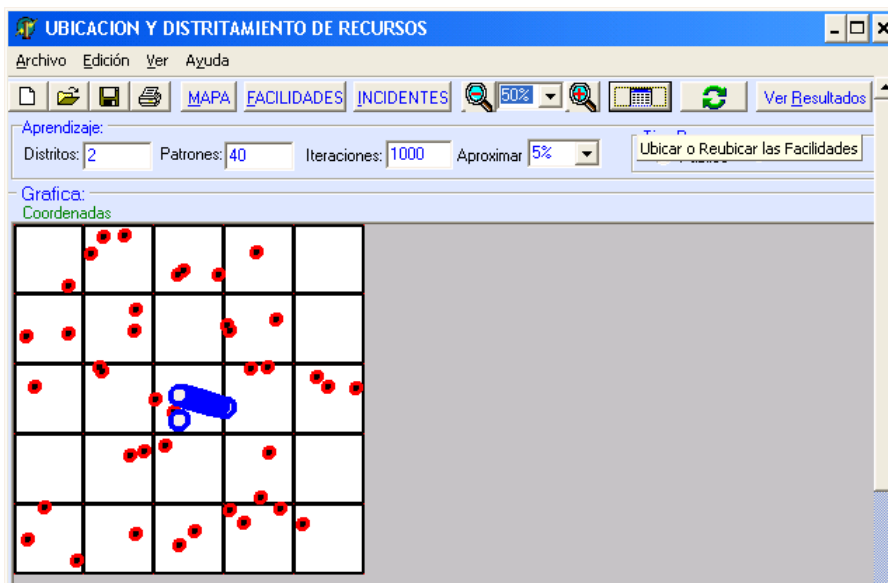


Figura 37. Organización de las facilidades en distritamiento mixto



Figura 38. Resultado del distritamiento mixto.

Para dos facilidades del mismo tipo de recorrido pero con diferentes velocidades (Véase Figura 39).

Tipo de recorrido euclideo:

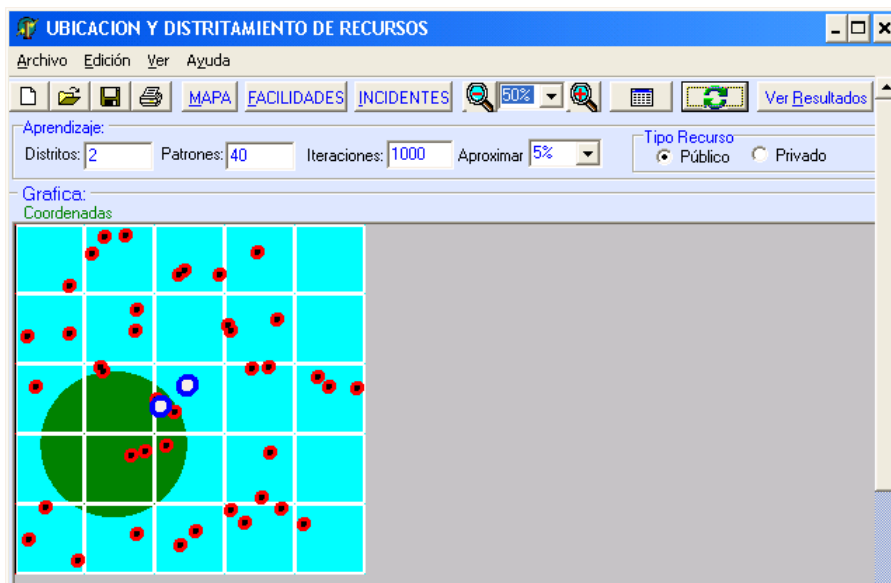


Figura 39. Resultado del distritamiento para dos facilidades del mismo tipo de recorrido con diferentes velocidades

Con casi el doble de la velocidad el resultado del distritamiento es un área dominada por la facilidad de mayor velocidad y un área circular demarcada por la de menor velocidad.

Pero cuando la facilidad de menor velocidad empieza a tener un menor tiempo de mora en atender, se forman distritos como los de la figura siguiente.

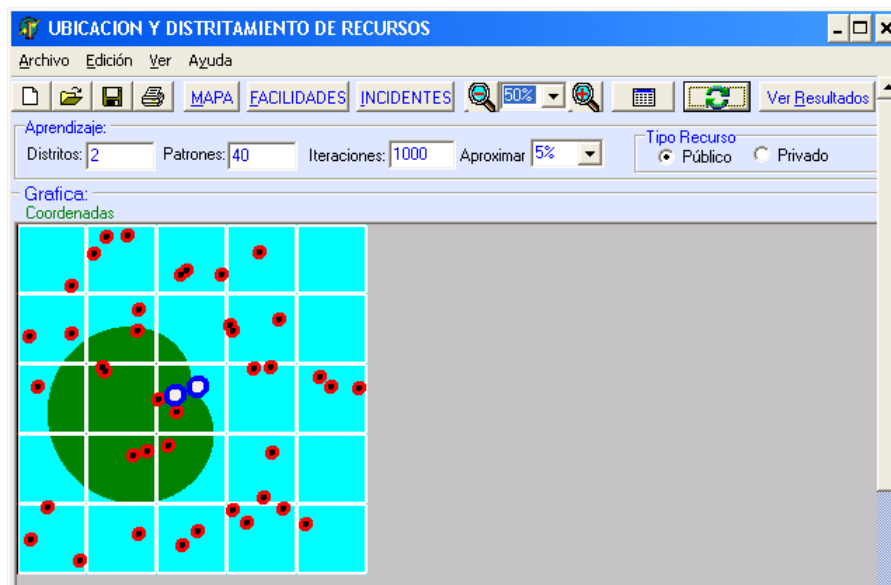


Figura 40. Resultado del distritamiento para dos facilidades del mismo tipo de recorrido con diferentes velocidades y diferente tiempo de retardo en prestar el servicio

La figura describe la forma de un corazón, quitándole área de atención en los puntos cercanos a la de mayor demora en atender. Para cuatro facilidades según los siguientes datos, donde todas son de tipo público y de aceptación filica:

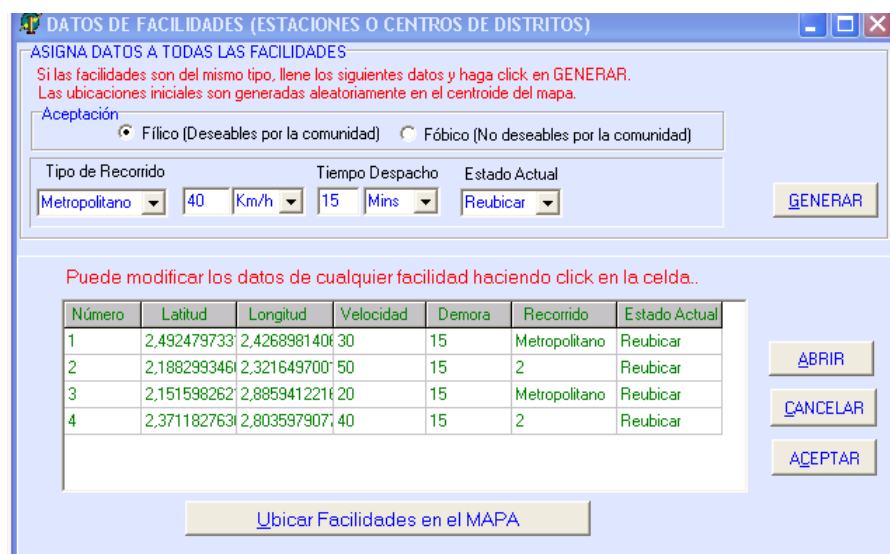


Figura 41. Asignación de cuatro facilidades para distritar, donde todas son de tipo público y de aceptación filica.

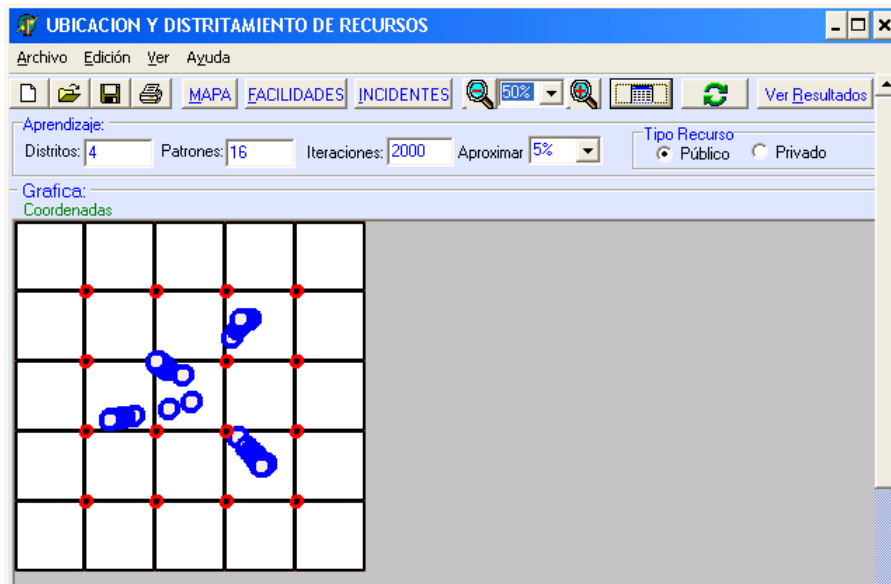


Figura 42. Organización de la facilidades para distritamiento con cuatro facilidades, donde todas son de tipo público y de aceptación fílica.

La facilidad dos y cuatro se mueven como un helicóptero de recorrido euclideo, el distrito verde corresponde a la facilidad 2 debido a su velocidad que es mayor, cubre una cantidad de territorio mayor que la facilidad 4 de color marrón. Las otras dos facilidades se mueven como ambulancias según el tipo de recorrido metropolitano, la una tiene un distrito menor dado que su velocidad es menor la cual es cubierta por las facilidades de tipo euclideo en caso de requerir de un servicio fuera de su zona.

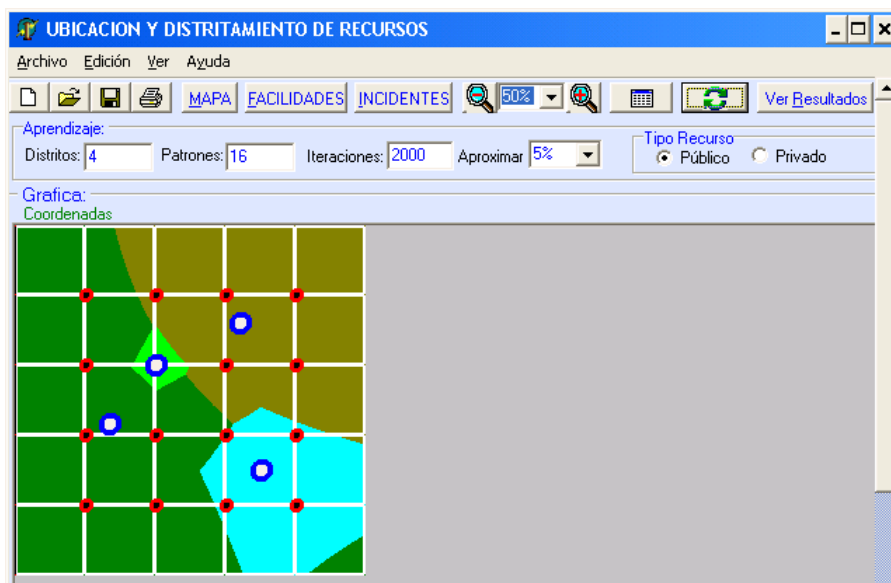


Figura 43. Distritamiento con cuatro facilidades, donde todas son de tipo público y de aceptación fílica.

Para un distritamiento de múltiples facilidades podemos véase el siguiente ejercicio:

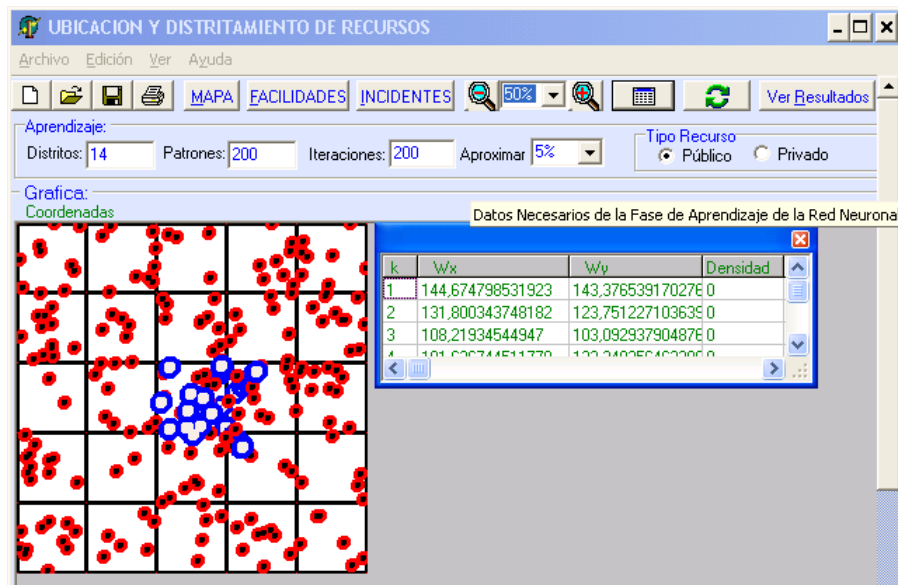


Figura 44. Generación de múltiples facilidades con múltiples incidentes.

Ubicación después de 2000 iteraciones

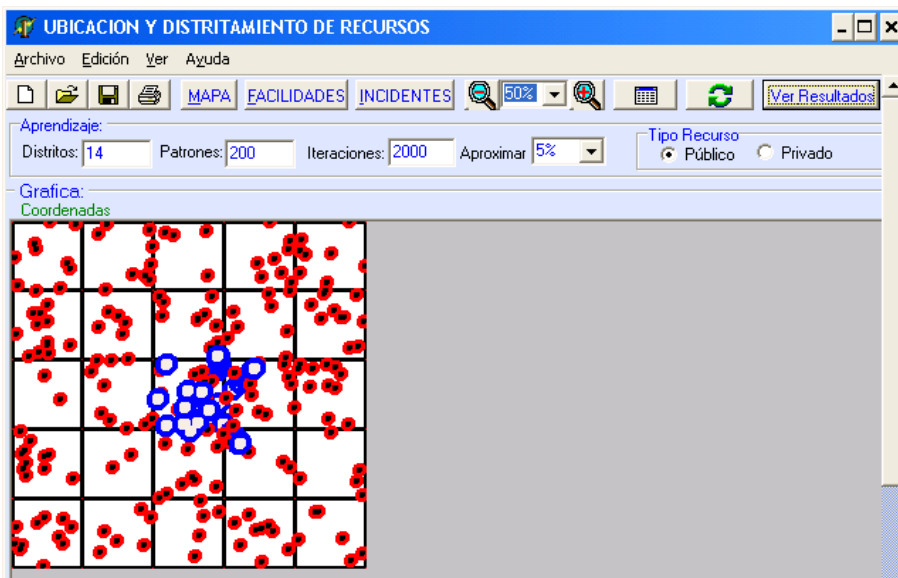


Figura 45. Organización de múltiples facilidades.

Zonificación y distritamiento (Véase Figura 46)

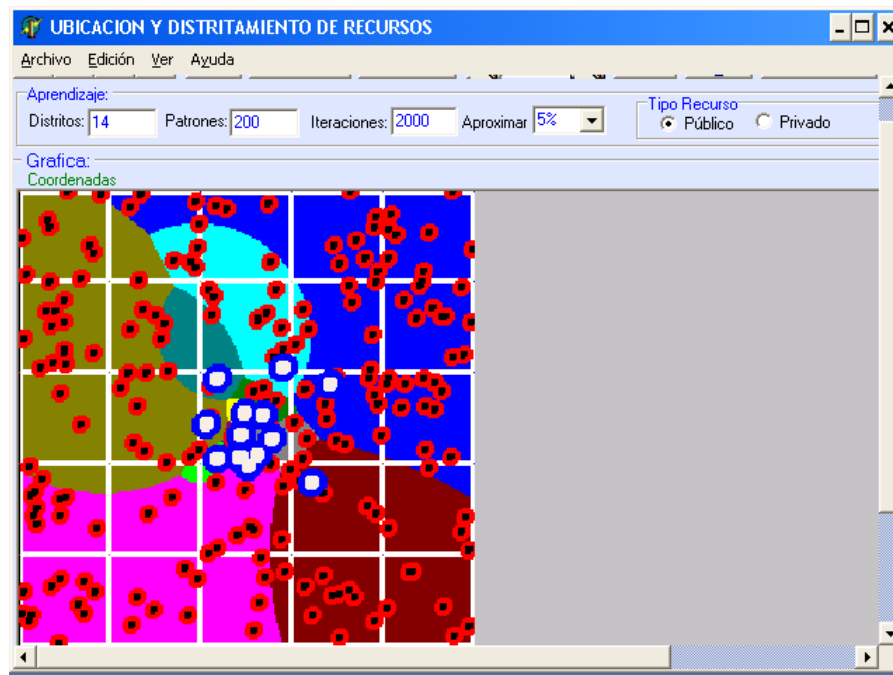


Figura 46. Distritamiento de múltiples facilidades con múltiples incidentes.

**6.1.2 Pruebas de rejilla con frontera o delimitación de contorno.** A diferencia de las pruebas de rejilla con libertad de ubicación de incidentes y facilidades sobre un área regular, se plantea la variante para la ubicación de estos puntos de trabajo solo sobre zonas en que se presumen necesarias, esta delimitación se hace editando el mapa o malla en Paint, colocando de color amarillo el lugar donde no se requiere que se generen los incidentes. Lo cual no influye en el distritamiento o ubicación, solo sobre la distribución de los puntos. Sin embargo, en la zonificación esta área no es dibujada del color del distrito.

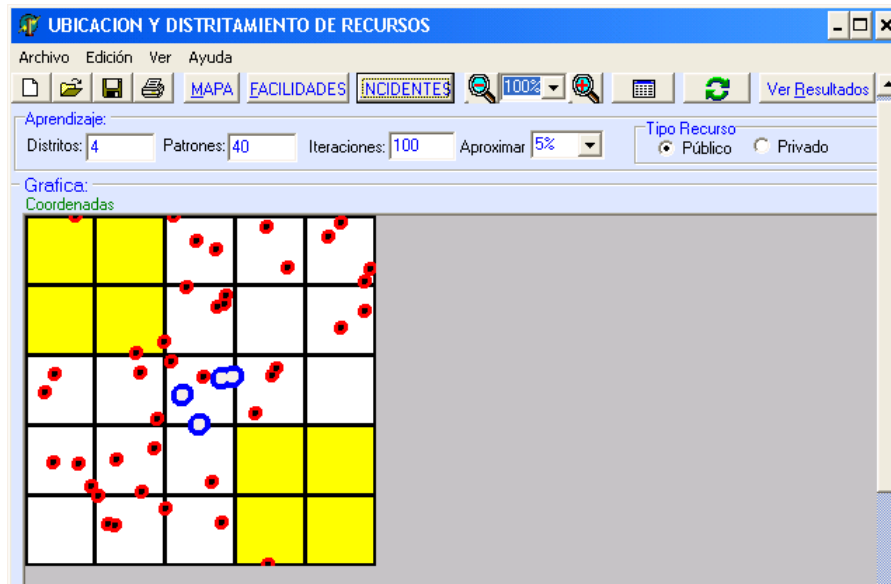


Figura 47. Pruebas de rejilla con frontera o delimitación de contorno.

Una vez generados por fuera del área delimitada, procedemos a ubicar la facilidad, con 50000 iteraciones:

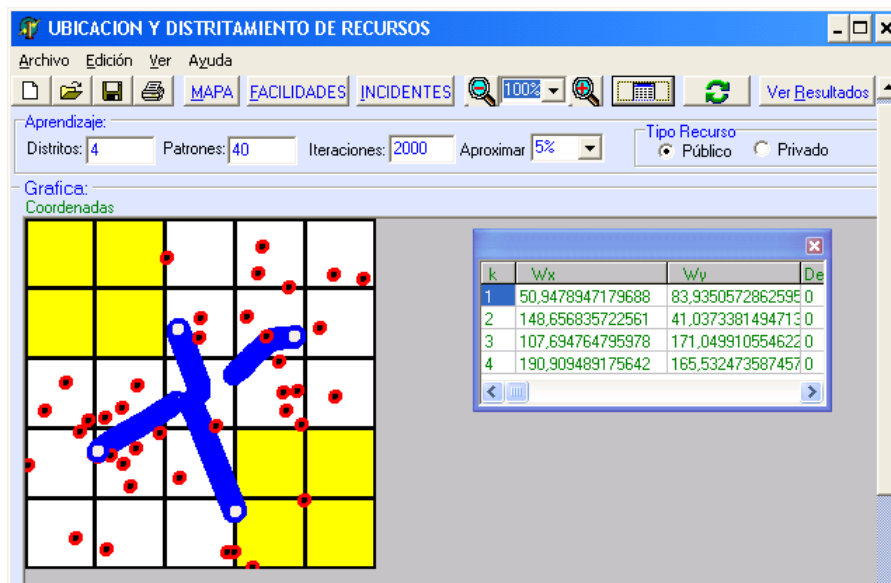


Figura 48. Organización de facilidades bajo una rejilla con frontera.

Se observa que las facilidades se acercan a la zona de frontera, sin embargo en la iteración 50000, no es representativo el incremento, tratando de llegar a la ubicación de rejilla sin fronteras, restringiéndose al área delimitada de amarillo. En la zonificación de las facilidades observamos que el área delimitada de amarillo no es distritada.

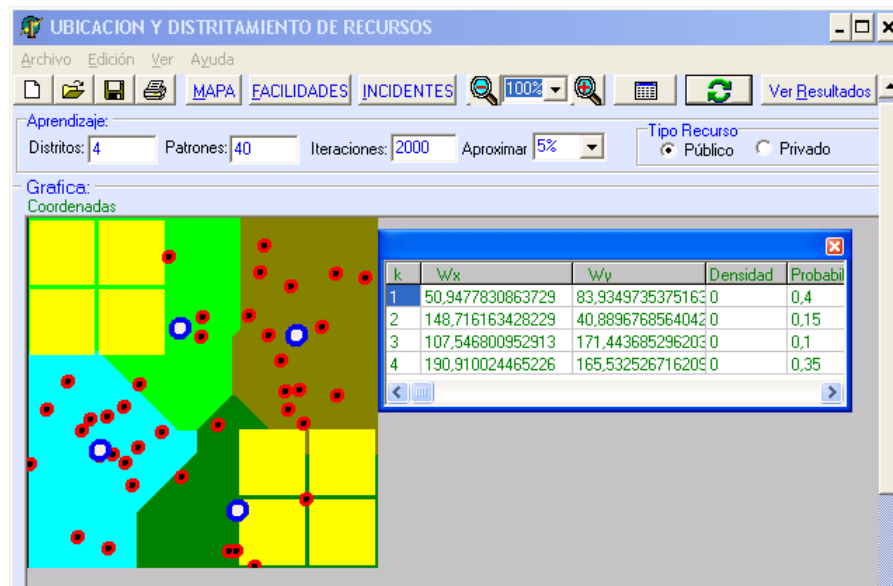


Figura 49. Distritamiento bajo condiciones de frontera.

Las anteriores pruebas se realizaron para tipos de recurso públicos con aceptación fílica, si el estado actual de todas las facilidades es fijo, éstas no se mueven o ubican, es decir no se actualizan, si alguna es fija, ésta se mantiene fija y las demás se mueven o actualizan en función de la distribución de los incidentes.

Para recursos Privados se incluye el factor de densidad de población como criterio de decisión en la actualización de las ubicaciones de las facilidades dependiendo de la aceptación si es fílica se actualiza en función de la mayor diferencia de población. En el siguiente ejemplo, se observan los resultados del modelo planteado (Véase Figuras 50, 51,52,53).

**DATOS DE FACILIDADES (ESTACIONES O CENTROS DE DISTRITOS)**

ASIGNA DATOS A TODAS LAS FACILIDADES

Si las facilidades son del mismo tipo, llene los siguientes datos y haga click en GENERAR.  
Las ubicaciones iniciales son generadas aleatoriamente en el centroide del mapa.

Aceptación  
 Fílico (Deseables por la comunidad)     Fóbico (No deseables por la comunidad)

Tipo de Recorrido    Velocidad Media    Tiempo Despacho    Estado Actual    Capacidad Población  
 Metropolitano    40 Km/h    15 Mins    Reubicar    150

**GENERAR**

Puede modificar los datos de cualquier facilidad haciendo click en la celda..

Latitud	Longitud	Velocidad	Demora	Recorrido	Estado Actual	Capacidad Población
123.1319967	125.2019418; 40	15	15	Metropolitano	Reubicar	100
148.2336263	139.3769485; 40	15	15	Metropolitano	Reubicar	150

**ABRIR**    **CANCELAR**    **ACEPTAR**

**Ubicar Facilidades en el MAPA**

Figura 50. Ubicación de facilidades para tipo de recurso privado.

**DATOS DE LOS PATRONES (INCIDENTES O DEMANDAS)**

DISTRIBUCION GENERAL

Asigna valores aleatorios dependiendo de la distribución a todos los puntos.

Distribución  
 Uniforme     Exponencial     Sigmoial

Población Media Por Manzana    150

La población por manzana, constituye la unidad fundamental del Plan de Ordenamiento Territorial (POT)  
La Unidad por Manzana pueden ser Hogares, casas, Personas, Hombres, Mujeres y Niños.

**GENERAR**

Puede modificar los datos de cualquier incidentes haciendo click en la celda.

Número	Latitud	Longitud	Pob x Manza
9	171	166	021445
10	1	74	21455
11	247	57	2145
12	187	201	2145

**ABRIR**    **CANCELAR**    **ACEPTAR**

**Ubicar Incidentes en el MAPA**

Figura 51. Ubicación uniforme de incidentes para distritamiento junto a facilidades con tipo de recurso privado.

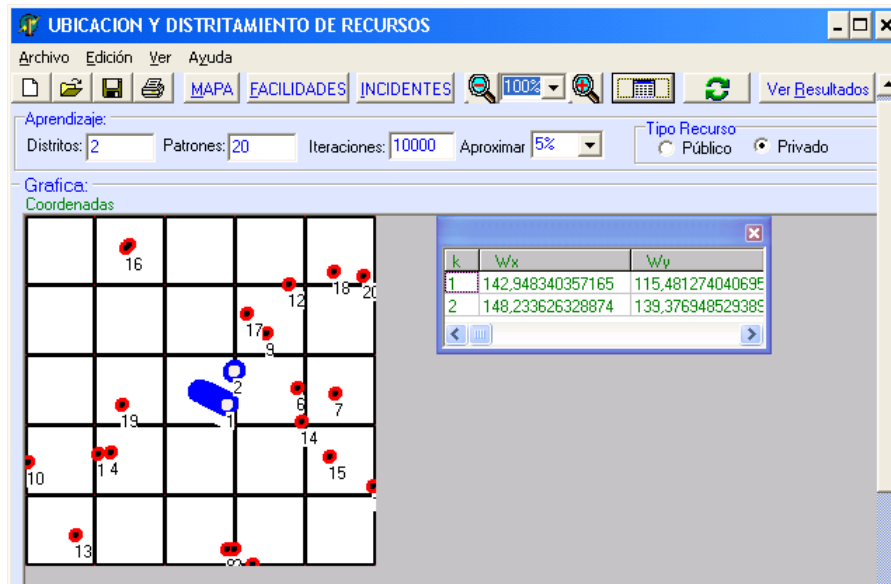


Figura 52. Organización de las facilidades con tipo de recurso privado.

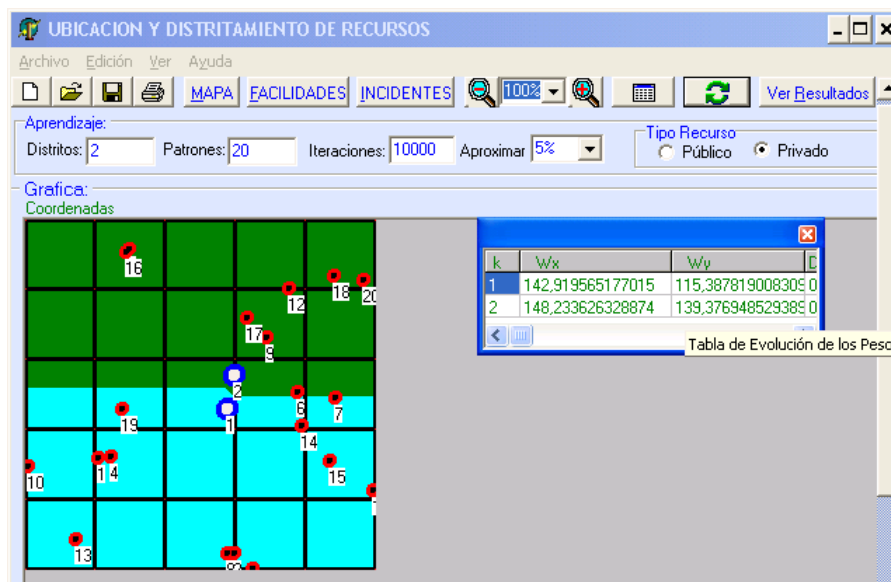


Figura 53. Distritamiento para dos facilidades con tipo de recurso privado.

## 6.2 PRUEBAS APLICADAS AL MAPA DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA

En el proceso de pruebas aplicadas al mapa de la ciudad de Bucaramanga se debe tener en cuenta que la aplicación toma como base un mapa de bits, que puede ser visto en cualquier editor de imágenes. Tomando los datos de población de la base de datos geográfica del XVI CENSO NACIONAL DE

POBLACIÓN Y V DE VIVIENDA del año 1993, suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) como base del estudio de población para la determinación de la población por sectores urbanos (Véase Anexo B) y el mapa en formato \*.dxf de la ciudad, el cual fue editado para pasarlo a formato \*.bmp; formato requerido por la aplicación.

Según estos requerimientos se desarrolló el siguiente estudio para hospitales públicos como son el Hospital Universitario Ramón González Valencia y el Hospital Materno infantil del Norte, que tienen un carácter público, al cual se enfoca la investigación.

Primero se realiza el distritamiento de los recursos como facilidades fijas, ubicadas en el mapa (Véase Figura 54).

Generando una población Uniforme en el área de estudio. Esta generación se hace para las ubicaciones de las coordenadas, ya que la distribución de la población por sectores urbanos es de tipo exponencial (Véase Anexo B).

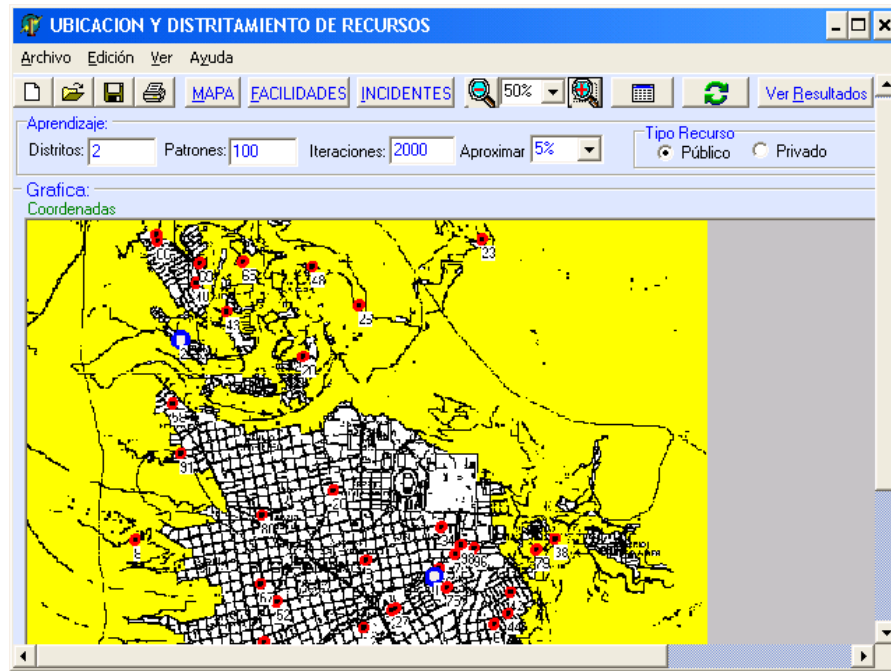


Figura 54. Ubicación inicial de hospitales en el mapa con una distribución de incidentes uniforme.

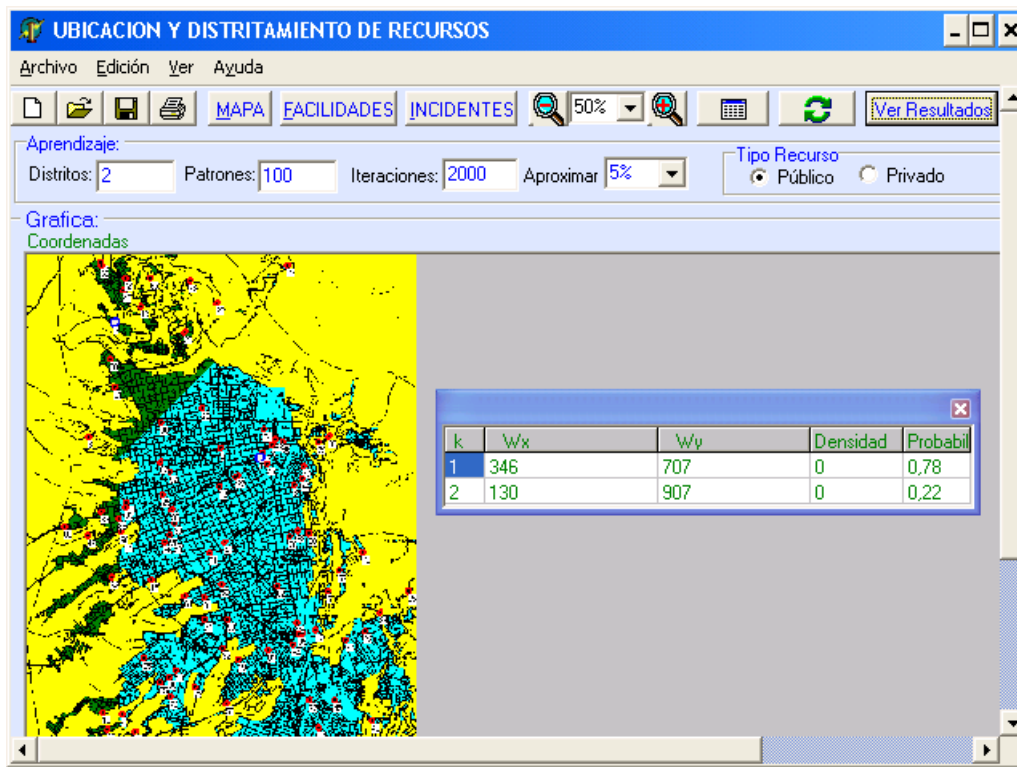


Figura 55. Distritamiento de hospitales en el mapa con una distribución de incidentes uniforme

Los resultados (Figura 55) muestran una panorámica de la alta demanda que debe cumplir el Hospital Universitario (Facilidad 1, color agua marina) con Probabilidad de 0.78 para el Hospital Universitario y 0.22 para el Hospital Materno. Resultados que no tienen en cuenta las demás instituciones de carácter privado que cumplen con el mismo servicio.

Dado que existe un desnivel en la demanda a cubrir procedemos a la Reubicación de los Hospitales: si procedemos a una reubicación, partiendo de donde se encuentran actualmente instaladas estas facilidades o instalaciones, obtenemos para un total de 18000 iteraciones el corrimiento del Hospital Universitario y el materno, cuyo objetivo es el de cubrir el espacio de la distribución de las demandas (Véase Figura 56).

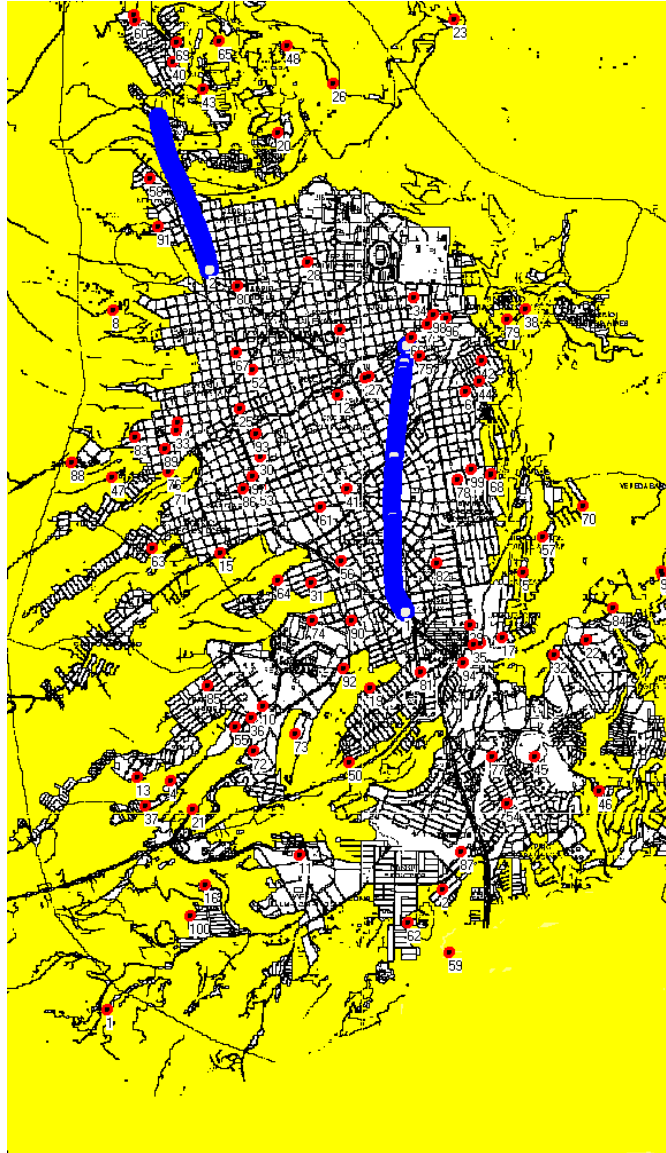


Figura 56. Resultado en formato digital de la reubicación óptima de los dos hospitales según NND Ver1.0

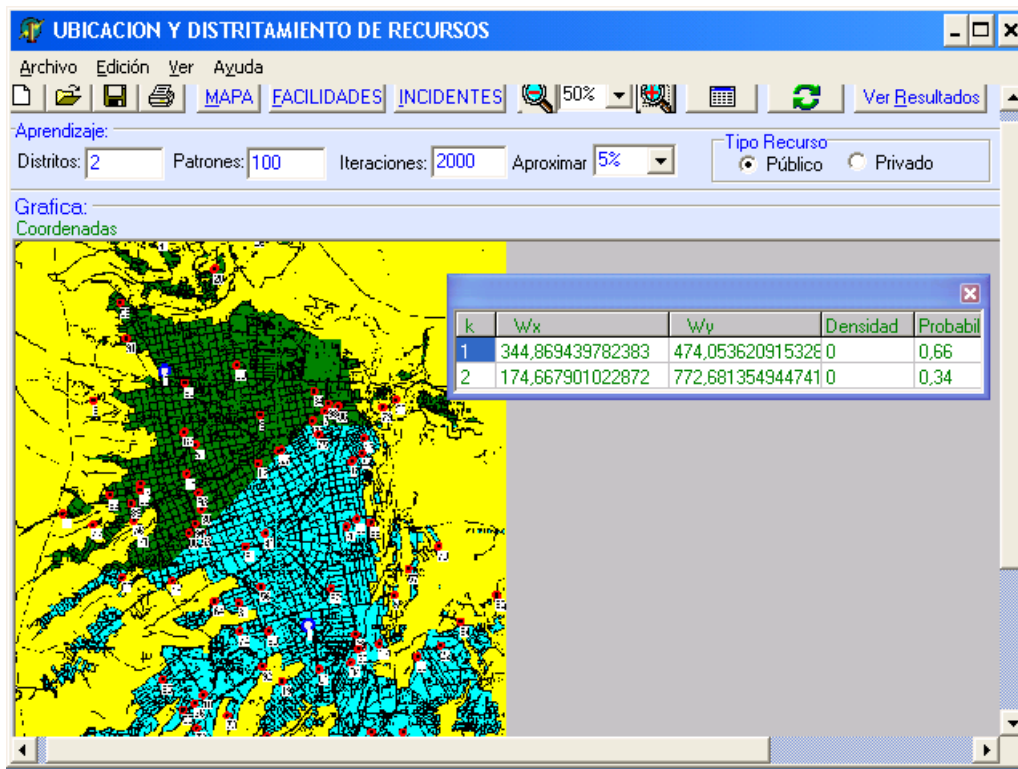


Figura 57. Resultado de la zonificación de la reubicación de los hospitales.

Los resultados (Figura 57) muestran la redistribución de las facilidades mostrando una mayor probabilidad para el Hospital Universitario, indicando el uso de una mayor infraestructura, sin embargo la probabilidad anterior se ve compensada en la nueva ubicación.

En el caso de que se desee instalar otra facilidad u hospital manteniendo fijas las dos ya instaladas, dado que por la fuerte inversión, se incurriría en costos más elevados el trasladar de un lugar a otro alguno o los dos hospitales para cumplir y satisfacer la demanda, obtenemos:

Ubicando inicialmente en el centroide del mapa la facilidad a reubicar o a instalar, solo hay que cambiar el estado actual de las dos primeras a fijo y agregar una tercera con estado actual 2 o Reubicar (véase Figura 58).

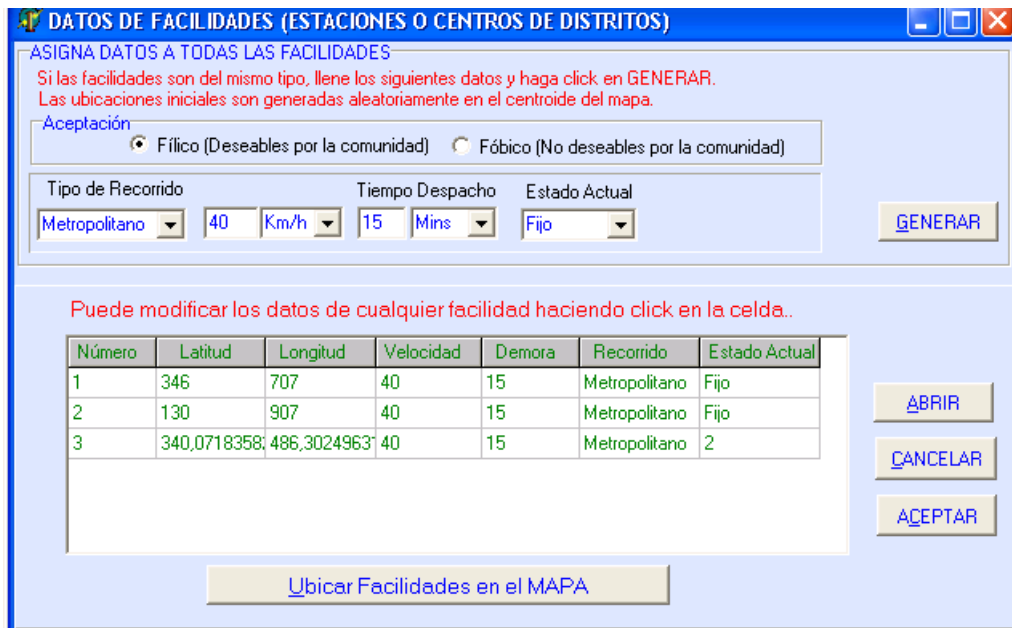


Figura 58 .Datos de Facilidades para la Reubicación de dos hospitales fijos y uno a instalar

Teniendo en cuenta que los incidentes o patrones generados son los mismos, se generaron los siguientes resultados: la ubicación final para más de 20000 iteraciones, dado que el incremento en la actualización de la ubicación no es representativo es la siguiente (Véase Figura 59).

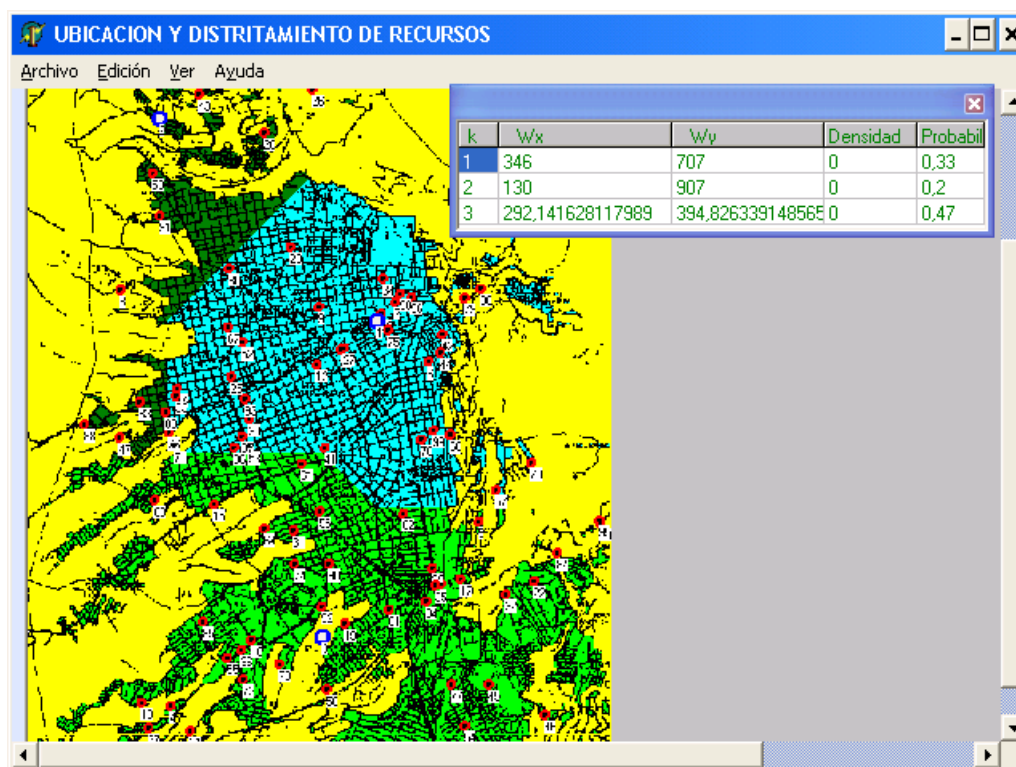


Figura 59. Resultados para la Reubicación de dos hospitales fijos y uno a instalar

Lo anterior muestra una ubicación no muy óptima, ya que se encuentra en una zona donde no se puede construir; sin embargo, la aplicación no tiene en cuenta estos factores o variables exógenos, las probabilidades nos indican que el nuevo hospital debe tener una mayor infraestructura para cubrir una carga mayor que las demás.

Ubicando de manera intencionada la facilidad como se muestra a continuación, se observa en la figura 60.

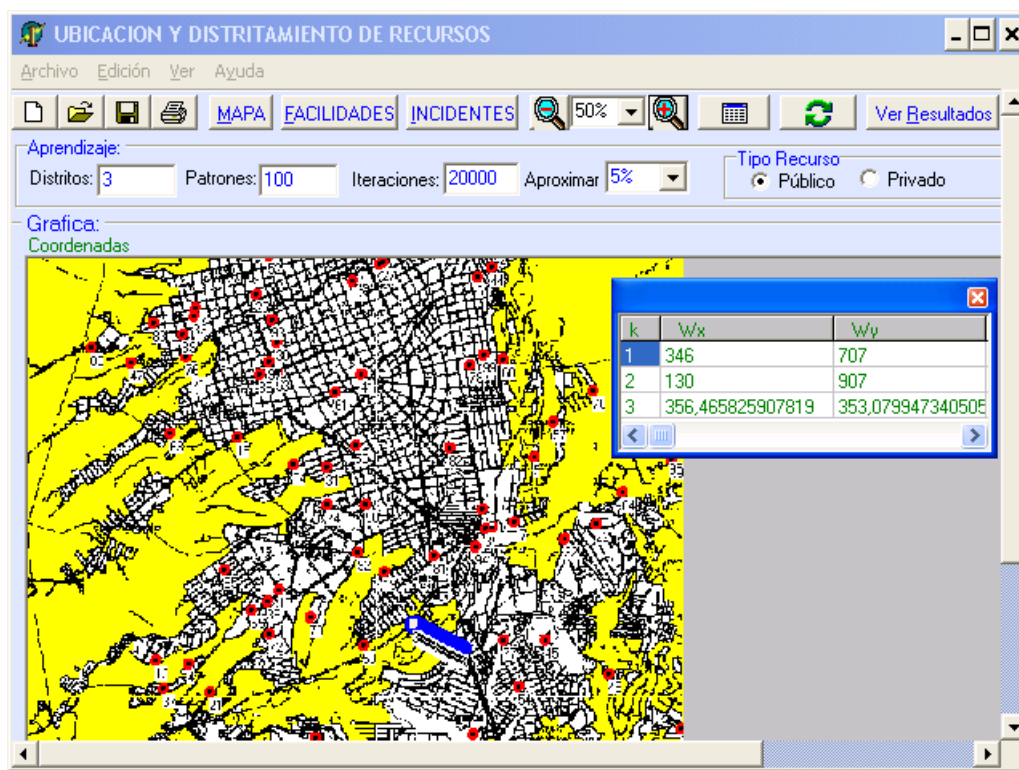


Figura 60. Resultados Ubicación de dos hospitales fijos y uno a instalar ubicado intencionalmente.

Se observa que aún ubicando la facilidad por parte del usuario, ésta se acerca al punto donde anteriormente se había distritado, esto por las características del formato Raster sobre el cual trabaja la red, el cual toma toda el área de estudio, sin tener en cuenta las vías de acceso. Sin embargo, la probabilidad sigue siendo aproximadamente la misma que en la prueba anterior.

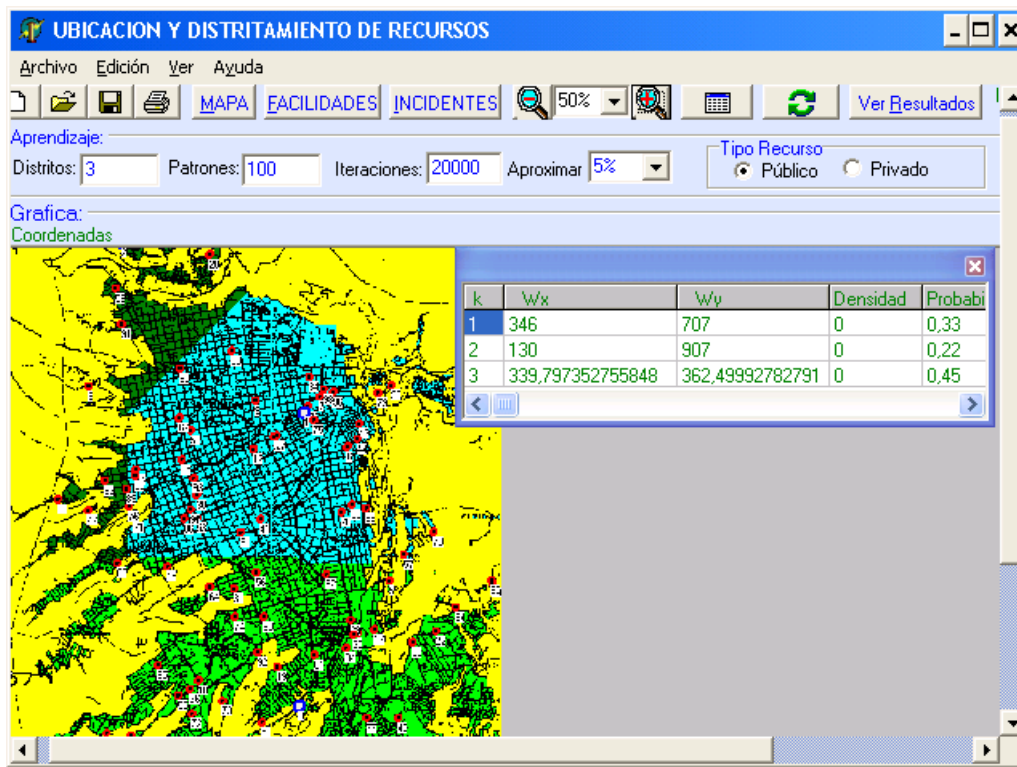


Figura 61. Resultados zonificación de dos hospitales fijos y uno a instalar ubicado intencionalmente

De esta forma, según los resultados(Figura 61) podríamos tomar la decisión de construir un hospital o reubicar los que están instaurados, según el costo y la eficiencia espacial, demostrando la importancia de la aplicación para el apoyo en la toma de decisiones, en la instalación de recursos de carácter publico, a la cual se ha enfocado el estudio y la misión de la universidad.

El anterior estudio también puede realizarse para la ubicación de escuelas o instituciones de educación, para el cubrimiento total de un área como la de cualquier ciudad.

## 7. CONCLUSIONES

En el aspecto científico se establece que dependiendo de la distribución de una serie de patrones o datos que indican una ubicación dentro de un área predeterminada, se puede ubicar estaciones (facilidades), las cuales tendrán un distrito determinado por la clasificación que hace la red neuronal, lo que permite determinar la capacidad de atención de una estación o subestación a cualquier punto dentro del distrito. Ejemplo: la ubicación o reubicación de estaciones o subestaciones de servicios de salud, como centros médicos, servicios de seguridad como estaciones de policía, servicios comerciales como supermercados o centros de mercadeo metropolitanos, estaciones de servicio como las de gasolina entre otras.

En el aspecto social y de planeación general la red puede determinar el número de recursos necesarios para suplir la demanda y la ubicación adecuada en términos de atención al incidente o situación que se estudie, dependiendo de la población y la finalidad de los recursos que se desean instalar, relacionados con su ubicación dentro del mapa de un barrio, ciudad, municipio, departamento, país o continente. Teniendo en cuenta la distribución de puntos de población en el caso de una ciudad como la unidad de densidad de población por manzanas y la clase de población que requiere de la ubicación o reubicación de recursos cuya oferta (capacidad) no cubren la demanda (población) debido a su mala ubicación por ejemplo en casos de población infantil para la ubicación de jardines infantiles o madres comunitarias, con población de estudiantes de primaria, secundaria o universitarios para la ubicación de escuelas, colegios e institutos de educación básica, media o superior, con población de casos de policía para la ubicación de Centros de Atención Inmediata(CAI), estaciones de policía o personal de seguridad, con población de casos de accidentes de tránsito para la ubicación de Centros de Atención de Tránsito y Centros de Emergencias(Salud, bomberos, Defensa Civil, Cruz Roja, etc.), con población de transporte público para la ubicación de estaciones realimentadoras de

servicios de transporte masivo. A nivel macro se puede tener en cuenta la población de zonas de incidencia delincriminal para ubicación de bases militares móviles o bases aéreas. Con población de zonas agrícolas para la instalación de centros de abastos o de insumos para la producción entre otras posibles aplicaciones.

El proyecto en el aspecto teórico y educativo, implementa un modelo fundamentado en redes Neuronales (Red de Kohonen) para la solución de problemas de distritamiento para múltiples facilidades, teniendo en cuenta los tiempos de demora de cada facilidad, para recursos públicos y privados con aceptación física o fóbica, además de tener en cuenta la población los resultados arrojados por distrito comprenden también una probabilidad asociada con el área del distritamiento. En los distritamientos la utilización de diferentes tipos de recorrido, velocidades y tiempos de despacho obligan a la realización de múltiples distrito hiperboloides y elípticos, consiguiendo la formación de distritos cuyas fronteras describe orbitas elípticas, así como polígonos irregulares.

En el aspecto económico el proyecto ofrece resultados que sirven de apoyo en la implementación e instalación de recursos, en lugares óptimos según el costo del recorrido, obedeciendo a principios de equidad y eficiencia espacial, permitiendo la evaluación del cubrimiento de los recursos que sean instalados o en su defecto eliminados, debido a ineficiencia funcional o mayor cubrimiento u oferta por parte de los recursos, minimizando costos de estudio e instalación; Permitiendo observar el impacto en la población, así como la capacidad que debe atender brindando un soporte para la inversión requerida en el cubrimiento de la demanda distritada.

En el aspecto de ingeniería, el proyecto demuestra una vez mas que de la teoría a la practica solo esta el Ingeniero, quien con el aprovechamiento de los conceptos teóricos adquiridos en su formación profesional lleva al medio ambiente que lo rodea soluciones a problemas reales soportadas en la ciencia para el desarrollo y bienestar de la sociedad.

## **8. ALCANCES, LIMITACIONES Y EXPECTATIVAS**

### **8.1 ALCANCES**

La implementación de tecnologías adaptativas como las Redes Neuronales (Red de Kohonen) para la solución de problemas de ubicación y distritamiento para múltiples facilidades.

Se encontró una solución de tipo tecnológico y científico en problemáticas de carácter social como el establecimiento de equipamientos o recursos que obedecen a principios y criterios de equidad y eficiencia en donde se beneficia la población de estudio en la minimización de costos y maximización de servicios.

Se realizó el nombre de nuestra Alma Mater con la ponencia del artículo "ZONIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE RECURSOS BASADO EN UNA DERIVACIÓN DE LA ESTRUCTURA NEURONAL DE KOHONEN" en el congreso internacional de Inteligencia Computacional CIIC2003 realizado en la Universidad Nacional de Medellín con Publicación en la revista DINA indexada por COLCIENCIAS.

### **8.2 LIMITACIONES**

La red implementada tiene un carácter rígido dada la determinación de los criterios establecidos en la definición de los recursos públicos o privados, así como la aceptación de los mismos la cual puede ser fílica o fóbica, estos no permiten la realización de distritamientos mezclados entre sí, es decir la mezcla entre los recursos públicos y Privados en la misma superficie de estudio, esta se hace solo para un tipo de recursos o solo para un tipo de recursos con un mismo nivel de aceptación. La aplicación solo utiliza un

formato de tipo RASTER<sup>9</sup>, este Formato no permite según el modelo de red la implementación de distritamiento con barreras, el cual se puede desarrollar con la utilización de un formato de tipo VECTORIAL<sup>10</sup>.

### 8.3 EXPECTATIVAS

Continuar con la línea de investigación del proyecto “Neural Net District” en redes neuronales para la implementación de modelos de organización urbana que sirvan de apoyo para:

- Localización óptima de la infraestructura de equipamiento social (educación, salud, deporte y recreación).
- Atención de emergencias (incendios, terremotos, accidentes de tránsito).
- Evaluación de áreas de riesgos (prevención y atención de desastres).
- Formulación y evaluación de planes de desarrollo social y económico.
- Administración de servicios públicos (Salud, educación, acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos)
- Estratificación socioeconómica.
- Regulación del uso de la tierra.
- Control ambiental (saneamiento básico ambiental y mejoramiento de las condiciones ambientales, educación ambiental)
- Diseño y mantenimiento de la red vial.

Un nuevo modelo de red puede incluir en el proceso de distritamiento la mezcla de los criterios establecidos en la definición de los recursos públicos o privados, así como la aceptación de los mismos la cual puede ser filica o fóbica, permitiendo así la realización de distritamientos mezclados entre si, es

---

<sup>9</sup> El formato RASTER se obtiene cuando se "digitaliza" un mapa o una fotografía o cuando se obtienen imágenes digitales capturadas por satélites. En ambos casos se obtiene un archivo digital de esa información. La captura de la información en este formato se hace mediante los siguientes medios: scanner, imágenes de satélite, fotografía aérea, cámaras de video entre otros

La información gráfica en este tipo de formato se representa internamente por medio de segmentos orientados de rectas o vectores. De este modo un mapa queda reducido a una serie de pares ordenados de coordenadas, utilizados para representar puntos, líneas y superficies. La captura de la información en el formato vectorial se hace por medio de: mesas digitalizadoras, convertidores de formato raster a formato vectorial, sistemas de geoposicionamiento global (GPS), entrada de datos alfanumérica, entre otros.

decir la mezcla entre los recursos Públicos y Privados en la misma superficie de estudio, para el cubrimiento total de áreas de demanda tales como la educación, salud y otros donde el factor privado y público van de la mano en el cubrimiento de servicios de carácter social y económico. Permitiendo así una mayor flexibilidad del modelo.

Una segunda versión de este proyecto puede no limitarse a la utilización de un formato RASTER sino también a la utilización de formatos de tipo VECTORIAL. Para la zonificación de áreas en las cuales se tenga en cuenta barreras ambientales por ejemplo ríos, los cuales atraviesan ciudades como es el caso de la ciudad de Medellín (Colombia) o Buda-pest (Hungría), las cuales solo pueden cruzarse por un mínimo de puntos(Puentes) de un lugar a otro limitando el área de acción de facilidades como ambulancias las cuales se mueven por calles y carreras describiendo un tipo de recorrido metropolitano.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

DELGADO, Alberto. Inteligencia artificial y minirobots. Ecoe Ediciones. Santa Fe de Bogotá. COLOMBIA. [4]

HAYKIN, Simon. Neural network, Mac Millian. 1994. Ontario, CANADÁ. [6]

HILERA, José Ramón. Redes neuronales artificiales. Addison – Wesley Iberoamericana. Editorial Ra-ma. 1995. [7]

KOHONEN, Teuvo. An introduction to neural computing. 1988a. [3]

KOHONEN, Teuvo. Self organizing maps. (1997). 2ª Ed Springer – Verlag. Berlin. Heilderberg. [5]

LARSON, Richard. Urban operations research. Odoni. Massachusetts Institute of Technology. Prentice – Hall. USA. [1]

MATLAB, the language of tenical computing. Toolbox Demos versión 6.5.0.180913ª Release 13 Junio 18 de 2002. [9 ]

RUIZ, Fernando. Simulación digital. División de Publicaciones. 1999. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. COLOMBIA. [8]

RUIZ, Fernando. Tecnologías adaptativas. Material de Clase. Bucaramanga. UIS 2000. COLOMBIA. [2]

## ANEXOS

### Anexo A.

#### Artículo “ZONIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE RECURSOS BASADO EN UNA DERIVACIÓN DE LA ESTRUCTURA NEURONAL DE KOHONEN”

##### ZONIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE RECURSOS BASADO EN UNA DERIVACIÓN DE LA ESTRUCTURA NEURONAL DE KOHONEN

Fernando Ruíz Díaz Jhohan F. Medina Conde Mauricio Serrano Téllez

*Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática*  
Universidad industrial de Santander  
Bucaramanga, Colombia  
e-mails: [fruíz@uis.edu.co](mailto:fruíz@uis.edu.co)  
[fabimedcon@yahoo.com](mailto:fabimedcon@yahoo.com)  
[masetell@yahoo.es](mailto:masetell@yahoo.es)  
Grupo GEMA de investigación

**RESUMEN:** Se programó de manera particular, una herramienta para la localización y relocalización de recursos como hospitales, escuelas, patrullas, bomberos mediante un algoritmo fundamentado en la estructura de la red neuronal de Kohonen que permite ubicar y zonificar varios recursos (facilidades) en un plano, teniendo en cuenta el costo euclidiano o metropolitano y considerando el carácter público o privado del recurso. Se considera el tipo de distribución probabilística de los incidentes o patrones de aprendizaje de la red para su posterior funcionamiento.

**KEYWORDS:** Neural networks, non linear programming, digital simulation, urban systems models.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los temas que sobresale en el ámbito de estudio y planeación de los servicios es la localización óptima de equipamientos, recursos, facilidades o estaciones. Esta tendencia se debe fundamentalmente a la demanda creciente de servicios por parte de la población. El problema radica en encontrar los sitios más apropiados económicamente para instalar determinados equipamientos en función de la demanda de los usuarios que hacen uso de ellos y de la distancia que deben recorrer para poder obtener los servicios que brindan. Estos recursos responden a las

características de los equipamientos que se desean instalar y quien tiene que llevar adelante esta tarea.

En la actualidad se dispone de un conjunto de metodologías como la Lógica Borrosa, el Razonamiento Aproximado, la Teoría del Caos y las Redes Neuronales, que permiten obtener soluciones de problemas complejos, como la evolución de sistemas de computación inspirados en la combinación de elementos simples de proceso interconectados, que operando de forma paralela consiguen resolver problemas relacionados con el reconocimiento de formas o patrones, predicción, codificación, control y optimización, y ahora tienen

una nueva aplicación en el ámbito de la localización y zonificación de recursos[1] dependiendo de su carácter u objetivo, teniendo en cuenta el tipo de recorrido[2] como se propone en este documento de manera exclusiva.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Red Neuronal de Kohonen

Kohonen presentó un modelo de red neuronal con capacidad para formar mapas de características similares. Pretendiendo demostrar que un estímulo externo a una estructura y una descripción funcional propia del comportamiento de la red, era suficiente para forzar la auto-formación de grupos o clases homogéneas. [3]

Los neurobiólogos han demostrado que en el cerebro existen áreas donde se realizan funciones específicas como el centro del habla, el control de movimiento, el centro de visión. Cada área corresponde a un grupo de neuronas donde existe una intensa actividad local. Este hecho biológico ha llevado a la idea de que el cerebro utiliza una proyección espacial para modelar estructuras de datos. La red de Kohonen utiliza esta idea para almacenar datos de tal manera que se preservan las relaciones espaciales existentes en los datos. [4]

#### 2.1.1. Organización

Una red Neuronal de tipo Kohonen es un mapa que preserva la topología de una representación multidimensional dentro de un arreglo bidimensional que proyecta señales similares a posiciones similares de neuronas. [5]

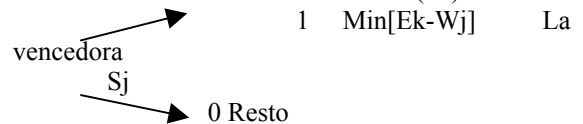
#### 2.1.2. Aprendizaje y funcionamiento de la red

El algoritmo de aprendizaje para una red de Kohonen organiza las neuronas en vecindades locales que actúan como clasificadores de características de los datos de entrada. El mapa de neuronas se organiza de manera autónoma mediante un proceso cíclico que compara los patrones de entrada (vectores de datos de entrada) con los vectores correspondientes a cada neurona. El algoritmo no requiere información sobre salidas deseadas.

El aprendizaje es no supervisado de tipo competitivo, donde las neuronas compiten por activarse y solo una se activa cuando aparece un patrón en las entradas. Los pesos de las conexiones se actualizan según la neurona vencedora. Al final del aprendizaje las neuronas forman grupos correspondientes a las características de los patrones. [6]

En esta fase se presenta a la entrada una información  $E_k = (e_1(K), \dots, e_N(K))$  y cada neurona de salida las recibe a través de las conexiones hacia adelante con pesos  $W_{ij}$ .

- ✓ La salida generada depende de las conexiones hacia adelante con pesos  $W_{ij}$  y las conexiones laterales con el resto de las neuronas.
- ✓ Ante una entrada  $E_k$ , la red evoluciona hasta una situación estable, en la que se activa la neurona vencedora ( $n_v$ ).



Características del aprendizaje:

- ✓ Es de tipo OFF LINE.
- ✓ No supervisado de tipo competitivo (los pesos de las conexiones se ajustan en función de la neurona vencedora).

Algoritmo de aprendizaje

- ✓ Inicializar vector de pesos  $W_{ij}$ , con valores aleatorios pequeños y fijar zona inicial de vecindad para las neuronas de salida.
- ✓ Presentar a la red la información de entrada (la que debe aprender) en forma de vector  $E(k)$ , donde sus componentes serán valores continuos.
- ✓ Determinar cual será la neurona ganadora ( $j^*$ ). Siendo esta la que posea el vector de pesos  $W_j$  más parecido a la información de entrada  $E(k)$  (vector de entrada), para ello se recurre al cálculo de las distancias entre ambos vectores, considerando una a una todas las neuronas de salida. Utilizamos esta expresión que es similar a hallar la distancia Euclidiana entre los vectores:

$$d_j = \sum_{i=1}^n (e_i^{(k)} - W_{ji})^2 \quad 1 \leq j \leq M$$

- ✓  $e_i^{(k)}$  componente  $i$  –ésimo del vector  $k$  –ésimo de entrada
- ✓  $W_{ji}$  peso de la conexión entre la neurona  $i$  de la capa de entrada y la neurona  $j$  de la capa de salida.

Una vez que ha sido localizada la neurona vencedora ( $j^*$ ), se actualizan de las conexiones entre las neuronas de entrada y esta neurona. Lo que se consigue en este paso es asociar la conexión de entrada con una zona en la capa de salida.

$$W_{ji(t+1)} = W_{ji(t)} + \alpha(t)[e_i^{(K)} - W_{j^*i(t)}]$$

La zona  $j^*(t)$  es la zona de vecindad alrededor de la zona vencedora  $j^*$  en la que se encuentran las neuronas cuyos pesos son actualizados. El tamaño de esta zona puede reducirse en cada iteración del proceso de ajuste de los pesos.

$\alpha(t)$  es un parámetro de ganancia, conocido también como coeficiente de aprendizaje, el cual posee un valor entre 0 y 1, decrece con el número de iteraciones ( $t$ ) del proceso de entrenamiento. Cuando se considera un número de iteraciones considerable pertenecientes al rango ( $500 \leq t \leq 1000$ ) su valor se reducirá prácticamente a 0, lo cual hace que las modificaciones de los pesos se haga insignificante. Se acostumbra utilizar la expresión  $\alpha(t) = 1/t$ . El proceso se debe repetir, volviendo a presentar el conjunto de patrones de entrada a los vectores de pesos un mínimo de 500 veces ( $t \geq 500$ ).[7]

## 2.2. Clasificación de recursos.

Los recursos responden a las características de los equipamientos<sup>11</sup> que se desean instalar y quien tiene que llevar adelante esta tarea. Si las instalaciones son de servicio público o privado:

- La localización de servicios públicos debería responder al principio de “justicia o equidad espacial”, este principio tiene especial relevancia en el caso de los servicios ofertados por la Administración Pública, ya que son financiados por toda la población que, por lo tanto, tiene iguales derechos a usarlos en las mismas condiciones de acceso, como por ejemplo a hospitales, escuelas o bibliotecas públicas o estaciones de atención inmediata como bomberos o policía.
- Los servicios privados por su parte tienen como finalidad otro principio que es el de “eficiencia espacial”, su objetivo es obtener la mayor cantidad de beneficios posibles y por ello preferirán localizarse en aquellos lugares que alberguen la mayor cantidad de población o demanda. En otras palabras la eficiencia se

<sup>11</sup> Los equipamientos urbanos son las construcciones fundamentales que conforman los puntos importantes de una concentración urbana, cuya existencia condiciona el buen funcionamiento global de las áreas residenciales comerciales e industriales de la ciudad.

ocupa de maximizar los resultados de unos recursos dados. Por lo tanto una distribución eficiente de los servicios maximizará su utilización por parte de los usuarios. En este caso los ejemplos son numerosos y se refieren a todo tipo de servicios por el cual él o los propietarios obtienen algún beneficio económico, cines, comercios, escuela privadas, consultorios médicos de diferente índole.

## 2.3. Zonificación y localización de recursos

### 2.3.1 Estructura como modelo a gran escala

- Las llamadas por servicio de la demanda son distribuidas, tanto en el tiempo como en el espacio, en forma estocástica, sobre el área de la ciudad o la red de ciudades.
- Para atender cada una de las solicitudes se despachan una o más unidades de servicio. •El tiempo de respuesta conformado por el tiempo de despacho y el tiempo de viaje es una de las medidas más importantes que definen la calidad del servicio.

#### Observaciones

- Existen localizaciones fijas (hospitales) y móviles (patrullas).
- Se establece un sistema de prioridades.
- Se reconoce la importancia del tiempo de ocio; que se traduce en la utilización del recurso.

### 2.3.2. Políticas de localización de las unidades servidoras

Las unidades que pueden ser ambulancias, bomberos, policías, hospitales, escuelas, colegios, son organizadas teniendo en cuenta:

- i. Número de unidades de cada tipo en cada horario.
- ii. La demanda determinada por el número de personas usuarias asignadas a cada unidad.
- iii. El área de servicio asignado a cada unidad (denominada distrito o zona). La unidad seleccionada será aquella que minimice la sumatoria de los costos de despacho, viaje y servicio.
- iv. La estructura de prioridades y la disciplina de colas.
- v. ¿Cuál unidad en particular se despacha a un incidente dado?
- vi. Relocalización y preposicionamiento.

### 2.3.3. Medidas de eficiencia

- Tiempo de respuesta, como función de la distancia metropolitana o euclidiana.
- Costos proporcionales a la distancia, velocidad y calidad del recurso.

- Balance de cargas conforme a las capacidades de los recursos.
- Probabilidad de error, conformidad ciudadana y prevención de accidentes.

#### 2.3.4. Factores que influyen en las políticas de localización

- i. Recursos presupuestales.
- ii. Naturaleza del uso de tierras (planeación), como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT).
- iii. Densidad y distribución de población demandante.
- iv. Distribución en tiempo y espacio de llamadas
- v. Tiempo de servicio, dedicado por la facilidad que atiende la demanda requerida.

#### 2.3.5. Cálculo del tiempo de respuesta

- i. Tiempo de despacho. Un helicóptero requiere de un tiempo de despacho mayor al de una ambulancia o patrulla.
- ii. Tiempo de viaje. Sujeto a la modalidad de recorrido euclidiano por aire o mar y metropolitano por las calles de la ciudad.

Los despachos usualmente consisten en colas bajo varias disciplinas. Mediante el manejo de teoría de colas podemos obtener la distribución de probabilidad de los tiempos de despacho. El tiempo de viaje se obtiene de acuerdo con el área geográfica y la distribución espacial de las llamadas. Los modelos de tiempo de viaje son usualmente aproximados; No obstante, proporcionan una buena idea de la distribución de los valores.

#### 2.3.6. Procesos espaciales.

A. Las entidades están distribuidas sobre la ciudad en forma aleatoria con distribuciones uniforme exponencial y sigmoideal.

B. Las entidades pueden ser:

- i. Empleados de un servicio particular
- ii. Usuarios de un servicio social
- iii. Unidades de emergencia como bomberos, ambulancias y CAIs<sup>12</sup>.
- iv. Incidentes o delitos que requieren ser atendidos por las facilidades de servicio público.

Se requiere describir probabilísticamente el número de entidades en una sub-área dada y las interrelaciones espaciales entre las entidades.

#### 2.3.7 Clasificación de los problemas de localización

##### 2.3.7.1. Según en el espacio

- a. En una ciudad considerada como un plano.
- b. En varias ciudades conectadas por vías de transporte conformando una red.
- c. En un conjunto de puntos. Donde un número finito de puntos se consideran soluciones factibles.

##### 2.3.7.2. Según el número de localizaciones

- a. Facilidad sencilla o única. Definido el distrito de demanda, encontrar la localización que optimice el costo de atenderla.
- b. K facilidades (K es dado). Definidos los distritos encontrar las mejores localizaciones o definida la localización de las facilidades encontrar los distritos.
- c. K facilidades (K es variable). Encontrar el número apropiado de facilidades y conformación de los distritos sujeto a las disponibilidades presupuestales.

##### 2.3.7.3. Según la función objetivo

- Minimizar el costo promedio
- Minimizar el máximo costo
- Minimizar K (Número de facilidades)

### 3. DISEÑO DEL ALGORITMO PLANTEADO

El modelo de red para resolver el problema de distritamiento y localización de facilidades utilizando la red neuronal de Kohonen constará de neuronas de entrada, a través de las cuales se recibirán las coordenadas de los centroides de demanda. El número de neuronas (n) de salida hará que la red establezca (n) categorías de elementos los cuales se localizarán superficialmente.

La red utilizará 2.n (dos por n) conexiones entre la capa de entrada y la capa de salida, con los correspondientes pesos asociados. El significado espacial de estos valores de pesos será el de asociarlos como recursos, formando distritos luego de realizar el proceso iterativo de búsqueda de la menor distancia euclidiana y metropolitana con los patrones de entrenamiento.

En la obtención de la ubicación se permitirá que se escoja el número (n) de facilidades (neuronas de salida) y el número de patrones de entrenamiento (vectores de entrada), los cuales se mostrarán en una gráfica que presentará el progreso de la solución hasta la formación final de los distritos o zonas. El algoritmo de aprendizaje sugerido por este tipo de red para obtener los valores de los pesos es el siguiente:

$$W_j^*x(t+1) = W_j^*x(t) + 1/t [px^k - W_j^* x(t)]$$

$$W_j^*y(t+1) = W_j^*y(t) + 1/t [py^k - W_j^* y(t)]$$

<sup>12</sup> Centros de Atención Inmediata.

Donde  $j^*$  representa la neurona vencedora luego de aplicar a la entrada las coordenadas de los patrones de entrenamiento representados por  $p_k = [p_x^k, p_y^k]$ .

La evolución de los pesos durante la fase de aprendizaje se mostrará en cuatro etapas. Al final de la iteración los valores de los pesos tienden a un estado de estabilidad. Estos valores tienen el significado de centroides (media aritmética de las coordenadas  $x$  e  $y$ ) de los puntos que la red considera que pertenece a cada una de las  $(n)$  neuronas (facilidades) que se hayan establecido.

Después del aprendizaje viene la fase de funcionamiento de la red en la cual al presentarle un punto se le pide a la red que lo relacione con alguna de las  $(n)$  facilidades establecidas. Esto se hará en función de la distancia al representante de cada distrito.

La red calcula la distancia  $d_j = (P_x - W_{jx})^2 + (P_y - W_{jy})^2$  a cada vector de peso  $W_j$  de cada patrón de aprendizaje, al escoger la menor distancia se hallará el representante de cada distrito, el cual va a ser la neurona ganadora; neurona que actualizará los pesos con las fórmulas descritas anteriormente. El anterior criterio es utilizado para la localización de recursos públicos.

En la localización de recursos privados, la red calcula valores aleatorios de densidad poblacional, para cada uno de los patrones y los pesos, calculando la diferencia entre los valores de densidad poblacional de los patrones y los pesos, escogiendo la de mayor diferencia y actualizando los pesos de las neuronas de salida según las coordenadas de la neurona escogida utilizando las fórmulas de actualización descritas anteriormente, actualizando también las densidades de los pesos, para que no siempre se tome la misma neurona ganadora y determinando así la capacidad de las neuronas de salida, al terminar las iteraciones.

La diferencia entre los dos tipos de recurso radica en el criterio de decisión para la actualización de los pesos, debido a los “principios de equidad espacial” y “eficiencia espacial” de los recursos público y privado. (Véase tabla No. 1.)

TIPO DE RECURSO	CRITERIO DE DECISIÓN	TIPO DE RECORRIDO
PÚBLICO	Menor distancia Euclidiana	Euclidiano
		Metropolitano
PRIVADO	Mayor Diferencia De Densidad De Población	Euclidiano
		Metropolitano

Tabla No.1. Características de Funcionamiento de la red (Algoritmo)

#### 4. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software que se diseñó para resolver el problema de distritamiento (metropolitano y euclidiano) aplicando la filosofía de la Red Neuronal de Kohonen y haciendo uso de las ventajas que ofrece la simulación, hizo que se llegara a mostrar una interfaz práctica.

El software recibe todos los datos para realizar el distritamiento en un solo formulario, el cual se ha dividido en 7 sectores;

- I. Aprendizaje: El usuario le suministrará los datos de entrada referentes al número de iteraciones, número de distritos y número de patrones de aprendizaje
- II. Distritamiento: Podrá ser de dos formas Metropolitano ó Euclidiano.
- III. Tipo de distribución: El usuario podrá elegir entre tres clases de distribución como son uniforme (RND), exponencial ( $\exp(\text{RND})-1$ ), sigmoidal ( $1/\exp(\text{RND})$ ), las cuales tienen sentido para la ubicación de los patrones de entrenamiento.[8]
- IV. Tipo de Recurso: El usuario determinara el tipo de recurso a distritar seleccionando entre público y privado, dependiendo de los principios explicados.
- V. Tabla de Evolución: Se muestran los valores de los pesos iniciales y su cambio con el transcurso del tiempo, para las iteraciones siguientes;  $t(5)$ ,  $t(20)$ ,  $t(100)$ , y un  $t$  final igual al escogido en la fase de aprendizaje, en esta última iteración se muestra la distribución probabilística de los patrones de aprendizaje para cada distrito.
- VI. Modulo Gráfica: Se muestra el proceso evolutivo de organización de las neuronas, las cuales están representadas por el número de distritos que se escogen en la fase de aprendizaje y que son generados de forma automática durante el proceso de aprendizaje, la ubicación final dependerá de los patrones de entrenamiento que se escojan y de la distribución que se le asigne  
Se ha implementado el uso del mouse para que al deslizarse por esta ventana y pulsando su

tecla derecha indique la coordenada de ese punto y el distrito sobre el cual se encuentra.

## VII. Botones de control:

- **GENERAR:** Se consigue la generación automática de los pesos en la tabla de pesos, a demás de su graficación junto con la de los patrones de entrenamiento.
- **SIGUIENTE:** Permite observar la redistribución de los pesos durante las iteraciones más significativas del proceso de entrenamiento para la formación de los distritos.
- **GUARDAR:** Despliega una ventana donde guardamos en un archivo de formato gráfico (.bmp, .jpg, .jpeg, .gif) el plano con la ubicación de las facilidades y las zonas distritadas, para su posterior manejo, edición o impresión.
- **SALIR:** Hace que se abandone el software.

## 6. PRUEBAS REALIZADAS AL SOFTWARE

A continuación se presenta la interfaz diseñada para mostrar la simulación de formación de distritos por medio del uso de redes neuronales de Kohonen. [2]

Para realizar las pruebas al software se tomaron 500 iteraciones como mínimo, teniendo en cuenta que la precisión en la distancia calculada varía en términos de  $10E-9$ , determinando como óptimas la toma de resultados entre 500 y 1000 iteraciones. Se tiene en cuenta que el número de patrones de entrenamiento debe ser siempre mayor al número de facilidades a ubicar y distritar, además, el número de facilidades o distritos debe ser mayor de dos en este modelo.

### Caso 1.

Se obtendrán 2 distritos y un número de patrones de entrenamiento de 30, los cuales se generan aleatoriamente. Escoge tipo de distritamiento euclidiano y decide que la distribución de los patrones de entrenamiento sea uniforme, considerando dos patrullas como recursos públicos (Figura 1).

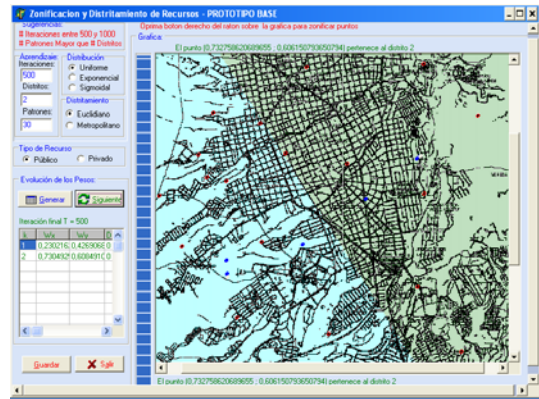


Figura 1. Resultados del distritamiento caso 1

### Caso 2.

Se obtendrán 2 distritos y un número de patrones de entrenamiento de 30, los cuales se generan aleatoriamente dependiendo de una distribución sigmoïdal para cada una de las coordenadas y tipo de distritamiento metropolitano, considerando dos patrullas o ambulancias públicas. (Figura 2).

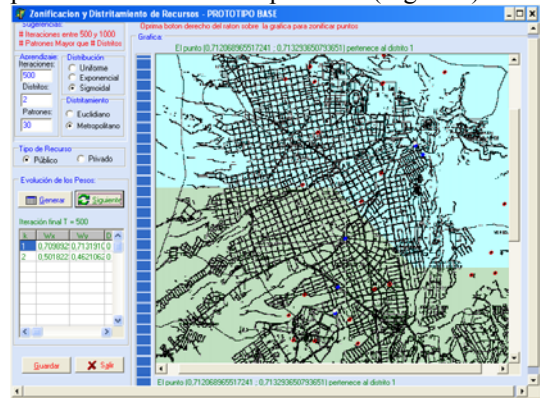


Figura 2. Resultados del distritamiento caso 2

### Caso 3.

Se obtendrán 2 distritos y un número de patrones de entrenamiento de 300, los cuales se generan aleatoriamente dependiendo de una distribución sigmoïdal para cada una de las coordenadas y tipo de distritamiento metropolitano, considerando 2 cines o 2 centros comerciales como los recursos privados. (Figura 3)

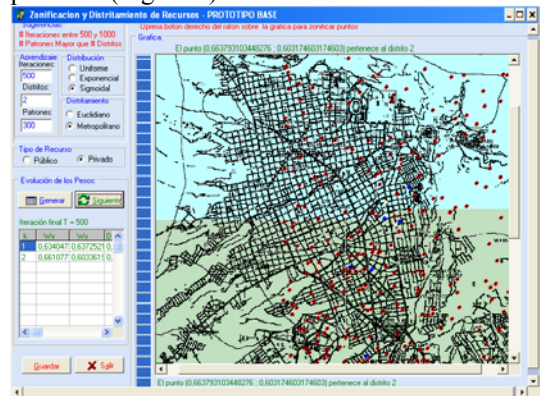


Figura 3. Resultados del distritamiento caso 3

#### Caso 4.

Se obtendrán 6 distritos y un número de patrones de entrenamiento de 500, los cuales se generan aleatoriamente dependiendo de una distribución exponencial(Figura 4) y sigmoial(Figura 5) para cada una de las coordenadas y tipo de distritamiento metropolitano, considerando que el recorrido se hace con facilidades como patrullas o ambulancias públicas.

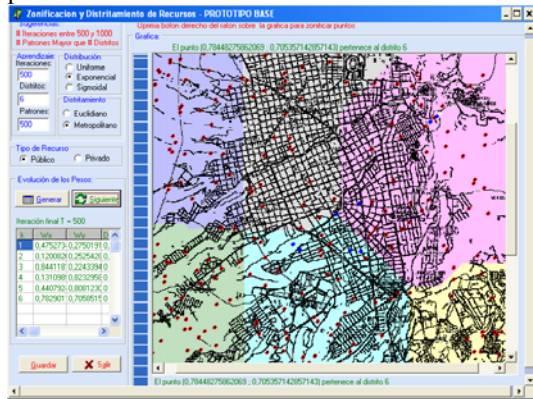


Figura 4. Resultados del distritamiento caso 4

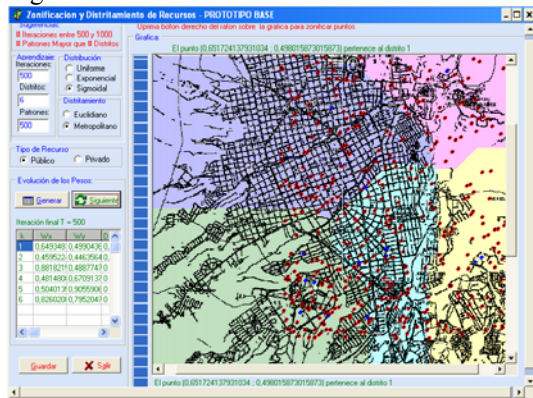


Figura 5. Resultados del distritamiento caso 4.

#### Caso 5.

Se obtendrán 14 distritos para sus facilidades considerando sus recursos como centros de atención inmediata(CAI) o centros de atención de tránsito(CAT) y un número de 500 patrones de entrenamiento o incidentes como situaciones de riesgo, accidentes de tránsito y otros, los cuales se generan aleatoriamente dependiendo de una distribución exponencial para cada una de las coordenadas con los tipos de distritamiento euclidiano realizado por helicópteros de primeros auxilios(Figura 6) y metropolitano atención prestada por ambulancias(Figura 7).

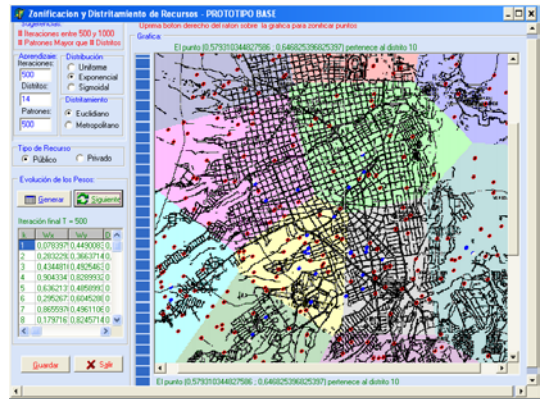


Figura 6. Resultados del distritamiento caso 5

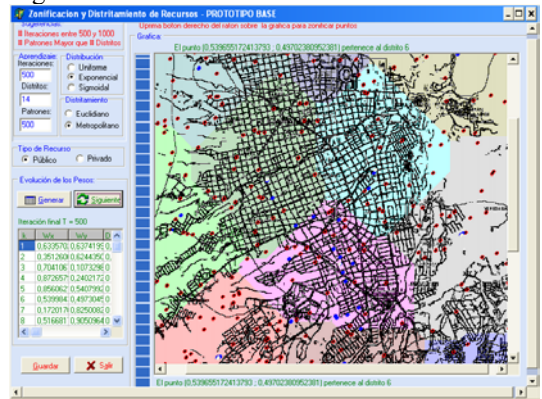


Figura 7. Resultados del distritamiento caso 5

Y por ultimo observamos el caso número 5 de la figura 6, pero para una población de patrones de 5000 y 50 facilidades. El proceso tarda aproximadamente 1minuto, en un procesador de 2.4 Gigas Hertz y RAM de 256Megas.(Figura 8).

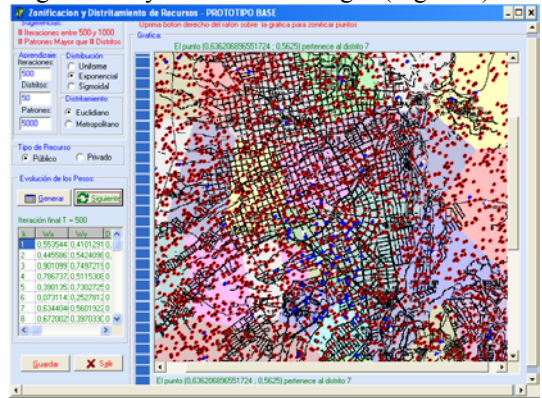


Figura 8.

La grafica guardada en .jpg. se observa a continuación:

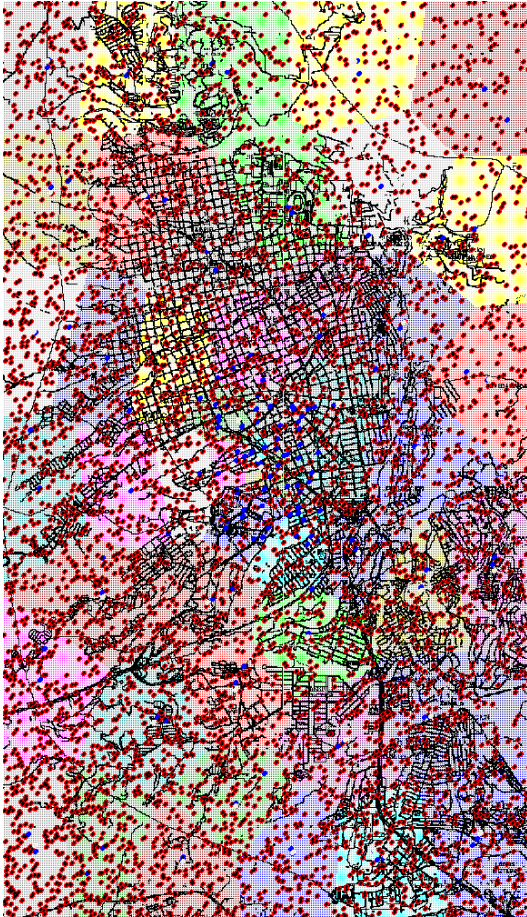


Figura 9. Archivo gráfico de distritamiento.

## 7. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

- En el aspecto científico se establece que dependiendo de la distribución de una serie de patrones o datos que indican una ubicación dentro de un área predeterminada, se puede ubicar estaciones (facilidades), las cuales tendrán un distrito determinado por la clasificación que hace la red neuronal, pudiéndose de esta manera determinar la capacidad de atención de una estación o subestación a cualquier punto dentro del distrito.
- En el aspecto social y de planeación general la red puede determinar el número de recursos necesarios para suplir la demanda y la ubicación adecuada en términos de atención al incidente o situación que se estudie, dependiendo de la población y la finalidad de los recursos que se desean instalar, relacionados con su ubicación dentro del mapa de un barrio, ciudad, municipio, departamento, país o continente. Teniendo en cuenta la distribución de puntos de población en el caso de una ciudad como la unidad de densidad de población por manzanas y la clase de población que requiere de la ubicación o reubicación de recursos cuya oferta

(capacidad) no cubren la demanda (población) debido a su mala ubicación. A nivel macro se puede tener en cuenta la población de zonas de incidencia delincriminal para ubicación de bases militares móviles o bases aéreas. Con población de zonas agrícolas para la instalación de centros de abastos o de insumos para la producción entre otras posibles aplicaciones.

## 8. REFERENCIAS

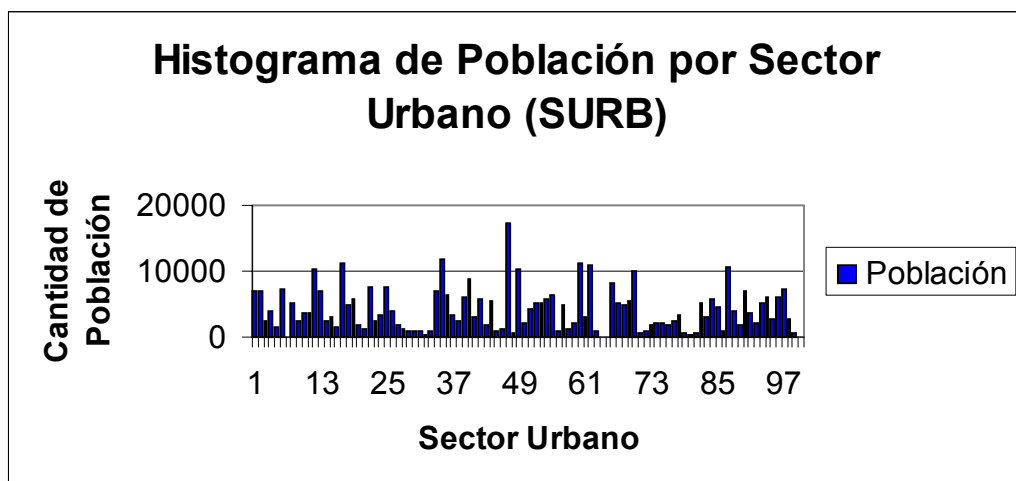
- [1] URBAN OPERATIONS RESEARCH. Richard C. Larson / Amedeo R. Odoni. Massachusetts Institute of Technology. Prentice – Hall. USA.
- [2] TECNOLOGIAS ADAPTATIVAS. Fernando Ruiz Díaz. Material de Clase. Bucaramanga. UIS 2000. COLOMBIA.
- [3] AN INTRODUCTION TO NEURAL COMPUTING. KOHONEN, T. 1988a.
- [4] INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y MINIROBOTS. Alberto Delgado. Ecoe Ediciones. Santa Fe de Bogotá. COLOMBIA.
- [5] SELF ORGANIZING MAPS. Kohonen T (1997). 2ª Ed Springer – Verlag. Berlin. Heilderberg.
- [6] NEURAL NETWORK, SIMON HAYKIN Mac Millian. 1994. Ontario, CANADÁ.
- [7] REDES NEURONALES ARTIFICIALES. José Ramón Hilera González. Addison – Wesley Iberoamericana. USA
- [8] SIMULACIÓN DIGITAL. Fernando Ruiz Díaz. División de Publicaciones. 1999. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. COLOMBIA.

## Anexo B.

### ANÁLISIS DE POBLACIÓN POR SECTOR URBANO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA PARA LA UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE RECURSOS Y DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR SECTORES URBANOS.

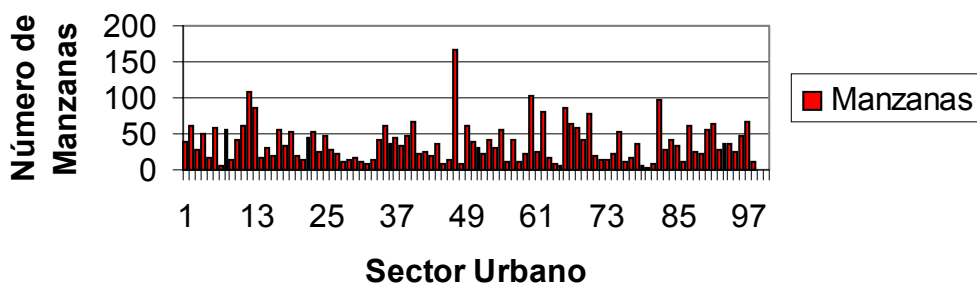
### ANÁLISIS DE POBLACIÓN POR SECTOR URBANO DE LA CIUDAD DE BUCARAMANGA PARA LA UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE RECURSOS.

Los datos fuente para la obtención de los resultados del siguiente estudio fueron tomados de la base de datos geográfica de Bucaramanga, perteneciente al **XVI CENSO NACIONAL DE POBLACION Y V DE VIVIENDA, Informe de viviendas, hogares y personas a nivel de manzana** realizado en el año de 1993, Fuente suministrada por el **DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADISTICA – DANE.**



Total Personas	409639
Promedio de Medias por sección	115,9635674
Varianza	10727882,58
Desviación	3275,344651

## Histograma de Manzanas por Sector Urbano (SURB)



Total Manzanas	3617
Promedio	36,17
Varianza	740,3041414
Desviación	27,20853067

Total Manzanas	3617
Total Personas Bucaramanga_1993	409639

**Media Total = Total de Población año 1993 / Total de Manzanas**

Promedio Total 113,2538015

### Datos Por Sector Urbano de Manzanas por sección

0 01	0 02	0 86	0 88	0 89	0 90	0 99	0 03	0: 76	0: 77	0: 78	0: 80	0: 85	0: 04	0 05
6	17	15	7	18	14	5	16	14	21	16	10	20	10	9
6	11	13	14		14		8		22	6	13	17	7	14
16	16		10		11		12			12	10	16		7
10	17		18		19		20			10	11	20		
										8	11	12		
										8	11			
											18			
											15			
											10			
38	61	28	49	18	58	5	56	14	43	60	109	85	17	30

0: 06	0: 07	0: 08	0: 20	0: 31	0: 91	0: 18	0: 21	0: 22	0: 23	0: 24	0: 25	0: 71	0: 73	1: 474
10	7	11	9	9	13	10	6	14	15	11	12	11	13	17
10	12	10	11	11		8	9	11	17	9	10			
	11	12	10			13	8		16	7				
	9		12			13	10							
	16		12				9							
							12							
20	55	33	54	20	13	44	54	25	48	27	22	11	13	17

0: 75	0: 83	0: 84	0: 26	0: 27	0: 28	0: 29	0: 67	0: 70	0: 36	0: 50	0: 51	0: 57	0: 58	1: 659
11	8	13	14	12	11	10	17	16	10	9	12	10	10	8
			11	13	13	8	17	31	14	13	13	10	8	
			10	14	13	10			11				8	
			8	13		10			12				10	
				10		6			10					
									9					
11	8	13	43	62	37	44	34	47	66	22	25	20	36	8

0: 92	0: 52	0: 53	0: 54	0: 97	0: 98	0: 55	0: 56	0: 61	0: 944	0: 60	0: 63	0: 81	0: 87	1: 2	1: 64
8	46	9	14	22	22	11	20	23	10	10	19	11	12	7	12
5	19		7	18	8	12	11	8	29		23		10	16	12
	8		7				11		17					10	
	27		11											15	
	15		10											12	
	13		11											19	
	26													11	
	13													13	

1: 82	1: 00	1: 01	1: 02	1: 94	1: 95	1: 96	1: 37	1: 38	1: 39	1: 40	1: 241	1: 242	1: 243
10	17	8	6	17	18	11	11	11	19	13	14	11	17
13				23	20	22	11	13			1	10	22
11				16	14	19	12	9					14
11				14	13	5	9	7					
12				15				13					
18								17					
5								7					
80	17	8	6	85	65	57	43	77	19	13	15	21	53

1: 46	1: 47	1: 248	1: 249	1: 266	1: 268	1: 293	1: 309	1: 312	1: 313	1: 314	1: 315	1: 316	1: 317
10	8	8	5	4	8	12	1	14	9	10	11	14	11
	10	13				25	15	12	10		11	11	11
		16				24	5	16	13		10		
						15	8				16		
						17					12		
						5							

10	18	37	5	4	8	98	29	42	32	10	60	25	22
----	----	----	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

1319	1330	1332	1333	1334	1335	1410	1411	1501	9999	106
12	12	13	11	14	13	18	31	12	1	1
11	13	14	13	11	13	5	8			
11	12		12	11		24	17			
10	10						12			
11	8									
	8									
55	63	27	36	36	26	47	68	12	1	1

### Datos de Población por Sector Urbano por Manzana

101	102	186	188	189	190	199	203	276	277	278	280	285	304	305
190	147	64	156	91	143	1	72	242	34	90	354	49	54	59
209	84	291	117	32	3	3	195	184	97	45	50	30	145	166
102	156	104	114	95	26	10	312	126	65	30	423	146	294	142
196	227	64	93	29	1	6	38	169	47	81	218	114	139	3
168	258	74	0	83	117	5	45	96	117	102	13	171	206	320
0	219	65	57	56	52		36	265	60	49	49	96	61	260
327	5	90	118	61	46		242	140	236	54	140	99	27	93
85	242	0	73	139	13		29	339	0	95	95	230	142	186
123	258	21	648	58	52		27	241	24	97	92	127	177	79
150	267	94	415	41	112		8	290	19	66	14	48	25	59
123	5	177	145	139	179		51	189	126	126	70	89	138	53
6	13	250	18	199	13		14	8	61	48	115	103	168	6
273	46	157	38	132	47		12	184	131	35	74	41	238	35
340	49	66	23	11	31		47	64	51	90	67	61	233	182
358	24	29	210	155	136		496		65	61	69	23	226	85
298	7	78	191	34	178		68		64	0	83	2	126	91
213	6	103	347	132	269		104		56	62	67	5	159	80
242	208	135	0	51	220		98		51	62	99	5		24
184	294	70	13		201		72		55	62	42	3		21
213	315	19	173		174		9		41	94	104	161		19
272	213	59	93		161		44		51	125	107	38		68
20	180	114	100		235		45		86	38	92	177		48
10	270	100	273		4		68		47	51	22	208		33
16	211	53	42		103		82		49	56	67	142		18
217	214	142	137		94		80		61	44	12	151		21
235	7	16	0		120		31		202	70	94	77		283
33	3	75	12		146		74		181	24	82	121		167

289	279	14	10		74		57		89	109	20	144		196
148	107		259		333		61		157	45	34	77		203
32	68		14		124		65		134	55	132	26		47
272	281		7		167		88		43	52	144	127		
322	243				232		69		63	52	144	147		
239	205				186		59		38	52	107	13		
144	173				117		61		25	3	26	76		
199	205				112		45		135	132	188	76		
261	212				294		64		147	20	179	66		
242	132				446		32		89	59	117	40		
150	105				22		171		66	44	79	156		
	88				252		301		75	81	69	146		
	103				54		58		106	45	43	145		
	3				125		75		116	96	72	75		
	11				203		27		52	36	174	65		
	93				74		32		106	22	4	57		
	60				68		110			32	12	59		
	7				126		225			86	73	127		
	16				195		238			51	110	139		
	22				127		0			88	34	155		
	23				62		93			113	104	152		
	25				226		55			57	98	112		
	3				122		205			52	143	101		
	53				100		90			72	130	101		
	22				125		63			34	65	2		
	4				146		147			49	36	59		
	14				151		255			74	25	167		
	4				14		12			99	21	197		
	8				29		99			54	173	21		
	81				9					73	170	3		
	117				43					20	143	44		
	44									56	131	15		
	64									4	44	16		
	34										99	17		
											17	9		
											36	8		
											30	10		
											66	16		
											20	155		
											119	45		
											158	48		
											177	112		

											153	82		
											171	78		
											97	76		
											4	27		
											180	55		
											100	45		
											113	58		
											119	84		
											101	78		
											181	112		
											122	126		
											130	12		
											76	16		
											89	10		
											3	0		
											141	120		
											60			
											104			
											90			
											98			
											81			
											72			
											123			
											77			
											37			
											84			
											133			
											33			
											59			
											63			
											53			
											99			
											53			
											104			
											98			
											109			
											57			
											133			
											103			
											6			
6901	6837	2524	3896	1538	7234	25	5256	2537	3518	3674	10189	6822	2558	3047

0 306	307	0 308	0 320	0 331	0 391	0 118	0 121	0 122	0 123	0 124	0 125	0 171	473	0 174
222	155	258	77	77	176	28	60	9	236	15	288	88	82	22
141	243	141	107	115	50	118	77	50	107	287	308	117	69	74
76	395	150	169	127	108	109	134	206	226	234	309	120	37	125
203	202	146	104	101	148	103	190	37	192	130	193	102	87	30
100	110	149	19	21	60	156	103	166	79	4	258	198	109	104
59	182	206	110	39	50	191	10	196	235	163	66	148	93	4
83	195	142	145	158	176	324	12	110	113	228	2	173	96	220
37	208	184	85	95	40	237	28	307	149	370	8	128	110	26
5	117	164	29	32	48	542	9	85	193	111	25	77	28	12
11	106	170	186	54	33	33	31	405	165	297	6	93	17	5
18	133	152	71	127	230	193	13	22	189	20	52	68	64	7
77	182	249	153	82	89	219	71	176	137	155	48		78	192
23	280	97	128	113	84	199	4	53	19	197	11		88	41
103	157	184	133	110		259	101	8	173	75	8			3
19	161	94	211	58		430	99	2	120	0	31			23
206	172	64	141	66		219	47	175	77	121	7			14
30	183	97	61	88		202	39	118	273	171	5			25
32	114	173	55	89		272	123	133	77	170	8			
57	221	125	184	49		146	45	318	270	174	11			
92	250	180	133	91		252	73	272	218	16	6			
	168	205	134			189	82	29	164	194	13			
	228	157	115			170	14	443	170	77	113			
	218	70	30			153	6	18	197	175				
	210	120	41			80	3	33	117	185				
	187	105	17			108	22	11	194	154				
	186	140	27			178	11		194	26				
	131	110	93			123	15		195	47				
	205	129	116			213	53		140					
	120	274	4			90	15		59					
	134	90	27			153	50		153					
	228	85	74			46	78		278					
	311	111	132			40	57		41					
	137	54	139			171	45		163					
	86		157			63	88		183					
	277		189			198	78		231					
	268		154			163	1		94					
	332		84			170	83		247					
	313		33			120	5		203					
	375		200			0	40		208					
	274		156			141	9		170					
	281		65			262	53		286					

	224		53			173	2		11					
	198		0			52	8		69					
	143		11			137	44		178					
	155		73			33	20		250					
	125		200				0		90					
	197		142				0		129					
	92		146				7		13					
	100		138				20							
	117		212				43							
	152		148				133							
	252		185				102							
	739		36				38							
	120		14				7							
	47													
1594	11096	4775	5646	1692	1292	7458	2501	3382	7675	3796	1776	1312	958	927

( 47 5	0483	0184	0326	0527	0328	0329	0367	0370	0336	0350	0351	0357	0358	0359
59	19	139	153	0	203	147	52	460	87	5	183	74	192	126
218	16	18	83	192	114	73	226	117	420	12	22	148	271	122
70	13	31	46	275	78	31	81	112	166	74	500	145	204	121
74	9	28	236	240	128	48	249	560	126	114	347	114	181	162
197	28	179	172	394	235	157	243	34	259	99	276	13	163	156
15	83	18	8	215	119	138	49	36	176	175	283	125	132	71
10	4	93	180	136	119	67	68	60	198	378	332	83	158	83
28	3	49	162	242	167	73	93	5	216	501	263	143	159	154
37		29	358	124	107	48	69	54	36	270	174	37	77	
205		40	367	312	213	16	46	12	24	183	269	34	75	
36		61	331	114	144	44	51	38	175	139	317	45	189	
		25	83	0	113	166	44	56	21	268	177	27	132	
		51	53	426	14	91	69	87	73	128	107	143	176	
			180	506	144	66	33	142	208	140	207	103	325	
			331	200	277	16	15	56	35	91	303	104	204	
			328	443	306	46	26	954	98	68	250	33	126	
			32	281	143	6	32	354	215	72	122	134	101	
			38	17	169	17	40	365	187	122	17	11	94	
			130	216	135	2	140	215	158	148	85	110	8	
			165	274	111	5	0	108	98	88	558	41	130	
			163	299	170	47	81	338	235	8	436		144	
			198	55	333	56	55	36	180		228		143	
			169	100	166	19	0	71	102		118		147	
			219	0	1	5	41	71	59		132		189	
			120	142	185	38	58	66	156		149		185	

			15	272	263	16	60	69	54				155		
			166	182	342	64	54	69	28				132		
			154	691	313	50	58	58	298				144		
			227	335	203	40	66	67	278				107		
			188	56	266	89	75	79	16				160		
			150	219	73	123	87	64	63				152		
			150	235	23	15	10	68	173				197		
			149	227	22	201	86	86	243				159		
			204	229	302	79	18	238	159				112		
			172	154	351	112		69	53				94		
			13	167	271	97		214	185				111		
			204	175	49	207		78	210						
			180	163		190		143	163						
			223	296		160		83	125						
			201	1		146		68	100						
			170	35		118		37	88						
			142	397		41		96	195						
			44	67		143		23	107						
				219		105		25	124						
				379				59	58						
				31				31	9						
				29				46	95						
				39					164						
				33					98						
				39					94						
				35					118						
				2					95						
				107					200						
				366					213						
				268					184						
				131					108						
				329					41						
				142					39						
				223					69						
				83					7						
				104					52						
				120					161						
									163						
									120						
									182						
									23						
{ 49		175	'61	7 )57	1  783	6 }72	3  18	2 }75	6  77	8 }63	3 )83	5 }55	1 }67	5  28	}95

C 392	C 752	C 753	C 754	C 797	C 798	C 355	C 356	C 361	C 344	C 360	C 363	0981	0987	1062	1064
37	65	21	3	48	92	4	586	397	102	12	5	80	5	48	66
5	68	113	332	43	80	341	5	513	114	60	134	156	50	213	144
93	397	183	371	23	39	266	415	193	146	68	261	173	92	250	124
66	395	106	342	6	34	472	14	73	91	113	237	187	66	196	114
97	127	82	47	17	171	163	178	202	67	121	90	184	70	218	127
162	62	5	336	30	194	411	90	231	113	158	60	82	80	215	160
129	71	47	357	39	195	277	115	285	84	178	141	39	111	228	125
58	71	57	284	49	168	280	9	111	74	201	6	50	149	233	188
50	70	65	259	34	199	509	26	173	205	84	28	33	110	233	243
113	69		224	67	252	317	10	251	146	34	149	118	87	2	4
96	70		200	82	221	308	14	14	223		115	19	95	227	201
118	12		0	66	156	16	91	142	234		138		91	244	5
121	160		69	3	254	15	60	313	163		161		95	185	118
	158		33	9	143	309	218	86	131		126		132	109	242
	27		176	7	192	203	4	139	173		98		171	249	224
	52		244	0	280	214	153	268	206		74		156	169	208
	57		54	210	253	177	69	105	200		137		195	252	140
	70		256	53	163	209	268	163	182		100		74	196	92
	47		61	4	32	321	236	67	139		31		57	223	24
	82		298	90	18	269	407	155	153		18		50	217	19
	47		151	25	29	62	101	82	130		97		103	191	133
	51		305	52	39	107	132	79	70		87		109	3	94
	46		365	41	110	51	93	74	52		230			21	103
	61		358	32	49		105	177	55		166			49	12
	46		260	46	122		102	157	46		57			27	
	68		240	55	50		131	155	43		115			252	
	50		360	67	100		135	82	46		210			59	
	64		260	156	7		101	74	48		172			84	
	63		306	93	367		106	374	53		145			31	
	66		138	73	302		102	463	51		236			61	
	73		94	93			49	141	57		221			96	
	78		223	113			107		57		86			34	
	50		209	108			154		43		17			9	
	44		163	67			102		64		120			87	
	66		218	40			105		37		101			89	
	75		126	53			67		92		104			108	
	53		123	46			80		169		107			78	
	44		141	52			76		56		106			91	
	55		125	48			119		299		103			76	
	35		112	7			110		102		101			62	
	65		130				106		41		42			35	
	76		125				80		145		108			146	
	48		139						180					121	
	37		128						192					199	

	51	129						25					178
	69	110						147					145
	8	155						101					140
	522	106						86					5
	379	36						113					57
	399	24						43					65
	28	79						229					29
	35	295						199					55
	39	255						149					224
	39	186						84					187
	39	73						79					292
	49	35						31					194
	23	60											184
	26	68											172
	28	67											146
	32	8											19
	30												120
	41												98
	31												197
	140												125
	97												117
	264												72
	99												94
	218												76
	151												105
	125												149
	114												95
	202												76
	341												35
	91												181
	353												1
	282												0
	74												6
	417												89
	260												276
	67												68
	40												74
	52												57
	86												68
	229												66
	277												94
	162												61
	6												81
	39												124
	50												70

45														82
40														55
115														23
57														30
106														32
66														37
83														25
82														28
91														31
90														36
90														25
128														42
78														55
85														58
266														
107														
110														
87														
119														
28														
198														
24														
47														
56														
79														
19														
697														
156														
104														
205														
70														
32														
8														
40														
47														
61														
59														
18														
32														
111														
191														
236														
15														
269														
371														

	36														
	283														
	32														
	345														
	33														
	36														
	28														
	27														
	31														
	34														
	41														
	31														
	34														
	26														
	25														
	26														
	27														
	21														
	31														
	60														
	117														
	344														
	129														
	81														
	83														
	25														
	60														
	23														
	48														
	3														
	42														
	45														
	319														
1 145	1 713 9	379	1 143 1	2 147	4 311	5 301	5 231	5 739	6 360	1 129	4 340	1 121	2 148	1 1242	2 910

1082	1100	1101	1102	1194	1195	1196	1 237	1 238	1 239	1 240	1 241	1 242	1243
121	21	6	38	222	78	49	209	39	0	57	48	27	132
111	14	2	7	238	83	58	195	98	23	102	61	116	9
142	59	5	16	231	83	97	116	123	48	31	124	240	35
169	55	6	6	216	102	67	206	35	45	97	103	229	20
161	77	5	16	155	89	73	95	263	103	9	99	126	109
108	42	7	11	257	91	94	187	236	35	76	128	101	94
17	23	7		252	98	72	119	42	65	93	130	142	73

21	60	6		208	118	60	174	259	0	132	146	73	71
95	43			207	116	29	16	176	27	20	95	30	75
164	79			252	68	41	145	74	35	112	143	83	43
6	66			246	51	26	71	170	14	79	143	197	34
155	43			181	48	123	10	288	29	51	146	141	26
211	84			10	113	105	83	76	36	82	315	76	86
69	54			44	120	105	214	37	19		24	167	15
205	38			5	19	66	455	22	3		27	49	5
172	21			136	8	116	56	141	19			123	46
243	14			79	3	83	87	59	31			68	34
8				23	4	119	89	77	26			101	42
36				138	4	82	41	137	38			53	35
13				116	113	107	141	394				54	39
55				97	152	107	127	6				12	41
66				108	69	129	57	102					42
60				112	57	127	73	161					38
257				104	76	115	40	174					42
168				151	59	123	115	80					38
192				152	58	130	96	180					38
125				136	62	68	228	101					39
277				128	160	55	76	187					1
214				111	41	97	169	412					5
268				115	74	80	40	275					0
240				81	90	102	176	282					0
310				76	63	105	71	40					0
248				78	68	70	157	138					0
232				42	137	112	107	214					10
319				40	99	133	154	95					1
278				69	83	89	106	103					127
239				53	80	93	97	120					102
176				35	107	81	199	35					0
190				38	27	36	241	127					37
266				15	26	124	190	78					173
12				68	79	61	51	64					8
179				177	10	108	9	36					20
174				337	122	97	85	171					37
174				104	20	94		107					20
312				133	26	90		106					67
201				42	43	88		123					30
14				86	51	127		45					17
97				84	49	113		263					6
79				117	44	65		91					0
121				81	93	52		116					16
70				76	41	68		55					0
90				55	90	65		25					0

95				4	142	52		44					2
81				28	48	11		130					
135				6	155	27		138					
83				8	73	23		130					
140				265	101	194		132					
50				74	119			126					
118				12	192			121					
141				51	206			45					
195				89	132			260					
80				141	123			75					
204				125	0			43					
149				126	71			52					
37				50	92			139					
196				82				99					
123				8				140					
295				90				131					
285				50				54					
24				2				71					
71				65				447					
36				5				56					
13				5				151					
10				5				118					
52				59				119					
14				5				143					
70				34				116					
81				59									
22				26									
67				12									
				58									
				201									
				37									
				19									
				3									
10797	793	44	94	8121	5119	4883	5373	9338	596	341	1732	2208	1980

1246	1247	1248	1249	1266	1268	1293	1309	1312	1313	1314	1315	1316	1317
228	118	221	110	29	73	179	21	207	252	82	137	186	19
188	121	97	172	106	104	4	83	192	313	165	99	34	145
267	73	124	111	80	34	159	88	209	46	167	123	48	125
162	226	203	186	120	121	5	205	185	11	118	232	104	85
123	131	187	83		20	35	54	160	162	60	262	224	8
160	226	109			107	34	86	189	149	71	80	149	180

94	131	156			17	78	85	239	65	65	197	114	177
162	250	132			4	33	86	188	86	58	2	109	87
185	49	105				27	77	262	226	71	131	169	59
174	31	195				25	73	87	53	73	195	121	129
	80	65				24	77	91	53		130	273	2
	48	117				47	84	82	163		196	200	35
	61	99				53	76	82	116		147	122	28
	80	88				34	38	472	135		174	639	71
	224	35				50	46	125	109		183	115	91
	124	90				21	244	115	131		627	112	128
	112	251				36	146	112	132		154	184	172
	208	1				39	141	100	6		250	92	80
	27	46				16	194	127	529		156	94	57
	36	33				21	72	131	78		163	29	75
		102				23	228	127	91		219	232	107
		62				33	104	123	128		100	141	68
		64				36	99	124	252		215	189	
		108				26	145	37	116		172	154	
		29				26	144	17	160		240	101	
		34				12	53	10	168		190		
		29				30	164	193	106		156		
		29				7	101	188	157		137		
		93				15	3	155	74		194		
		28				25		162	174		186		
		27				14		140	236		174		
		25				22		56	38		174		
		31				22		120			143		
		33				10		6			222		
		41				24		19			305		
		31				25		61			161		
		68				11		112			187		
						28		149			117		
						85		142			164		
						94		164			149		
						45		170			0		
						42		88			171		
						48					69		
						38					220		
						43					134		
						33					160		
						64					138		
						47					81		

						53						139		
						28						103		
						15						143		
						99						188		
						90						139		
						122						212		
						100						256		
						61						244		
						46						182		
						73						194		
						80						259		
						7						194		
						114								
						11								
						0								
						0								
						26								
						22								
						28								
						9								
						45								
						112								
						73								
						15								
						38								
						52								
						109								
						53								
						52								
						125								
						45								
						64								
						28								
						160								
						140								
						121								
						118								
						154								
						69								
						71								
						49								
						36								

						8							
						22							
						0							
						95							
						137							
						138							
						139							
1743	2356	3188	662	335	480	5100	3017	5718	4515	930	10469	3935	1928

319	330	332	333	334	335	410	411	501	999	106
107	108	94	36	18	45	664	71	7	644	71
96	24	70	205	3	90	395	93	27		
45	23	86	167	114	149	481	153	265		
76	79	70	220	44	141	185	97	1022		
113	78	65	73	16	158	133	99	40		
154	47	51	232	15	95	142	247	23		
103	165	100	65	165	176	32	102	26		
175	15	93	62	194	90	23	106	23		
54	86	225	88	163	82	372	42	32		
91	124	108	267	264	87	50	26	25		
132	35	15	63	185	83	172	24	1022		
175	40	0	47	124	0	300	74	365		
78	13	9	71	501	350	387	77			
77	6	95	289	107	31	18	73			
164	2	74	62	163	126	101	309			
214	103	89	83	79	132	59	113			
202	81	247	88	113	209	40	111			
226	6	71	0	360	46	23	165			
82	122	68	124	355	38	29	138			
41	37	89	122	326	140	182	200			
147	33	62	96	168	192	48	59			
235	0	84	100	163	63	42	52			
226	38	69	85	146	127	22	95			
82	1	212	69	112	41	51	21			
207	18	25	307	219	151	205	24			
158	8	11	104	46	32	279	61			
241	36	0	124	220		88	77			
39	104		298	101		88	82			
57	156		258	151		60	263			
153	36		205	133		111	74			
127	72		341	99		62	175			

100	136		222	387		73	60			
99	109		277	158		46	21			
129	124		201	110		102	181			
102	101		155	151		130	63			
68	120		5	309		7	18			
48	143					150	395			
48	31					75	326			
35	8					24	43			
208	62					12	107			
199	50					42	33			
185	99					174	117			
134	107					91	75			
213	59					32	95			
142	37					8	79			
180	40					23	48			
189	92					285	81			
212	62						270			
9	30						167			
67	46						117			
25	46						87			
66	69						173			
32	17						24			
122	51						231			
147	107						36			
	16						27			
	29						0			
	11						72			
	23						122			
	17						69			
	157						126			
	1						226			
	7						113			
							86			
							64			
							27			
							59			
							38			
836	703	182	211	982	874	118	179	877	644	71

## ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN POR SECTORES URBANOS

Utilizando el software STATGRAPHICS se encontró que la población por Sectores Urbanos tiene una distribución Exponencial como se muestra a continuación:

Analysis Summary

Data variable: Col\_1

100 values ranging from 25,0 to 17139,0

Fitted exponential distribution:

mean = 4096,39

The StatAdvisor

-----

This analysis shows the results of fitting an exponential distribution to the data on Col\_1. The estimated parameters of the fitted distribution are shown above. You can test whether the exponential distribution fits the data adequately by selecting Goodness-of-Fit Tests from the list of Tabular Options. You can also assess visually how well the exponential distribution fits by selecting Frequency Histogram from the list of Graphical Options. Other options within the procedure allow you to compute and display tail areas and critical values for the distribution. To select a different distribution, press the alternate mouse button and select Analysis Options.

El Resumen del análisis

La variable de los datos: Col\_1

100 valores que van de 25,0 a 17139,0

Encaje la distribución exponencial:

Malo = 4096,39

El StatAdvisor

-----

Este análisis muestra los resultados de encajar un exponencial la distribución a los datos en Col\_1. Los parámetros estimados de la distribución en buena forma se muestra anteriormente. Usted puede probar si la distribución exponencial encaja los datos adecuadamente seleccionando las Pruebas del bondad-de-ajuste de la lista de Opciones Tabular. Usted también puede evaluar visualmente qué bien que la distribución exponencial encaja por el Histograma de Frecuencia seleccionando de la lista de

Opciones Gráficas. Otras opciones dentro del procedimiento le permiten computar y desplegar áreas y los valores críticos por la distribución.

Goodness-of-Fit Tests for Col\_1

Chi-Square Test

	Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency	Expected Frequency	Chi-Square
at or below		546,997	7	12,50	2,42
	546,997	1178,46	15	12,50	0,50
	1178,46	1925,32	9	12,50	0,98
	1925,32	2839,4	12	12,50	0,02
	2839,4	4017,86	15	12,50	0,50
	4017,86	5678,8	14	12,50	0,18
	5678,8	8518,2	18	12,50	2,42
above	8518,2		10	12,50	0,50

Chi-Square = 7,52 with 6 d.f. P-Value = 0,275419

Estimated Kolmogorov statistic DPLUS = 0,0463352

Estimated Kolmogorov statistic DMINUS = 0,0882833

Estimated overall statistic DN = 0,0882833

Approximate P-Value = 0,42274

EDF Statistic	Value	Modified Form	P-Value
Kolmogorov-Smirnov D	0,0882833	0,889581	>=0.10*
Anderson-Darling A^2	1,24769	1,25518	0,0602*

\*Indicates that the P-Value has been compared to tables of critical values specially constructed for fitting the currently selected distribution. Other P-values are based on general tables and may be very conservative.

The StatAdvisor

This pane shows the results of tests run to determine whether Col\_1 can be adequately modeled by an exponential distribution. The chi-square test divides the range of Col\_1 into nonoverlapping intervals and compares the number of observations in each class to the number expected based on the fitted distribution. The Kolmogorov-Smirnov test computes the maximum distance between the cumulative distribution of Col\_1 and the CDF of the fitted exponential distribution. In this case, the maximum distance is 0,0882833. The other EDF statistics compare the empirical distribution function to the fitted CDF in different ways.

Since the smallest P-value amongst the tests performed is greater than or equal to 0.10, we can not reject the idea that Col\_1 comes from an exponential distribution with 90% or higher confidence.

Las Pruebas del bondad-de-ataque para Col\_1

Ver Tabla de resultados anterior.

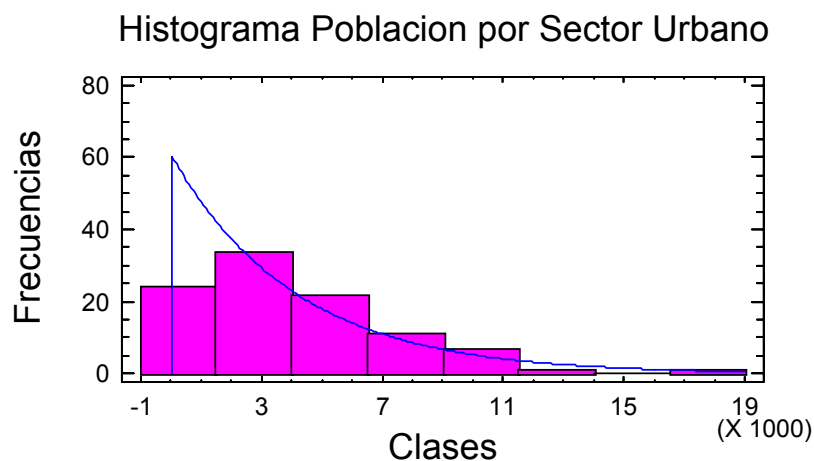
El Chi-cuadrado = 7,52 con 6 d.f. el P-valor = 0,275419

Kolmogorov estimado DPLUS estadístico = 0,0463352  
Kolmogorov estimado DMINUS estadístico = 0,0882833  
DN estadístico global estimado = 0,0882833  
El P-valor aproximado = 0,42274

EDF el Valor Estadístico Modificó el P-valor de la Forma

-----  
KOLMOGOROV-SMIRNOV D 0,0882833 0,889581 >=0.10 \*  
A^2 1,24769 1,25518 0,0602 Anderson-querido \*  
-----

\*Indicates que el P-valor se ha comparado a las tablas de valores críticos  
Construidos especialmente para encajar la distribución actualmente  
seleccionada.  
Otros P-valores están basados en las tablas generales y pueden ser muy  
conservadores.



El StatAdvisor

-----  
Esta pantalla muestra los resultados de corrida de las pruebas para determinar si Col\_1 puede ajustarse adecuadamente a una distribución exponencial. La prueba del Chi-cuadrado divide el rango de Col\_1 en el lapso fijo de intervalos y compara el número de observaciones en cada clase al número esperado basado en la distribución. La prueba de Kolmogorov-Smirnov computa la distancia máxima entre la distribución acumulativa de Col\_1 y el CDF del ajuste exponencial de la distribución. En este caso, la distancia máxima es 0,0882833. Otras estadísticas de EDF comparan la función de la distribución empírica para el CDF en buena forma de diferentes maneras.

El P-valor más pequeño entre las pruebas realizadas es mayor que o iguala a 0.10, nosotros no podemos rechazar la idea que Col\_1 viene de una distribución exponencial con 90% o con confianza más alta.

**ANEXO C.**

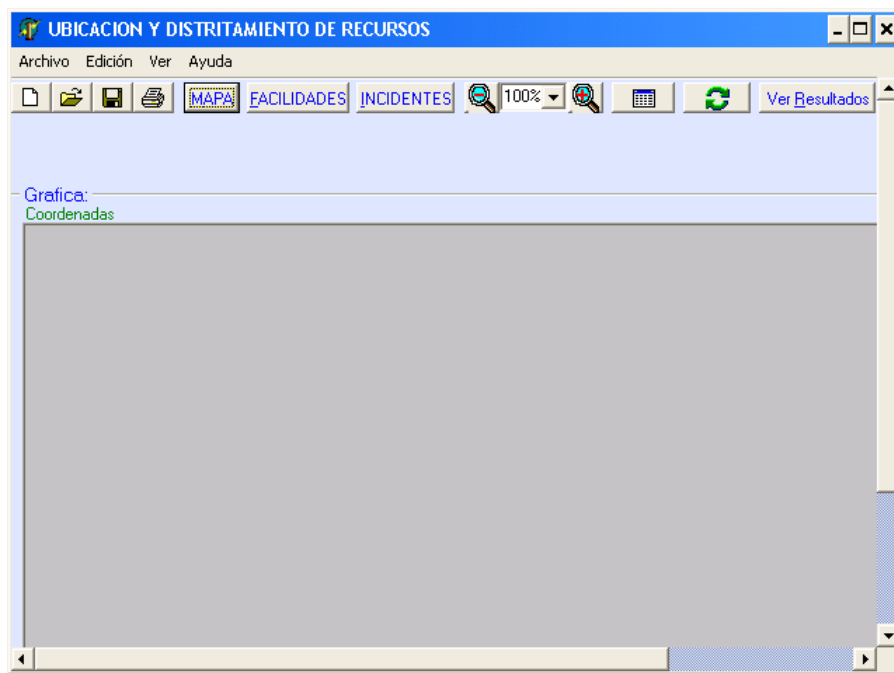
**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL**



**“NEURAL NET DISTRICT VERSIÓN 1.0” (NND1.0)**

**MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL NEURAL NET DISTRICT VERSION**

**1.0 “NND1.0”**

**Pantalla inicial de Neural Net District 1.0**



Para comenzar con el estudio de un distritamiento se debe hacer clic en el botón Nuevo , que permite inicializar todos los datos del distritamiento y mostrar la fase de aprendizaje para la recepción de los datos, si desea abrir un distritamiento efectuado, el botón abrir , permitirá desplegar las ventanas de diálogo, necesarias para que el distritamiento se cargue en la aplicación,

Una vez inicializada la aplicación el usuario debe tener en cuenta las siguientes fases, las cuales deben ser ejecutadas en el siguiente orden para un buen desempeño de la aplicación.

#### 1 Fase de aprendizaje.



En la fase de aprendizaje es indispensable registrar los datos de números de distritos, patrones y número de iteraciones con las que iniciará la red el proceso de ubicación de las facilidades en los respectivos cuadros de texto de la pantalla principal. Es importante tener en cuenta que el número de patrones o incidentes o puntos de demanda debe ser mayor al número de distritos o facilidades o estaciones, dado el caso o interpretación del mismo. El número de Iteraciones no tiene restricciones; sin embargo, no es aconsejable un número de iteraciones mayor de 10000, ya que el proceso demoraría mucho tiempo o bloquearía el equipo si no tiene la capacidad necesaria para la ejecución de la red. Se debe tener en cuenta que cada iteración realiza un número de operaciones de N-patrones por M-Distritos, así que si el procesador no tiene la capacidad necesaria, éste puede bloquearse y no permitir el desarrollo del algoritmo principal.

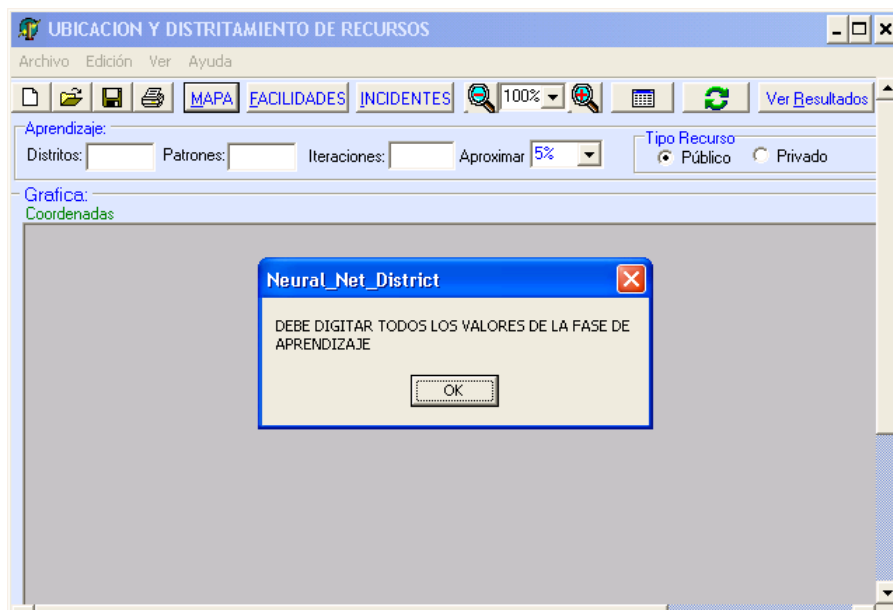


También se puede determinar una aproximación en porcentaje de la actualización de la ubicación de las facilidades con respecto a su ubicación anterior, aunque se puede determinar visualmente si las ubicaciones no tienen un movimiento significativo después de cada iteración, la aplicación determina el valor de las iteraciones necesarias a manera de información, ya que el manejo de coordenadas implica un manejo de unidades las cuales determinan la importancia de la aproximación, si hablamos de Kilómetros,

una aproximación del 5% equivaldría a 50 metros ( $1000\text{mts} \times 0.05$ ) de tolerancia en la ubicación de las facilidades, sin embargo, la aplicación permite que se pueda exceder este porcentaje a valores de tolerancia en milímetros, es decir cifras de  $10E-10$  Kilómetros o más, valor que solo se restringe al rango de datos que maneja el lenguaje de La aplicación en que fue creado DELPHI 5.0 que para nuestro caso los números Reales, el rango va desde  $5.0 \times 10^{-324}$  a  $1.7 \times 10^{308}$  con un numero de cifras significativas entre 15 y 16.

Seleccionando el tipo de recurso, Publico o privado, podemos observar en las fases de toma de datos Facilidades e incidentes la adición o no de la población, según los criterios establecidos por la red, un recurso de carácter publico no debe tener en cuenta la cantidad de población(Criterio de Eficiencia Espacial), sino más bien el hecho de cubrir todo el territorio o demanda distribuida de incidentes.

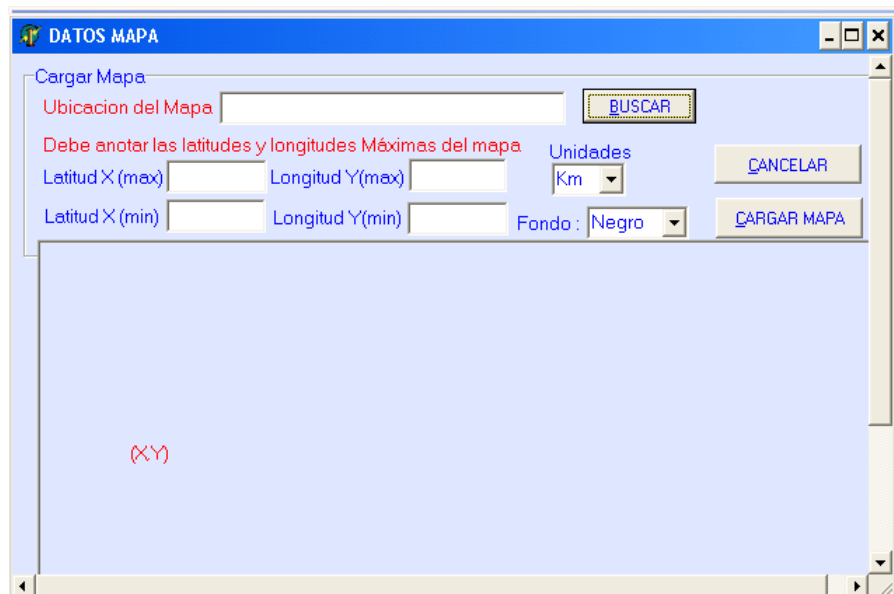
2 Fase toma de datos. Después de asignar los valores para el aprendizaje de la red neuronal, en caso de que se omitan, el programa mostrara la siguiente pantalla de advertencia,



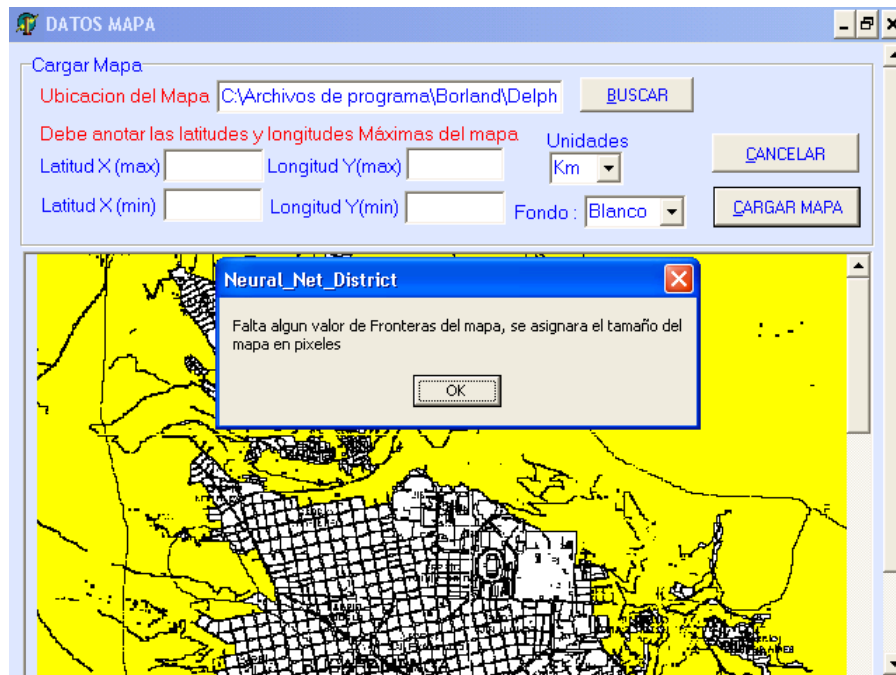
Sin que esta represente un impedimento para la toma de los datos del mapa, se debe empezar con cargar los siguientes datos:

1. Toma de Datos del mapa:

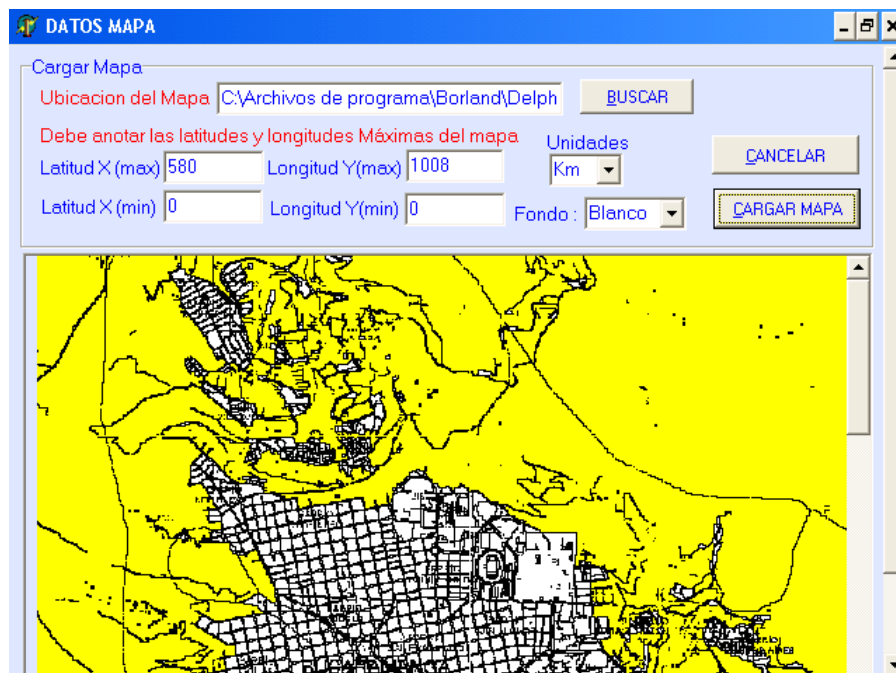
El botón [MAPA](#), Permite mostrar la pantalla siguiente:



En la captura de datos del mapa se realiza el proceso de búsqueda y carga del mapa de bits necesario para el estudio haciendo clic en el botón “BUSCAR”, así como los datos de referencia de contorno del mapa que son tomados en las cajas de texto “Latitud X(máx.)”, “Latitud X(min)”, “Longitud Y(máx.)” y “Longitud Y(min)” y las unidades de estas coordenadas en el cuadro de control “Unidades” las cuales pueden ser en kilómetros, millas, metros y yardas, estas unidades serán las utilizadas en todo el proceso de distritamiento. En caso de no digitar ningún punto, como se muestra en la siguiente figura



la aplicación tomará las latitudes y longitud máxima y mínima según las proporciones del mapa en píxeles, después de hacer clic en el botón “ACEPTAR”,



el cual realiza la asignación de los datos a la red, se debe escoger el FONDO a distritar el cual puede ser negro o blanco dependiendo del mapa, sin embargo en caso de que no sea negro y se asigne el color blanco este distritará todo lo que sea de cualquier otro color diferente al negro y al amarillo, tomándose este ultimo color como el que delimita el distritamiento o el área de estudio a distritar.

## 2. Toma de Datos de Facilidades: FACILIDADES

UBICACION Y DISTRITAMIENTO DE RECURSOS

**DATOS DE FACILIDADES (ESTACIONES O CENTROS DE DISTRITOS)**

ASIGNA DATOS A TODAS LAS FACILIDADES

Si las facilidades son del mismo tipo, llene los siguientes datos y haga click en GENERAR.  
Las ubicaciones iniciales son generadas aleatoriamente en el centroide del mapa.

Aceptación

Físico (Deseables por la comunidad)  Fóbico (No deseables por la comunidad)

Tipo de Recorrido: Metropolitano | Velocidad Media: 40 Km/h | Tiempo Despacho: 15 Mins | Estado Actual: Reubicar | Capacidad Población: 150

GENERAR

Puede modificar los datos de cualquier facilidad haciendo click en la celda..

Número	Latitud	Longitud	Velocidad	Demora	Recorrido	Estado Actual	Capacidad Población
1	246.8907851	478.5924171	40	15	Metropolitano	Reubicar	150
2	270.2918662	485.6204482	40	15	Metropolitano	Reubicar	150
3	285.6662325	504.8142296	40	15	Metropolitano	Reubicar	150
4	343.9020130	561.9678564	40	15	Metropolitano	Reubicar	150

ABRIR

CANCELAR


ACEPTAR

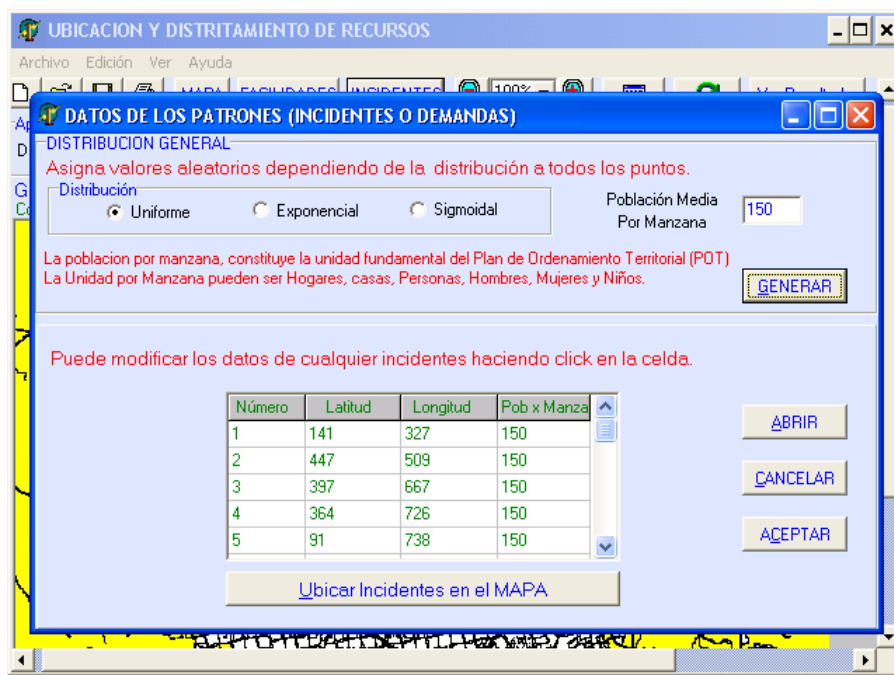
Ubicar Facilidades en el MAPA

La captura de datos de las facilidades se puede hacer directamente generando los valores internamente para todas las facilidades; si las facilidades son del mismo tipo, editando los cuadros de texto para los parámetros de Tipo de Recorrido( Que puede ser Metropolitano o 1 en Números y Euclidiano o 2 en Números), Velocidad Media de las Facilidades y el Tiempo de demora en atender los incidentes, el estado actual de las facilidades (si son fijos o se pueden reubicar) y la capacidad de población de cada facilidad teniendo en cuenta si el tipo de recurso es privado, haciendo

clic en el botón “GENERAR” en donde las ubicaciones iniciales son generadas aleatoriamente en el centroide del mapa. También se pueden capturar los datos de las facilidades de forma indirecta, es decir mediante un proceso de edición sobre el mapa haciendo clic en el botón “Ubicar Facilidades en el Mapa” el cual despliega la pantalla de edición del mapa donde haciendo clic sobre el mapa ubicará los puntos dependiendo de donde se hizo clic en la fase de datos de incidentes o facilidades, también pueden modificarse cada una de los datos en la tabla que visualiza los datos.

### 3. Toma de Datos de Incidentes:

Después de hacer clic en el botón INCIDENTES , podemos observar la siguiente pantalla en donde la captura de datos,



**DATOS DE LOS PATRONES (INCIDENTES O DEMANDAS)**

DISTRIBUCION GENERAL

Asigna valores aleatorios dependiendo de la distribución a todos los puntos.

Distribución

Uniforme  Exponencial  Sigmoideal

Población Media Por Manzana: 150

La población por manzana, constituye la unidad fundamental del Plan de Ordenamiento Territorial (POT)  
La Unidad por Manzana pueden ser Hogares, casas, Personas, Hombres, Mujeres y Niños.

**GENERAR**

Puede modificar los datos de cualquier incidentes haciendo click en la celda.

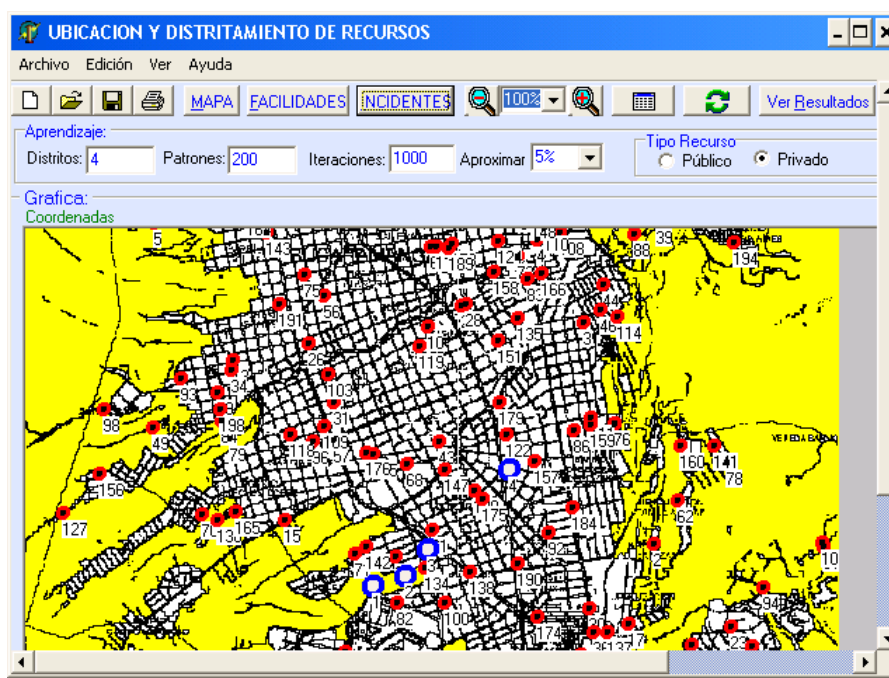
Número	Latitud	Longitud	Pob x Manza
1	141	327	150
2	447	509	150
3	397	667	150
4	364	726	150
5	91	738	150


**ABRIR** **CANCELAR** **ACEPTAR**

**Ubicar Incidentes en el MAPA**

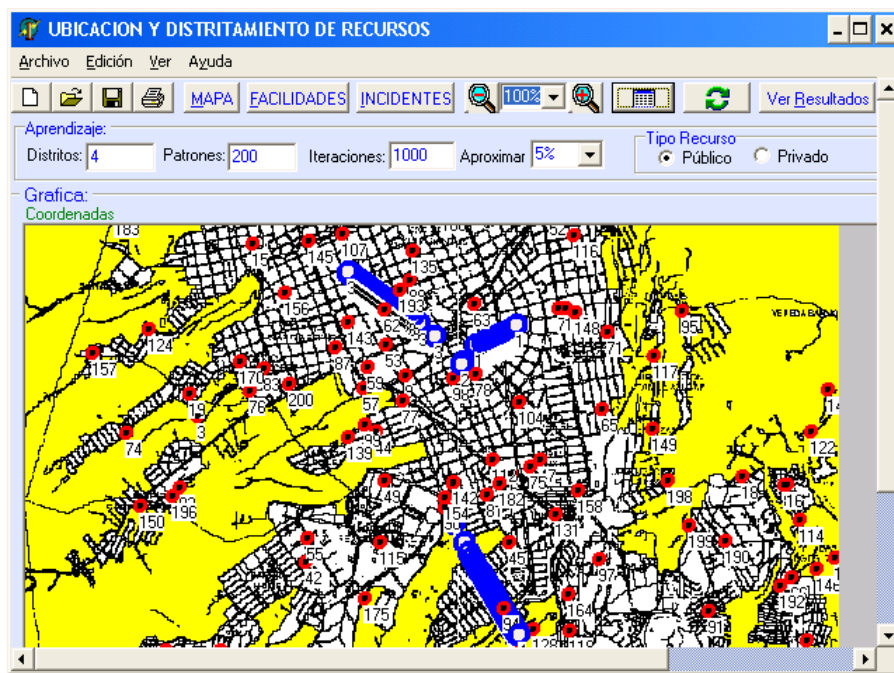
de los incidentes se puede hacer directamente generando los valores internamente para todas los incidentes, si los incidentes o patrones son del mismo tipo, seleccionando el tipo de distribución uniforme, exponencial y Sigmoideal para la generación de puntos aleatorios

distribuidos en el área de estudio, también se pueden presentar los parámetros de población por manzana si el distritamiento se hace con respecto a recursos privados, haciendo clic en el botón “GENERAR”, en donde las ubicaciones iniciales son generadas aleatoriamente en el centroide del mapa y en zonas donde no exista un contorno amarillo, es decir que este color limita la ubicación de los patrones o incidentes. También se pueden capturar los datos de forma indirecta, es decir mediante un proceso de edición sobre el mapa haciendo clic en el botón “Ubicar Facilidades en el Mapa”, el cual despliega la pantalla de edición del mapa donde haciendo clic sobre el mapa ubicará cada uno de los puntos dependiendo de la fase de datos de incidentes o facilidades, también pueden modificarse cada una de los datos en la tabla que visualiza los datos.




**3 Etapa de ubicación óptima de facilidades.** Se realiza una vez cargados todos los datos, haciendo clic en el botón “UBICAR”  de la pantalla

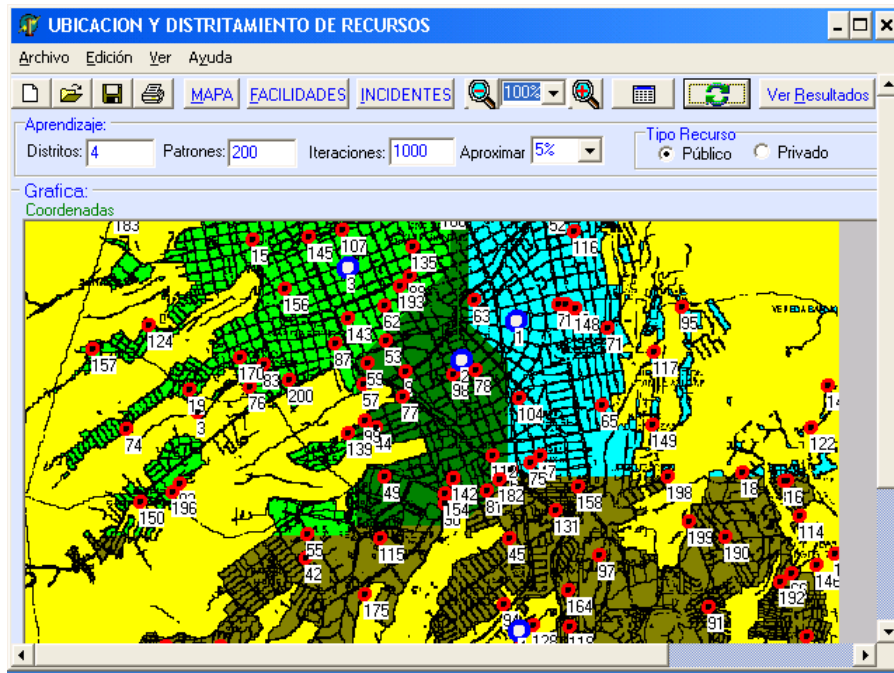
principal “Barra de Herramientas”, la red comienza a desarrollar la fase de funcionamiento según el número de iteraciones descritas en el cuadro de texto “Iteraciones”, una vez ubicadas se desplegará la tabla de resultados de la ubicación de cada uno de los datos en una pantalla la cual haciendo clic sobre ella, se resalta permitiendo la movilidad de la misma; además, se visualiza en el área “Gráfica” la evolución de cada una de las coordenadas de las facilidades en color azul y los distritos de color rojo en cada iteración,





puede incrementarse el número de iteraciones y realizar nuevamente el proceso partiendo de los resultados finales de las ubicaciones de las facilidades y tomando los mismos patrones o incidentes si estos no son modificados, hasta llegar a un punto de convergencia en el cual la actualización no representa ningún incremento o este no es representativo, es decir la facilidad no se mueve.

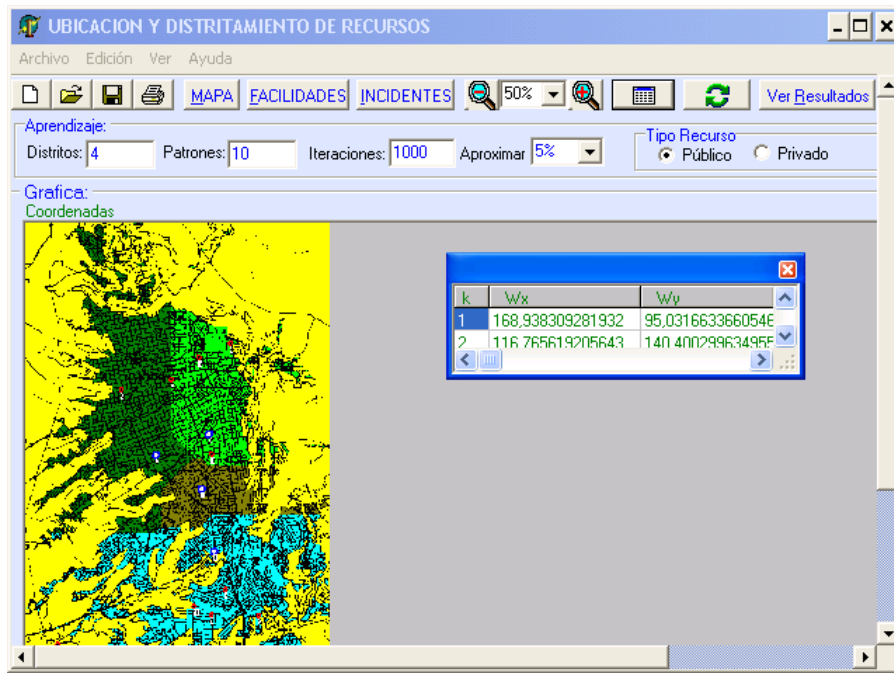
#### 4 Etapa de Distritamiento. Haciendo clic en el botón “ZONIFICAR”

 se realiza la asignación de cada punto del mapa a cada distrito dependiendo del tipo de recorrido, la velocidad a la cual atiende cada facilidad y el tiempo de despacho que tarda cada una en desplazarse, esta asignación se hace coloreando cada punto del mapa del color del distrito asignado internamente por la aplicación;

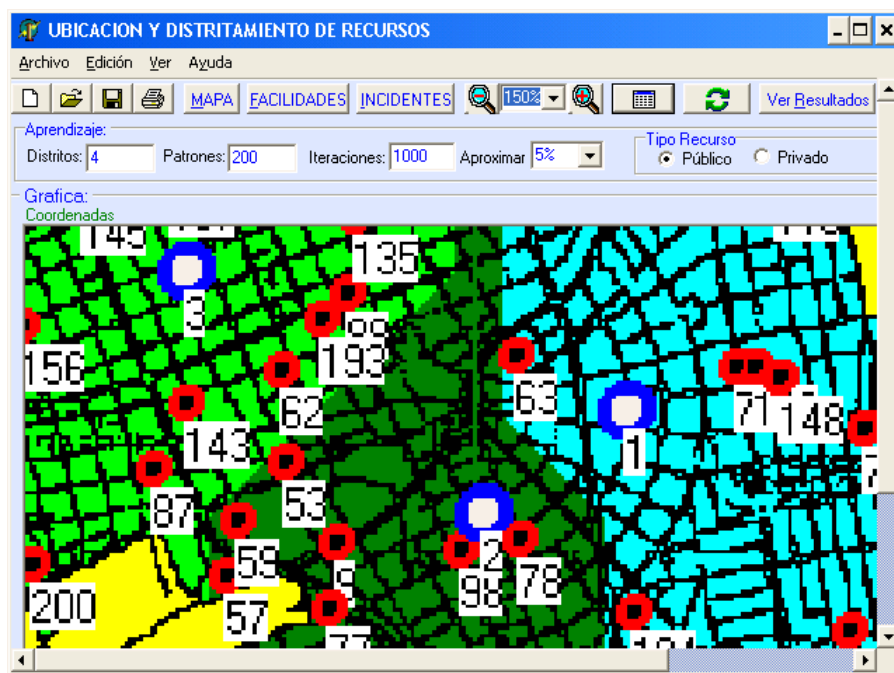


una vez realizado el distritamiento, haciendo clic derecho en la gráfica o mapa se despliegan las coordenadas del píxel sobre el cual se mueve el Mouse así como el distrito al cual pertenece y el tiempo de atención que gasta la facilidad en desplazarse.

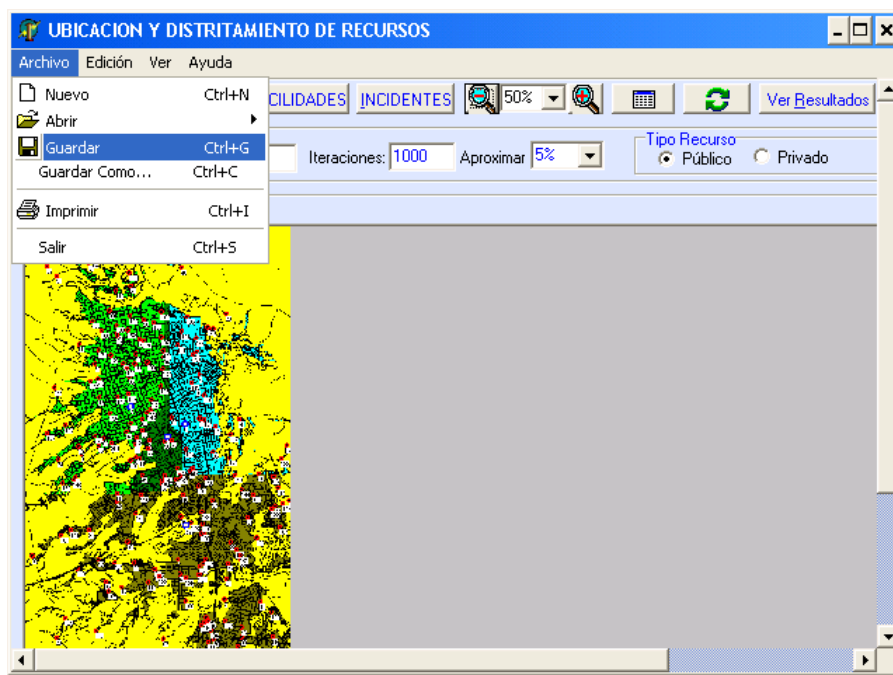
Los botones Zoom  100%  permiten ampliar o disminuir el mapa distritado, La siguiente figura nos muestra una disminución del 50% en las dimensiones del mapa.




La siguiente figura permite véase una ampliación mas a fondo de los distritos en el mapa.

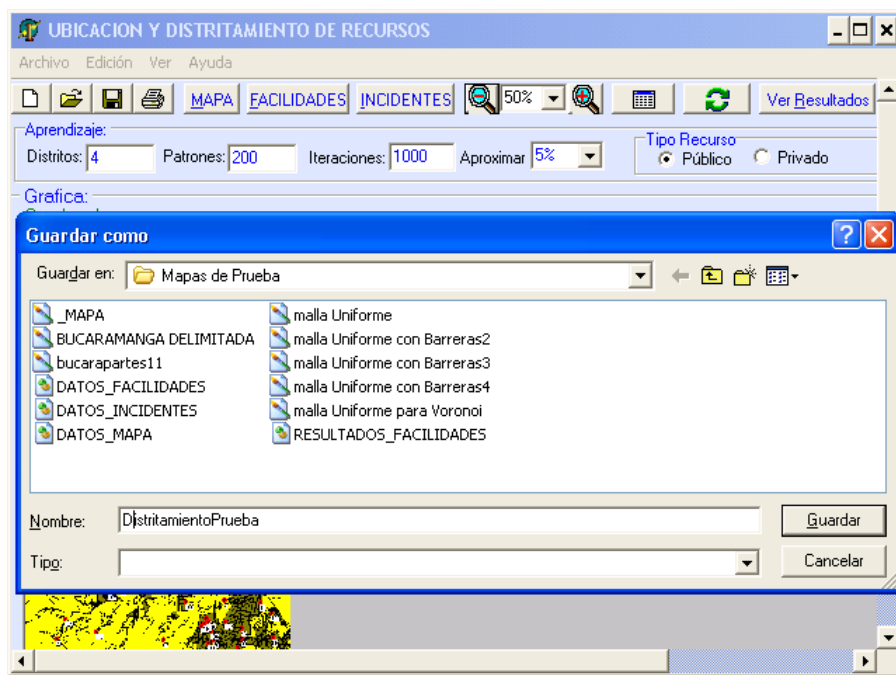


**5 Almacenamiento de datos.** Para almacenar los datos en el menú herramientas



en la opción “Archivo” “Guardar”(Permite hacer el proceso por primera vez y seguir guardando los cambios sin tener en cuenta anteriores distritos) y “Guardar Como”(Permite renombrar un nuevo distritamiento, salvando los anteriores) o también, desde la barra de herramientas con el botón Guardar

, se despliega un cuadro de dialogo



en donde al dar el nombre del archivo en el directorio especificado, se guardan los datos de:

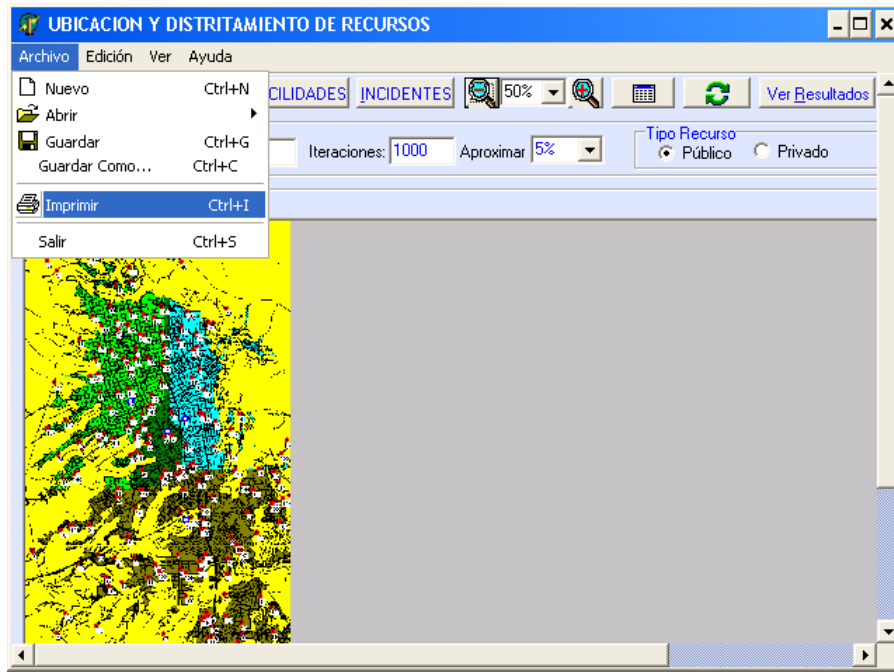
1. Datos Facilidades iniciales:  
"nombrearchivo\_DATOS\_FACILIDADES.DB"
2. Datos Incidentes: "nombrearchivo\_DATOS\_INCIDENTES.DB"
3. Datos Reubicación de Facilidades:  
"nombrearchivo\_RESULTADOS\_FACILIDADES.DB"
4. Datos Mapa: "nombrearchivo\_DATOS\_MAPA.DB"
5. Grafica o Mapa: "nombrearchivo\_MAPA.bmp"


Debido a la integridad de la información que maneja la herramienta esta guarda todos los datos a la vez con un solo nombre, especificando el tipo de dato para su posterior utilización.

El formato de los datos con extensión \*.DB es guardado como tablas de datos, los cuales pueden ser modificados con cualquier editor de tablas de bases de datos, así como el mapa que es guardado con extensión \*.bmp el cual puede ser editado, impreso o hasta cambiar el tipo de formato a un

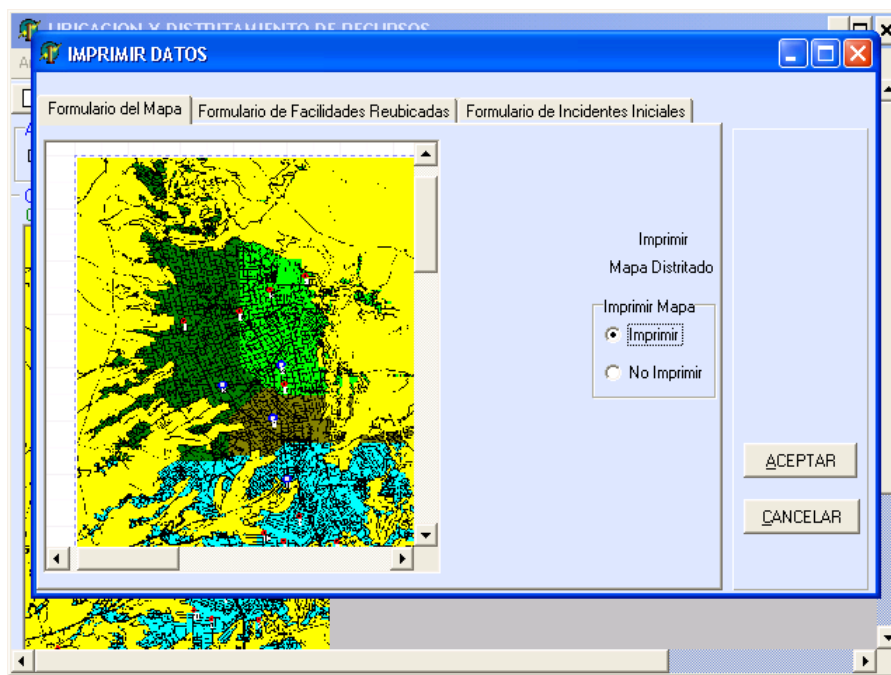
formato más liviano en bytes, con cualquier editor de imágenes como el Paint u otro programa que maneje este tipo de formatos.

## 6 Impresión de Datos.



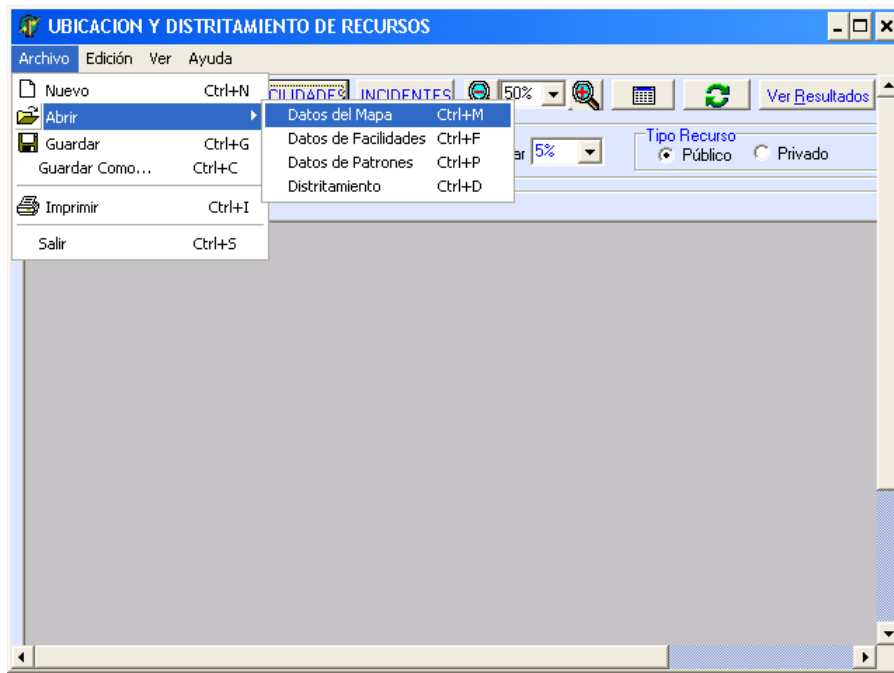
Se puede llamar desde la barra de herramientas con el botón Imprimir , o desde el Menú de herramientas como se muestra en la pantalla anterior; Permite publicar en papel los resultados o datos seleccionados en cada cajón de texto de cada sección de la aplicación.

1. Grafica o Mapa
2. Datos Reubicación de Facilidades.
3. Datos Incidentes iniciales.

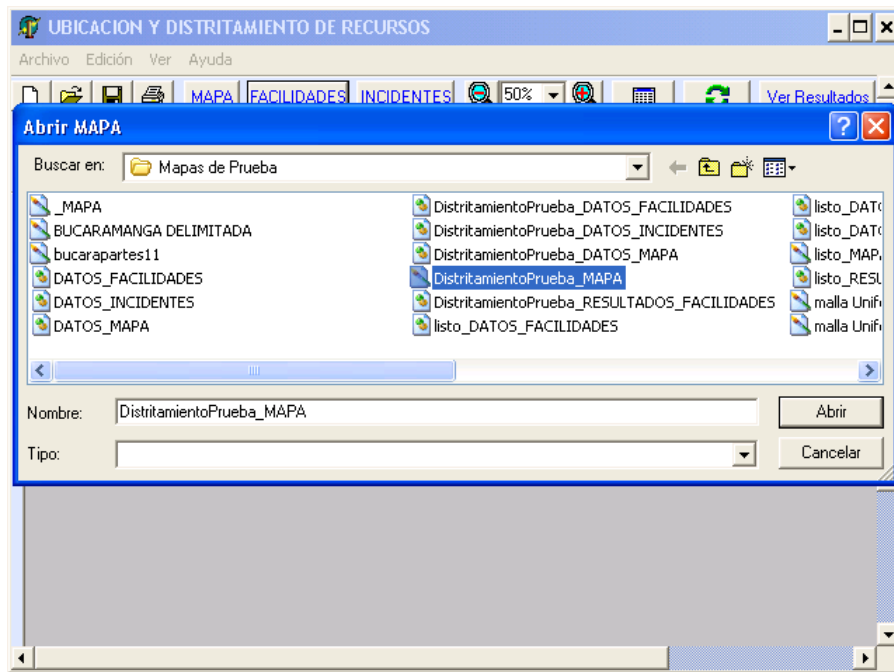


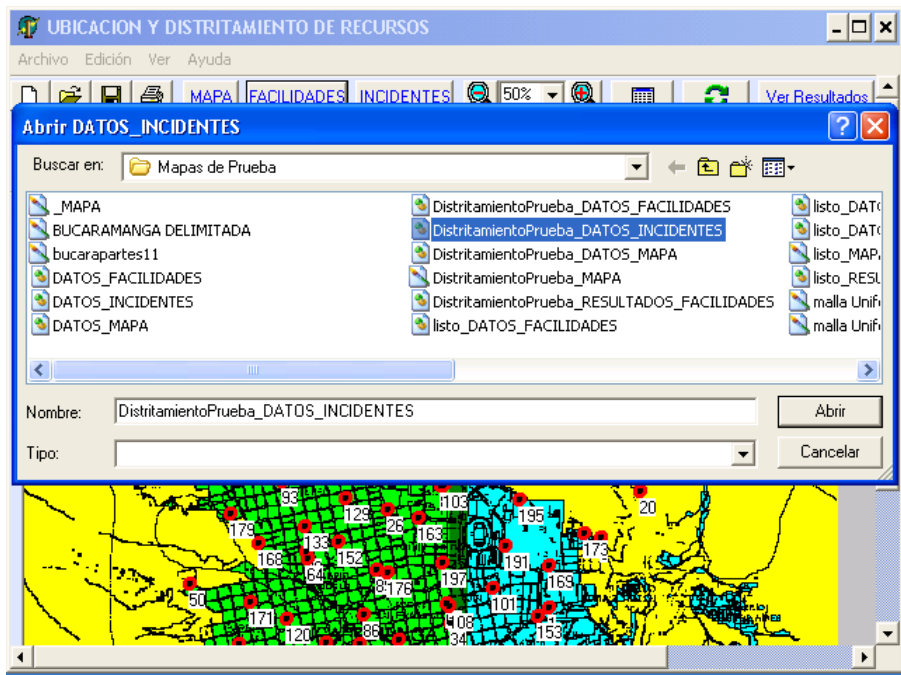
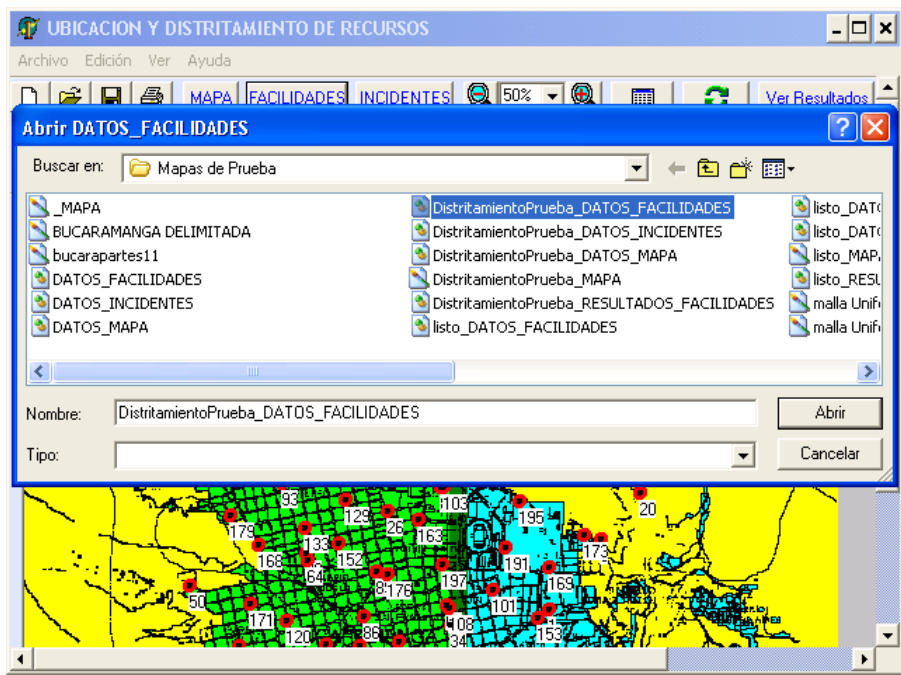
**7 Ver (Zoom Mas y Zoom Menos ).** Permite ampliar o disminuir un porcentaje determinado por el usuario, el mapa distritado para la observación de la distribución de los puntos (facilidades e incidentes) y los distritos.

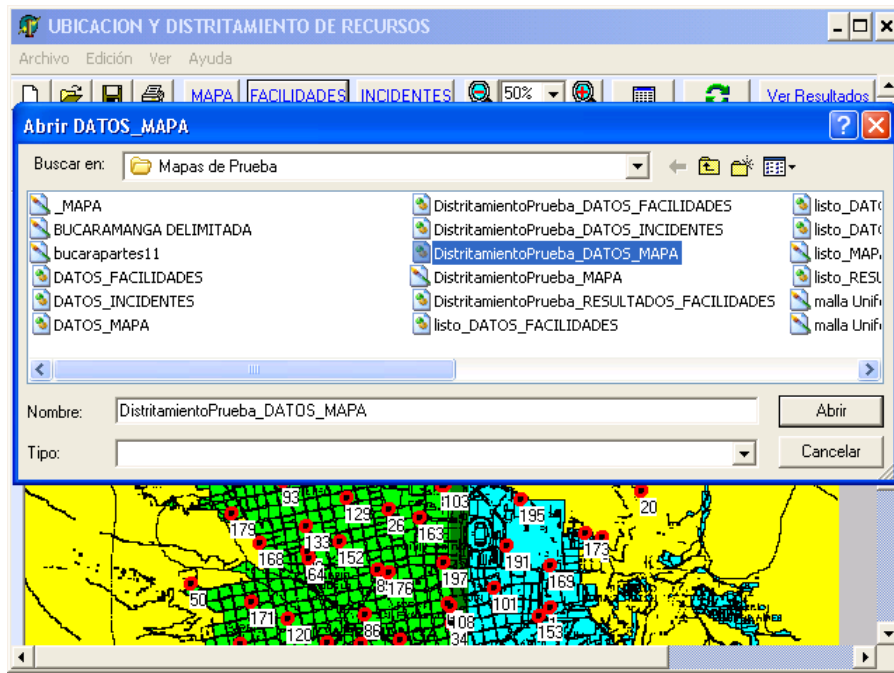
**8 Abrir.** Despliega un cuadro de dialogo que abre los datos necesarios para volver a montar el distritamiento en la aplicación, los datos necesarios son los mismos del proceso de almacenamiento de datos.



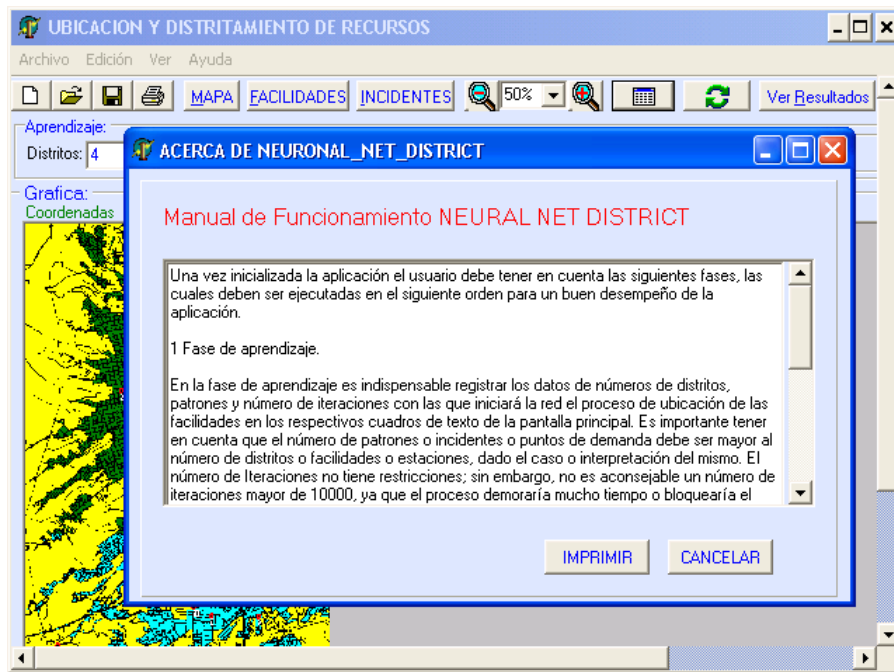
Si solo se oprime el botón Abrir distribucion, este desplegara las ventanas necesarias para cargar todo el distribucion.



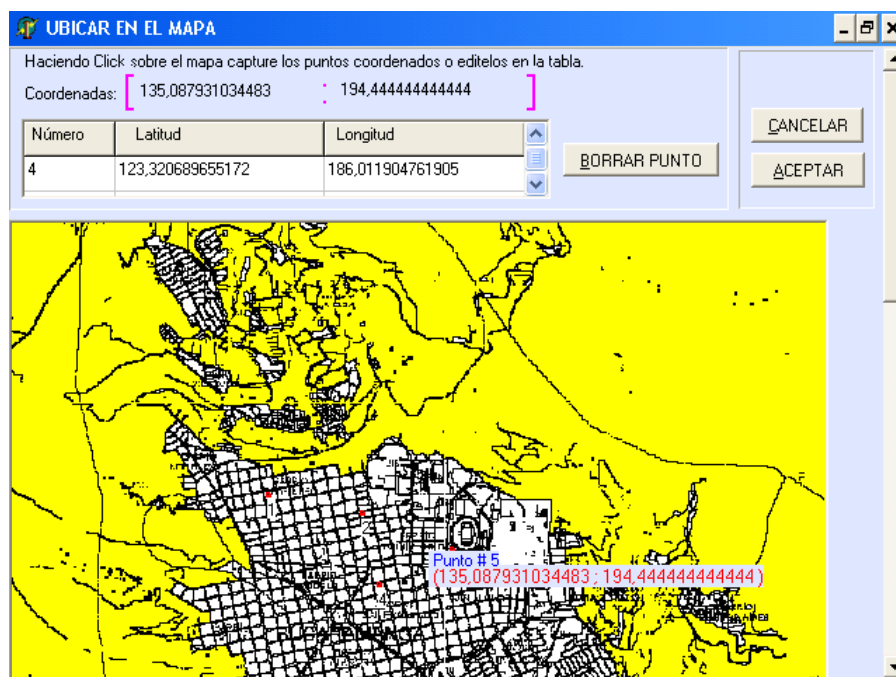




**9 Menú Ayuda.** Muestra el manual de funcionamiento de la red.



**10 Editar puntos en el mapa.** Permite ubicar los puntos en el mapa cargado, dependiendo de donde se llame la ventana ubicará los puntos coordenados de las facilidades (color azul)



O incidentes (color rojo), haciendo clic sobre la gráfica o mapa, ubicará los puntos en la tabla superior, la cual permite editar o modificar las coordenadas; también se implemento el botón “Borrar Punto” el cual permite borrar uno a uno partiendo del último punto coordenado los puntos que no se deseen insertar, el botón “ACEPTAR” asigna los puntos a las tablas de Facilidades o Incidentes que maneja la aplicación.

**11 Mostrar Resultados.** El botón véase Resultados [Ver Resultados](#) solo se puede aplicar una vez concluido el distritamiento o zonificación, este permite mostrar en una tabla de datos los resultados de las ubicaciones finales de las facilidades, aun después de haber cerrado la tabla.