

IDENTIFICACIÓN DE PATRONES PARA LA ORDENACIÓN URBANÍSTICA MEDIANTE REDES NEURONALES. HACIA LA ORDENANZA-RED

Francisco Javier Abarca-Álvarez

Área de Urbanística y Ordenación del Territorio

Departamento de Expresión Gráfica en la Arquitectura y en la Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Granada

Autopista de Badajoz, 38, 18071 Granada, España

fcoabarca@ugr.es

RESUMEN

La Ordenanza como pieza de enlace entre el proyecto urbano y la arquitectura, debe adoptar compromisos tanto con los conceptos netamente urbanos como con los más arquitectónicos, estableciendo patrones de relación o red entre ellos. Frente a lo estacionario de las ordenanzas urbanas convencionales, que habitualmente se quedan desfasadas en el mismo momento de su formulación, se explora una vía de trabajo basada en la retroalimentación del cuerpo normativo mediante la introducción dinámica tanto de las preexistencias como de las transformaciones generadas en el propio marco de la ordenanza. Denominaremos Ordenanza-red a esos patrones de red o relacionales. La adecuación de cada propuesta a la Ordenanza-red irá desarrollando un marco normativo capaz de evolucionar que estará generado desde lo global como oposición a lo particular y accidental.

Será preciso por tanto la búsqueda de las coherencias que se formalicen en patrones que agrupen y muestren las variables más representativas del ámbito seleccionado. Mediante la representación numérica objetiva tanto de las variables que a priori se consideran valiosas o representativas como de aquéllas cuyo interés se desconoce, y su aplicación mediante una red neuronal artificial con aprendizaje no supervisado y competitivo del tipo mapa autoorganizado o *SOM (Self-Organizing Map)*, y más concretamente la red de Kohonen, se consigue descubrir y representar de forma comprensible la estructura subyacente de las mismas. Los resultados obtenidos son fácilmente interpretables permitiendo reconocer la agrupación en forma de patrones de los objetos arquitectónicos o urbanos representados permitiéndose la sencilla verificación de la integración o no de un nuevo edificio u objeto al conjunto de los patrones que conforman la Ordenanza-red. A estos patrones los venimos a llamar Ecotipos. Los nuevos objetos aceptados por esta norma pasarán a formar parte de la misma, integrándose en el cuerpo de una nueva red neuronal, consiguiéndose de esa forma la retroalimentación continuada de la ordenanza. El método propuesto se conforma como un método de ayuda a la decisión y como herramienta de asistencia al proyecto de una ordenanza.

Como verificación del método, se propone la realización de una Ordenanza-red en el centro histórico de Santa Fe en la provincia de Granada, comparándose los resultados obtenidos con los que el planeamiento en vigor presenta.

Palabras Clave: Ordenanza-red, Ordenanza, Red Neuronal, Ecotipo, Tipología, Red, *SOM, Self-Organizing Map, GIS-SOM*, Patrón, Ecotipo

ABSTRACT

The Ordinance, as link between the urban project and architecture, should compromise with the purely urban concepts as well as the purely architectural, establishing relationship or network pattern between them. Facing the stability of typical urban ordinances, which all too frequently become outdated at the moment of their formulation, a new method of work is currently being explored. This innovation is based on feedback from the normative body via the dynamic introduction of preexistences and transformations generated by the same framework as the ordinance. It will be that definition of relational or network pattern that we will call Network-Ordinance. And its adaptation or approximation to the same ordinance, by means of the architectural-urban proposal, will be the normative framework generated from the global, in contrast to the particular and accidental.

It will be, therefore, the search for coherencies formalized in pattern that come together and display the most representative variables of the selected area. By means of the objective numeric representation of the variables considered useful or representative, as well as those whose interests are unknown, and their application through an artificial neural network, with unsupervised and competitive learning of the same type as the SOM (Self-Organizing Map) and, more concretely, Kohonen's network, the underlying structure of the same data will be discovered and represented in a comprehensible manner. The results obtained are easily interpretable, permitting the recognition of the grouping, in the form of pattern, of the architectural or urban objects represented, allowing the verification of the integration (or not) of a new building or object into those pattern, which conform to the Network-Ordinance and what we have come to call Ecotype. The new objects allowed by this rule will then form part of the same ordinance, becoming integrated in the body of a new neural network, and thus acquiring feedback from the Ordinance. The proposed method is formed as a decision support system of ordinance projects.

As verification, it is proposed that a Network-Ordinance is created for a sector of the historical centre of Santa Fe in the province of Granada, in order to compare the obtained results with the proposed Ordinance by the city planning.

Key Words: Network-Ordinance, Ordinance, Neural Network, Ecotype, Typology, Network, SOM, Self-Organizing Map, GIS-SOM, Pattern.

1.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad resulta inquietante, por frecuente, encontrar como documentos normativos ordenanzas urbanas con carácter eminentemente genérico y con escasa ambición de recoger las particularidades del objeto urbano que pretenden regular. En ese marco es realmente difícil imaginar el papel que pueden tener esas ordenanzas gestionando las nuevas complejidades de una ciudad con las connotaciones digitales de la actual, una ciudad con entradas y accesos gobernados más por protocolos audiovisuales que por la realidad física (Virilio, 1991). Parece evidente que ese ámbito urbano con múltiples accesos y entretejidas relaciones convive hoy día con la ciudad tradicional. Las ordenanzas urbanas y el urbanismo en general se encuentran con una materia prima que ha sido transformada sensiblemente en las últimas décadas. Será necesario plantear unos instrumentos acordes y adecuados a las complejidades y diversidades de la realidad. Se hace pues necesaria una visión eminentemente reticular (Dupuy, 1991).

Hoy precisamos integrar conceptos que van desde lo social, lo económico, lo funcional, lo ambiental hasta lo formal y espacial del hecho urbano. En la ciudad tienden a producirse situaciones de complejidad organizada, con gran número de variables interrelacionadas en un todo (Jacobs, 1961), produciéndose complejas estructuras incluso en situaciones simples (Goldenfeld y Kadanoff, 1999). Esta complejidad es entendida como

aquello que está tejido en conjunto, y no únicamente como un fenómeno cuantitativo, sino también como incertidumbres, e indeterminaciones (Precedo, 2004).

Las ordenanzas son unas normas de convivencia que garantizan la forma de mantener activamente los tejidos (Benavides, 2009). Realmente habría que reconocer el valor de la ordenanza como punto de contacto entre la realidad de la planificación y proyecto urbano con la arquitectura y proyecto arquitectónico. Son verdaderos instrumentos para la definición arquitectónica y de lo urbano. Se trata pues del eslabón entre las dos realidades, y como tal es fundamental en la trasmisión de los valores determinantes de la escala urbana y social a la escala privada y del proyecto individual.

No se debe eludir la vertiente inequívoca de control que suelen presentar las ordenanzas, pero resultará más interesante su lectura desde lo propositivo y no tanto desde lo legislativo, rescatando la idea de la urbanística entendida no sólo como el estudio de lo que ha acaecido y es probable que suceda, sino como imaginación de aquello que es posible que acontezca (Secchi, 2000). Por lo tanto, se consideran deseables las ordenanzas que -frente a un control basado en conceptos estáticos y permanentes- sean capaces de adaptar sus criterios tanto en el espacio como en el tiempo. Se habla pues de una ordenanza que asume como propias las indeterminaciones o incertidumbres del medio urbano, convirtiéndolos en definitiva en su base y germen.

Las ordenanzas deberían ser capaces de valorar desde lo global y no tanto desde lo particular, es decir, habrá de existir una correlación entre la ordenanza que se establece como norma y el objeto que se valora, pero no simplemente como un seguimiento del cumplimiento o no de cada concepto regulado. Se propone de esta manera una idea de ordenanza que admita -como la propia ciudad ha admitido a lo largo de su historia- holguras. Se desea una ordenanza flexible, con espacios, huecos e intensidades variables que permita compensar ciertas desviaciones con otras aproximaciones, que admita alejarse si el conjunto se acerca. Una ordenanza a modo de feedback entendido como el predominio del intercambio de datos sobre cómo está funcionando una parte del sistema, con la comprensión de que todas las partes están interrelacionadas, de modo que la transformación de una parte pueda terminar afectando a la totalidad (Goleman, 1996). Esa ordenanza estará más cerca de admitir transformaciones sociales, económicas, funcionales, o estéticas. Se propiciará así una interacción entre arquitectura, tejidos urbanos, economía, historia y política (Zevi, 1997). Y se entenderá a la ciudad como un ente vivo que continuamente se transforme al asumir a los nuevos objetos cobijados por la ordenanza como constituyente de su propio cuerpo normativo. A esta Ordenanza la llamaremos Ordenanza-Red. En ella se reflejan multitud de consideraciones diversas, entretreídas entre sí, incorporando en su cuerpo todos y cada uno de los objetos que trata de regular o gestionar, modificándose cuando éstos se transforman. Se trata de dotar de protagonismo al proceso, considerándose las dinámicas más importantes que la estructura, siendo las auténticas conductoras de los cambios (Batty, 2005).

Como proyectistas resulta realmente sencillo enjuiciar y criticar estos documentos normativos precisamente por lo arbitrario que resultan a veces sus contenidos, y por lo alejadas que resultan en sus valoraciones y cuantificaciones de la realidad. Será preciso y urgente tratar de conciliar las dos escalas del proyecto de la ciudad, articulando una solución de continuidad y de retroalimentación entre el proyecto y la normativa u ordenanza sobre la que se ampara. Será interesante esa ordenanza que bebe y se transforma desde el propio proyecto arquitectónico que ha consentido y soportado. Ocurrirá de forma similar al proceso de homeostasis en el que se suceden las regulaciones en grado de conservar el organismo en un estado constante, más allá de las perturbaciones ambientales con el fin de mantener la salud del sistema (Cannon,

1932). Serán los propios proyectos cobijados por la ordenanza los reguladores del sistema, entendiendo en nuestro caso el estado constante de forma flexible, predominando el valor de salud sobre la idea de continuidad.

De esta manera el proyectista tomará conciencia de la labor urbana que ya realiza, pero que ahora se plasma en parte de la norma que regula sus proyectos. El arquitecto se convierte en agente normativo, o más bien, su objeto arquitectónico transforma la realidad urbana, y ésta a su vez modifica el cuerpo normativo y codificador de la Ordenanza-red.

Se entienden como cuestiones clásicas de las ordenanzas aquellos conceptos propios del edificio o construcción como objeto que se sitúa en una determinada parcela o lugar, y que generalmente suelen ser conceptos que poco o nada se involucran con los edificios o construcciones de alrededor. Con frecuencia esas relaciones externas se reducen en el mejor de los casos a una limitación estricta de la altura de la edificación en relación con la anchura de la calle o del espacio público. No se pretende decir que esas relaciones no sean importantes sino más bien todo lo contrario, lo son, pero también lo son otras relaciones o variables que condicionan y han condicionado lo construido en la ciudad. En la ciudad consolidada o histórica se dan una serie de lógicas a veces previamente escritas o previstas -de arriba hacia abajo- y en otras ocasiones generadas desde un entendimiento de abajo hacia arriba (Alexander, 1964) que han permitido que la forma urbana sea la que hoy podemos observar.

En este trabajo se trata de realizar una aproximación a una concepción de Ordenanza que sea capaz de recoger determinadas herencias incardinadas en un entorno urbano consolidado del que lógicamente sea deseable que trasciendan las redes formales y relacionales existentes en otras futuras.

Los patrones que contienen las coherencias encontradas en toda esa red de relaciones es el nuevo marco que se reproducirá con los nuevos proyectos. Tradicionalmente esos patrones han venido conformando la idea de tipología como heredera de los condicionantes formales, constructivos y arquitectónicos. La idea de tipo o tipología se basa en una mirada sobre sí misma, generándose la clasificación tipológica al aislar los elementos variables, no significantes de un objeto (Rossi *et al.*, 1977). Proponemos una mirada hacia

el tipo desde dentro pero también desde fuera y hacia fuera, con las relaciones internas en comunión con las externas y viceversa. De esta manera será fundamental la visión integradora entre ese nuevo tipo y los condicionantes del lugar, y por otro lado los condicionantes sociales del momento. Esto es lo que caracteriza esta forma de entender el tipo. No se pueden diferenciar los conceptos propios del objeto de los conceptos derivados de su momento. Esa idea se aproxima al concepto locus que se definía como aquella relación singular y, sin embargo, universal que existe entre cierta situación local y las construcciones que están en aquel lugar (Rossi, 1971). Parece lógico pensar que el concepto tradicional de Tipología de Casa Morisca del siglo XVI de Granada perdurará en el tiempo. Se propone un concepto de tipología que se transforma con su momento social. Digamos que los conceptos arquitectónicos, sociales, económicos, etc. se funden en uno solo mediante las coherencias internas que dan lugar a un patrón. Se viene a nombrar a cada uno de esos patrones como Ecotipo (Turesson, 1922) Urbano, concepto heredado de la genética ecológica, y que se refiere a un grupo perteneciente a una especie, que presenta caracteres distintos, resultado de la adaptación al medio local.

2.- OBJETIVOS

El principal objetivo de la investigación es la búsqueda y generación de una ordenanza urbana (Ordenanza-red) que sea capaz de integrar cuestiones y valores clásicos heredados de la tradición urbanística, conjuntamente con otros conceptos laterales o tangenciales, se intuyan o no su relación con el hecho arquitectónico, tratando de

ver en cada escala de representación no solamente lo que se muestra, sino también lo que se oculta (Santos, 2005). Estos pueden ser valores sociales intrínsecos o del medio, cuestiones procedentes de la forma construida en relación simultánea con el entorno inmediato, relacionado con la propia parcelación o con elementos procedentes de una escala mayor o intermedia. Se trata pues de la búsqueda de un marco de encuentro y entendimiento de las realidades múltiples que afectan a lo urbano, en su escala más menuda, para ser puesto a disposición no solo de unos procesos de control urbanístico, sino especialmente para facilitar una evolución y transformación urbana coherente con la realidad urbana concreta.

Otro objetivo del proceso metodológico que se propone es el descubrimiento heurístico de conocimiento que se genera durante la determinación de la Ordenanza-red. Estos descubrimientos son fundamentales para la comprensión de las realidades y para una posterior propuesta de transformación o proyecto urbano.

Se pretende realizar una aproximación que suponga el encuentro de la pequeña escala de la ciudad, de las tramas urbanas y los tejidos residenciales en equilibrio con la idea de ordenanza urbana surgida al alcanzar y determinar patrones de relación entre las distintas variables, ya sean formales, sociales o económicas que se pueden hallar en la ciudad.

Como validación del método propuesto se aplica la determinación de la Ordenanza-red al centro histórico de la localidad de Santa Fe, Granada (Fig. 1).

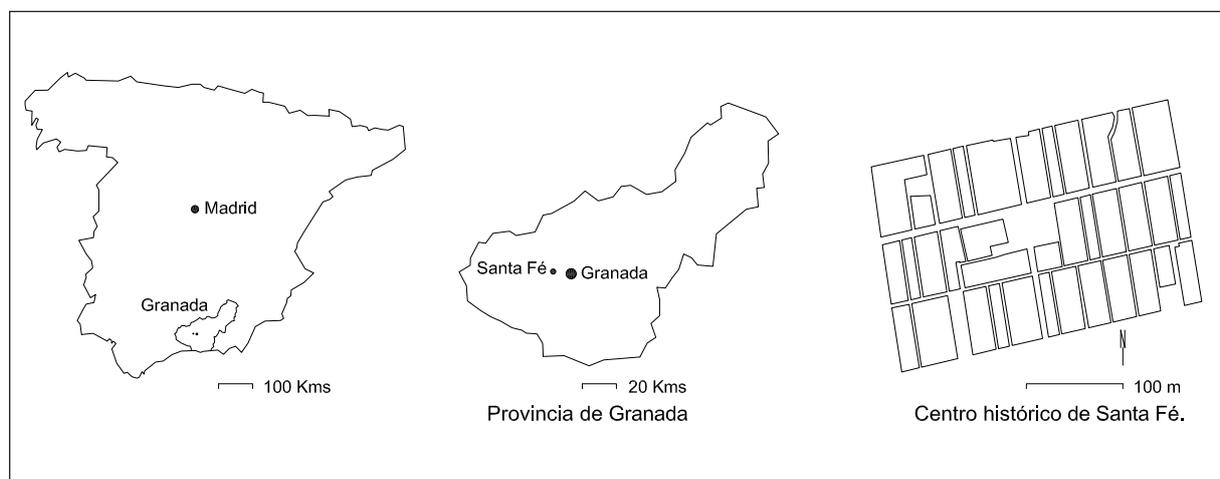


Figura 1.- Localización del ámbito de Estudio. Centro histórico de Santa Fe, Granada.

3.- ESTADO DEL ARTE

3.1.- Patrones y Redes Neuronales. Introducción. Otros Ámbitos de Conocimiento

Christofer Alexander describe que los *patterns* son unos diagramas abstractos de las relaciones físicas que resuelven un sistema de fuerzas interactuantes y conflictivas (Alexander, 1964). En la investigación que se propone estos valores no serán únicamente relaciones físicas, sino que podrán ser también conceptos inmateriales o abstractos que en cualquier caso serán extraídos instantáneamente del lugar de estudio, propiciándose de esta manera la retroalimentación del conjunto (Ascher, 2001), en la que una acción puede transformar, como tradicionalmente lo hacía, la configuración de las transformaciones subsiguientes.

Se va a utilizar una técnica llamada *Mapa Autoorganizado [Self Organizing Map -SOM-]* (Kohonen, 1989) que es un tipo de red neuronal artificial con aprendizaje no supervisado y competitivo. Las redes neuronales artificiales de forma muy simplificada, tratan de reproducir ciertas propiedades conocidas de los sistemas nerviosos de los animales, concretamente en lo referente a la respuesta (neurona de salida) a estímulos (neurona de entrada) mediante el aprendizaje. Ese aprendizaje se realiza en las redes neuronales artificiales con aprendizaje no supervisado, de forma no controlada o inducida, no requiriendo por tanto participación alguna del usuario en esa fase. De esta manera en la red neuronal de Kohonen se obtiene una autoorganización en patrones a partir únicamente de los datos de entrada. Por otro lado, este tipo de red neuronal se dice que es del tipo competitivo ya que el proceso de entrenamiento tiene esa cualidad, al compararse los vectores de datos introducidos en cada neurona con sus vectores de peso característico, finalmente resulta incentivada como neurona ganadora la que presenta menor diferencia entre su vector de peso y el vector de datos. Se modifica el vector de peso de estas neuronas y de sus vecinas, para acabar repitiéndose cíclicamente el proceso.

La principal singularidad de los SOM procede de la representación gráfica que se obtiene, esto es un mapa o cartografía en el que se manifiestan relaciones de vecindad y agrupamiento de los objetos, manteniendo una estructura topológica.

Se ha demostrado la utilidad de los SOM para organizar y representar patrones de organización en las más diversas disciplinas, pasando por traba-

jos de interpretación de sonidos, de lenguaje, determinación de patrones para el diagnóstico precoz de enfermedades, o hasta el descubrimiento de patrones ocultos en situaciones sociales, que han permitido implementar proyectos de integración, antes incluso de que se manifiesten los desequilibrios reales.

Por otro lado bien es conocida la estructura de *caja negra* de este tipo de modelos (Cherkassky *et al.*, 1994), lo que explica que a veces no se pueda alcanzar a entender lo que ocurre en el interior de la Red Neuronal, o no sea posible interpretar los resultados. También existen investigaciones que tratan de comparar mediante simulación las redes neuronales con modelos estadísticos de regresión múltiple, análisis discriminante y regresión logística en la predicción y clasificación, obteniéndose un rendimiento de los modelos basados en redes neuronales similar o superior a los estadísticos (Pitarque *et al.*, 1998).

Con la investigación y metodología propuesta se trata de demostrar que si bien el problema de caja negra puede ser real, los resultados y las estructuras en los resultados son fácilmente corroborables aportando información suficientemente valiosa para conformar un sistema de ayuda a la decisión del planeamiento y ordenación urbana.

3.2.- Redes y Redes Neuronales en el Estudio de los Procesos Urbanos

Resulta fundamental, para la temática tratada, la visión integradora y multivectorial de la idea de Ordenanza Urbana (Sabaté, 1999), así como su capacidad de ser entendida desde diversas ópticas y transcendencias. Por otro lado presenta un gran valor el planteamiento de un urbanismo basado en una visión reticular (Dupuy, 1991), donde se describe la red no como un mero objeto sino como una idea global que expresa una nueva organización del espacio.

Son reseñables las investigaciones sobre la determinación de patrones de las transformaciones urbanas de las ciudades europeas (Hagen-Zanker y Timmermans, 2008) o el trabajo sobre la caracterización de los desarrollos dispersos (*Urban Sprawl*) utilizando *Self Organizing Maps* (Diappi, 2004). Presentan gran aceptación las investigaciones sobre procesos de auto organización (White y Engelen, 1993; Irwin y Geoghegan, 2001); sobre optimización (Openshaw y Abrahart, 2000), o sobre la integración de las Redes Neuronales con los

sistemas *GIS* (Sui, 1992). Igualmente resultan muy evocadores los trabajos sobre la estructura urbana (Salingaros *et al.*, 2005) y su relación con los tamaños y la escala múltiple de los hechos urbanos.

4.- METODOLOGÍA

4.1.- Introducción al Método Propuesto

Los objetos arquitectónicos van a quedar relacionados entre sí en base a unas coherencias asociativas que conformarán patrones entre los conceptos que se investiguen. El valor de estos patrones radica que en conjunto, todos ellos pueden representar de una forma compacta y densa la realidad presente de un ámbito urbano. Depende lógicamente del valor de los conceptos introducidos el interés de los resultados obtenidos. Parece fundamental que para alcanzar los objetivos de la investigación se debe utilizar un método que presente las siguientes características:

- Ser insensible a variables que no aportan estructura ni orden a la globalidad. El método utilizado debe discriminar e incluso suprimir de forma objetiva las variables sin valor, sin que con ello se altere la fortaleza del método.
- No depender de calibrados artificiosos entre las diferentes variables. Difícilmente pueden ser calibradas variables radicalmente dispares como por ejemplo la altura de la edificación y un concepto que represente el nivel de renta de los ocupantes o si están ocupadas las viviendas. A priori debemos considerar que ninguna variable que se crea valiosa, o de la cual se desconoce su importancia, debe tener mayor o menor presencia que cualquier otra. Esta idea es crucial ya que el interés del método propuesto se fundamenta en un proceso autónomo de puesta en valor de variables dispares y sin relación aparente, lo que en la práctica se traduce en el descubrimiento de una estructura que nos era desconocida.
- Para atender los anteriores requerimientos, se propone utilizar con carácter general el método heurístico usado para el descubrimiento de conocimiento, procediendo por evaluaciones sucesivas e hipótesis provisionales. Concretamente utilizaremos para ello el modelo iterativo propuesto por Teuvo Kohonen en su libro *Self-Organizing Semantic Map* (Kohonen, 1989). En esa investigación se describe una red neuronal artificial con

aprendizaje no supervisado y competitivo, obteniéndose un mapa autoorganizado (*Self Organizing Map -SOM-*).

La aportación de Kohonen surge en un contexto en el que existían evidencias que demostraban que la información obtenida mediante algunos órganos sensoriales del cuerpo humano quedaba representada en las neuronas de determinadas zonas del cerebro mediante capas bidimensionales. De esta manera el cerebro tiene la capacidad de formar mapas topológicos de las informaciones recibidas del exterior. Teuvo Kohonen trataba con su trabajo de demostrar que a partir de únicamente estímulos externos, basándose en las estructuras propias de comportamiento en forma de red, se podían organizar esos datos para formar mapas bidimensionales. Su propuesta es una red neuronal competitiva o mapa de autoorganización, con aprendizaje no supervisado. Presenta únicamente una capa de entradas y otra capa de salidas, siendo su objetivo una vez realizado el aprendizaje de la red que cada entrada presente tan solo una salida. Es muy importante tener de manifiesto que este tipo de red neuronal presenta un aprendizaje no supervisado, no precisando ninguna intervención en tal fase.

El resultado final de la fase SOM es la reestructuración de los objetos cualificados con variables mediante la representación en un mapa topológico de dos dimensiones en el que los objetos de entrada con características comunes activan neuronas situadas en zonas próximas de la capa de salida. En nuestro caso podemos aplicar la red neuronal de Kohonen de la siguiente forma: los datos de múltiples variables que cualifican los objetos arquitectónicos (edificabilidad, superficie de parcela, uso, rentas, etc.) configuran las entradas de la red neuronal obteniendo como salida el propio objeto, es decir cada parcela o edificación situada espacialmente en un mapa bidimensional que tiene la peculiaridad de que cada objeto tiene por contiguos aquéllos que topológicamente son más afines, y por más alejados los objetos con los que menos similitudes presentan sus variables. Esta característica es la que singulariza a las Redes Neuronales tipo SOM. De esta manera la posición de cada objeto en el mapa en relación con la posición de otros elementos aporta importante información topológica. Igualmente la posición de cada agrupamiento, patrón o ecotipo en relación con el resto de objetos o agrupamientos conlleva relaciones igualmente topológicas. Por otro lado las posiciones absolutas de los objetos en el mapa autoorganizado, no aportan información alguna, y no son en absoluto transferi-

bles directamente a nuestra cartografía GIS original. Para lograr una transferencia a la cartografía GIS de la representación SOM, se hace necesario generar una agrupación de los datos que han sido ordenados espacialmente mediante el SOM. Estos grupos se realizan mediante el Método WARD de clusterización –también llamado Método de Varianza Mínima–, y que se fundamenta en la agrupación mediante la búsqueda de las mínimas sumas de los cuadrados de las distancias de los diferentes vectores de los parámetros estudiados. Las agrupaciones WARD-Cluster se pueden observar en los Mapas Monotemáticos. Estos agrupamientos constituyen los ecotipos. Como parte final en el proceso metodológico se plantea la representación de los mismos sobre la base cartográfica GIS-CAD tradicional. Esta representación, como veremos, puede resultar reveladora y decisiva en la utilidad de la metodología propuesta.

4.2.- Método de Obtención de la Ordenanza Red

Con carácter general para la obtención de la Ordenanza-Red se sigue el siguiente proceso (Fig. 2) –siempre incorporando en primera instancia los nuevos objetos cuya adecuación al conjunto se pretende valorar–:

Nivel 1: Selección del ámbito de estudio. El ámbito de estudio deberá ser lo suficientemente extenso para que se manifiesten agrupamientos entre los objetos del estudio; objetos que a su vez deberán encontrarse espacialmente envueltos por otros. Una vez realizado el *Self Organizing Map*, se verificará que se producen los patrones de agrupamiento.

Nivel 2: Determinación de los objetos del estudio, los cuales podrán ser lugares, parcelas, manzanas, edificios, etc. de los que se pueda obtener datos atendiendo a diferentes variables.

Nivel 3: Selección de variables que se intuyan variadas, y sean cuantificables numéricamente como datos. Será indiferente la certeza que podamos tener sobre la relevancia de cada una de las variables que se hacen intervenir, ya que el proceso nos ayudará a filtrar y expurgar las que no se interrelacionan con las demás. Podrán ser variables del sistema conceptos de cualquier tipo, ya

sean físicos, morfológicos, económicos, sociales, etc. que se puedan atribuir o determinar para cada objeto del estudio (parcela, edificio o manzana, etc.).

Nivel 4: Generación del *Self Organizing Map* mediante el proceso heurístico e iterativo propuesto por Teuvo Kohonen.

Nivel 5: Obtención de las cartografías temáticas o monovariantes consistentes en un

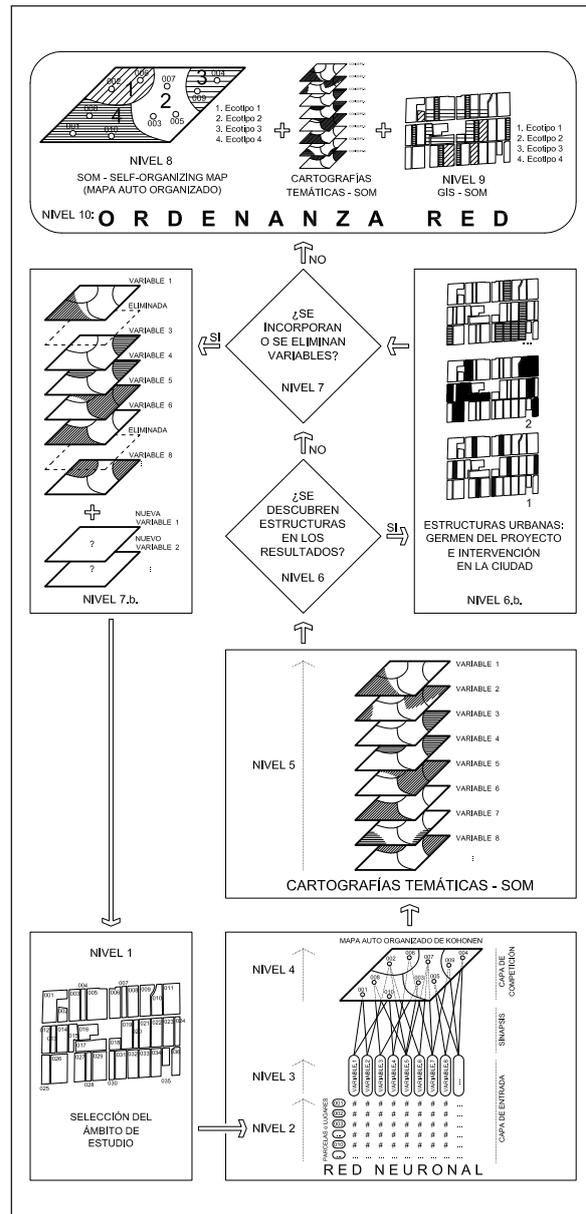


Figura 2.- Proceso Metodológico de la Ordenanza-red. Formulación de la Ordenanza-red mediante el Mapa Autoorganizado, las Cartografías Temáticas y la traslación del Mapa Autoorganizado a la Cartografía GIS tradicional.

- gráfico de cada variable donde se pueden observar las relaciones topológicas entre los distintos objetos y a la vez la intensidad del valor de esa variable para cada objeto o localización.
- Nivel 6: Interpretación de los resultados obtenidos mediante la lectura de las cartografías de regiones de patrones *SOM-WARD-Clúster* y de las cartografías temáticas o monovariantes obtenidas. En esta fase se pueden extraer las primeras conclusiones (Nivel 6.b.), advirtiéndose tanto relaciones de causa-efecto o por el contrario, variables que no se interrelacionan. Para advertir pormenorizadamente estas situaciones se recurre a aproximaciones estadísticas de los datos procesados e interpretados.
- Nivel 7: Se discriminarán y eliminarán las variables que no aporten coherencias en la formalización de los patrones *SOM* según lo observado en el nivel anterior y se repetirá el proceso desde el nivel 1 hasta depurar la presencia de elementos no cohesionados. En cada ciclo se pueden aportar o extender los conceptos o datos para incorporarlos al tejido relacional en función de las matizaciones e interpretaciones sugeridas o inspiradas por los Mapas generados (Nivel 7.b.).
- Nivel 8: Una vez depurados los conceptos que aportan coherencias se concluye y se obtiene el *Self-Organizing Map* definitivo en el que se representan los nuevos objetos urbanos en continuidad con otros sujetos con los que comparten una gran similitud.
- Nivel 9: Se representan los agrupamientos que se obtienen del proceso de *clusterización* mediante el método *WARD* sobre una base cartográfica *GIS-CAD* usual, hasta conseguir mostrar los grupos o clúster coherentes entre sí, en su distribución espacial. En esta representación será sencillo establecer el grado de adecuación del edificio u objeto urbano propuesto en relación a su entorno más inmediato o en relación al conjunto.
- Nivel 10: De la interpretación del *Self Organizing Map* y otros Mapas Temáticos que representen relaciones directas y muy claras se pueden extraer consecuencias que pueden derivar en posibilidades de proyecto de transformación urbana. Esta fase es probablemente la más importante del todo en proceso, y a la vez es la que mayor intervención del usuario requiere. En ella se podrán vislumbrar ciertas relaciones entre variables de forma muy intuitiva cuando se advierta que varios conceptos se muestran con una representación cartográfica Temática semejante en su forma a las regiones o agrupamientos en patrones o Ecotipos. Esto está denotando de forma sencilla las coherencias directas o inversas entre conceptos que cualifican objetos. Por otro lado se puede observar otro tipo de interpretación muy valiosa, esta es la agrupación de los patrones o Ecotipos en determinados lugares en el espacio en su representación *GIS-CAD* final. Esto nos proporciona información que puede ser reveladora de las coherencias entre los objetos y su posición espacial real.

4.3.- La Ordenanza-Red en la Transformación Urbana

La Ordenanza-red se propone como método de caracterización y comprensión urbana:

Como caracterizadora va a permitir asimilar los nuevos sujetos urbanos que se pretenden incorporar al tejido de la ciudad como constituyente de una red relacional, para obtener una representación de los agrupamientos de forma integrada en ecotipos. Si tales agrupamientos se distribuyen en determinadas regiones físicas del tejido estudiado de forma densa, se va a poder evaluar si cualquier nuevo objeto urbano se integra adecuadamente a su entorno. Puede ocurrir de esta forma que el nuevo sujeto se integre de forma discreta en el ecotipo que caracteriza su entorno, en ese caso podemos deducir su adecuación al ámbito salvo que se considere oportuna una transformación de identidad para esa región, en cuyo caso la Ordenanza-red no es el método adecuado para operar en ese lugar. Por otro lado puede ocurrir mediante la comparación del plano Ordenanza-red previo a la transformación y la cartografía que ya incorpore el cambio, que se observe la integración del

nuevo objeto en el ecotipo de su entorno y que el nuevo ecotipo sea distinto al original. En ese caso se ha creado una transformación en el que la nueva pieza transforma, completa y enriquece las relaciones topológicas del conjunto urbano. Es aquí donde se considera que radica el mayor interés del método propuesto: el entendimiento de forma entretejida y en red de los parámetros y de las transformaciones que condicionan la realidad urbana permite cobijar su propio cambio y avance.

Asimismo la Ordenanza-red produce una aproximación a la realidad urbana existente que permite un conocimiento y comprensión orientado hacia el proyecto de transformación urbana.

5.- ÁMBITO DE ESTUDIO

5.1.- Emplazamiento

Como lugar de estudio para el ensayo y verificación de las hipótesis planteadas se selecciona el Centro Histórico del municipio granadino de Santa Fe. Hay diferentes cualidades que hacen especialmente interesante la aproximación a esta población por su singular tejido basado en una red característica de su fundación como campamento militar (1483) por los Reyes Católicos durante la Conquista de Granada. Asimismo es valiosa para el estudio la permanencia de buena parte de las trazas urbanas originales unido a unas recientes transformaciones tipológicas profundas (desde 1970). Es a priori un lugar magnífico donde estudiar y tratar de hacer aflorar las invariantes, tendencias históricas, tendencias recientes, y patrones de relación entre conceptos físicos o edificatorios y otros conceptos socioeconómicos como método de aproximación y de discriminación entre las tipologías originales y las transformadas.

5.2.- Datos de Partida

Resulta crucial para el desarrollo de la investigación la aproximación al nuevo *Plan Especial de Protección y Ordenación del Centro Histórico de Santa Fe* (Gómez *et al.*, 2008), actualmente en fase de aprobación, como fuente valiosa de conocimiento, pero sobre todo como fuente de inspiración por la forma de abordar la Ordenanza. Este Plan opera en clave investigadora hacia el proyecto y la intervención transformadora. Se pretende que esa esencia permanezca en nuestra investigación, tratando de orientar la utilidad y necesidad de la misma hacia la vertiente proyectual.

En el estudio realizado se agrupan las variables en una serie de categorías atendiendo a lo que representan. Se puede observar esta clasificación en la Tabla 1, en la que también se expresa qué variables finalmente han formado estructuras relacionales con el resto, configurándose de esta forma la Ordenanza-red.

Para la obtención y representación del *Self Organizing Maps* se ha utilizado el *Software Viscovery® SOMine 5.0.2 (trial version)*, y para la representación de estos datos SOM en Cartografías GIS se ha utilizado el *Software ESRI® ArcGIS 9.3*.

6.- RESULTADOS

Se pueden distinguir resultados en al menos dos ámbitos. El primero de ellos se refiere a lo conseguido al afrontar el principal objetivo de la investigación que no era otro que tratar de alcanzar la representación, mediante unas cartografías, de una Ordenanza Urbana basándose en la caracterización de buena parte de las complejidades, coherencias y tendencias de una porción de ciudad. Al analizar las cartografías obtenidas se puede observar la enorme fortaleza que se obtiene en la representación de los nuevos tipos edificatorios propuestos, ecotipos, fundamentada en la permanencia de los valores tipológicos a lo largo de la historia de Santa Fe. Se puede observar en las Cartografías Monotemáticas (Fig. 3) la representación definitiva de la Ordenanza-Red, explicada desde las variables que finalmente la han formado. En cada ficha se expresa la cartografía de cada variable, representando en cada punto de ellas una parcela del centro de Santa Fe. La tonalidad representa la intensidad del valor de ese concepto en cada parcela, agrupándose alrededor de ella otras parcelas con una tendencia general o topológica similar. Estas tendencias se observan en los grupos o patrones que se representan gráficamente con los sectores enmarcados y numerados en cada cartografía temática. Estos planos son cruciales para la interpretación de las correlaciones y tendencias de los conceptos estudiados.

En esta misma figura (Fig. 3) podemos ver las 27 variables que finalmente componen la Ordenanza-red, quedando representados todos los objetos en la misma posición en todas las gráficas, reflejando esa posición las coherencias y relaciones topológicas con respecto al resto de objetos y en relación simultánea con todas las otras variables estudiadas. Igualmente se puede observar en cada

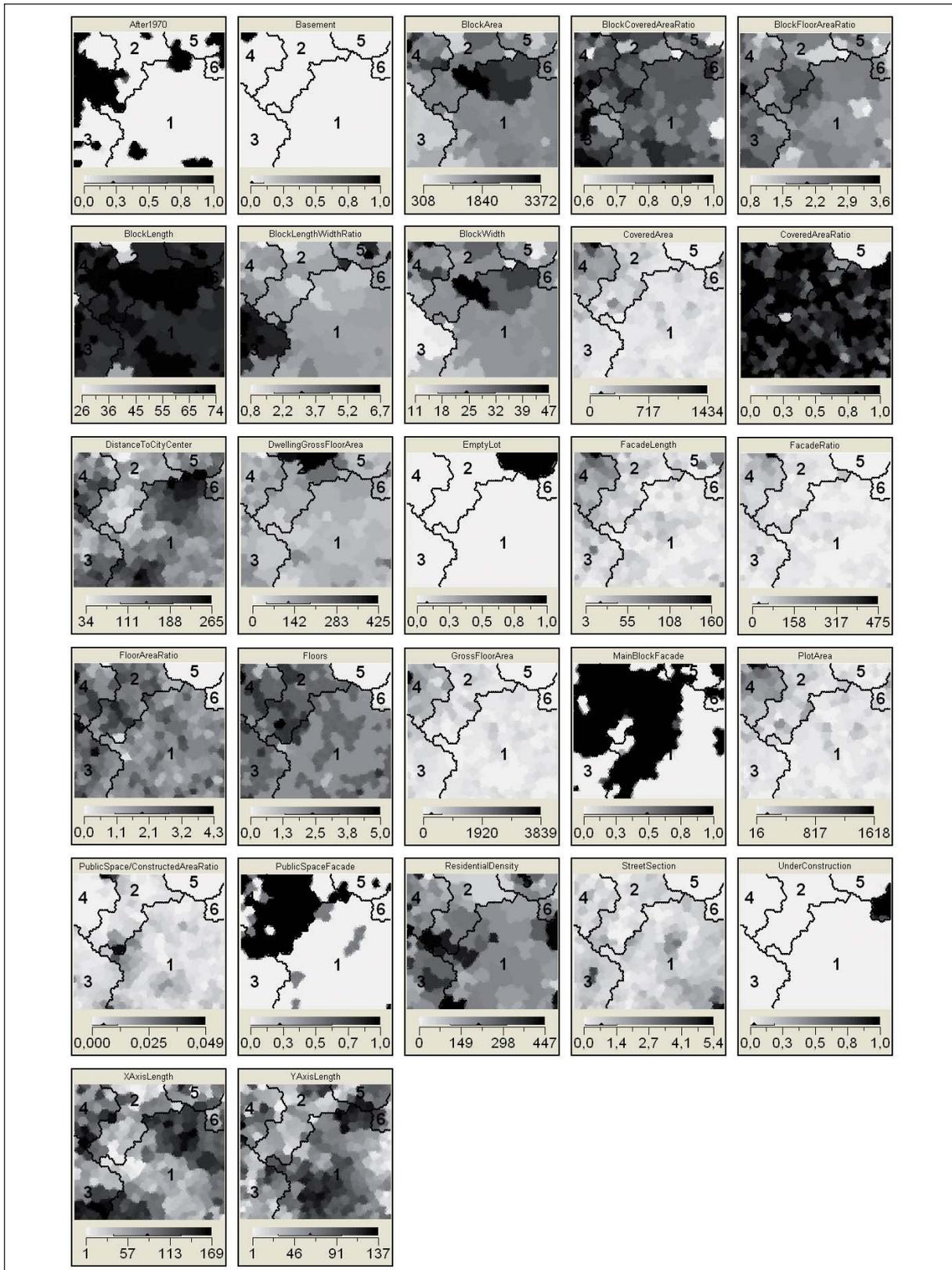


Figura 3.- Representación gráfica conceptual mediante SOM de los Mapas monotemáticos de la Ordenanza-red. Se representan todas las parcelas del estudio en una posición que manifiesta su relación topológica con el resto. No expresa ninguna posición física o real de las mismas. Se delimitan los seis agrupamientos llamados Ecotipos. Cada parcela se representa en la misma posición en todos los gráficos de las variables estudiadas.

una de las gráficas monotemáticas la representación de las agrupaciones de los objetos en patrones –ecotipos–.

El número de agrupaciones o ecotipos se define empíricamente. Se persigue obtener el mayor número de ecotipos siempre que se represente algún tipo de coherencia en el ecotipo con menor número de objetos (Tabla 1). De esta manera se procede iterativamente incrementando el número de ecotipos y deteniendo el proceso cuando se detecta que el nuevo ecotipo generado no proporciona una representatividad o relevancia importante. Se observa en nuestro ejemplo que el ecotipo séptimo, muestra una representatividad muy baja (3 parcelas de un total de 374), considerándose por lo tanto como óptimo los seis ecotipos obtenidos previamente ya que aunque se puede observar que ya aparece uno con una representatividad numérica relativamente baja (9 parcelas de un total de 374), tanto el quinto como el sexto ecotipo presentan una relevancia considerable ya que definen a unos grupos muy claros y evidentes como son las parcelas sin edificación o vacías y las parcelas con edificaciones en construcción respectivamente.

Los patrones de agrupación de los objetos de la Figura 3 se representan, siguiendo la metodología propuesta, en la cartografía CAD-GIS tradicional (Fig. 4). Aquí es cuando cobra especial interés el proceso realizado. Se puede observar la enorme densidad y coherencia en la distribución espacial

Número de Ecotipos	Número de parcelas por ecotipo						
	Ecotipo 1	Ecotipo 2	Ecotipo 3	Ecotipo 4	Ecotipo 5	Ecotipo 6	Ecotipo 7
1	374	-	-	-	-	-	-
2	281	93	-	-	-	-	-
3	244	93	37	-	-	-	-
4	244	63	30	37	-	-	-
5	244	63	30	28	9	-	-
6	193	63	51	30	28	9	-
7	193	63	51	27	28	9	3

Tabla 1.- Caracterización del número de Ecotipos en la formación de la Ordenanza-red. Se puede observar que el proceso de selección del número de patrones o Ecotipos se detiene al alcanzar el sexto, ya que el séptimo contienen un número irrelevante de parcelas. Los ecotipos 5 y 6 se consideran adecuados debido a la relevancia y carácter propio de los objetos que contienen.

de los ecotipos. Se detecta de forma muy sencilla e intuitiva las características de cada uno de los mismos. Así por ejemplo el Ecotipo 1 representa el grueso de construcciones tradicionales que no han visto alterada su configuración de forma muy importante. El Ecotipo 2 representa las construcciones tradicionales más relevantes en cuando a calidad, tamaño y representatividad, coincidiendo con las construcciones burguesas generalmente localizadas en lugares más emblemáticos. El Ecotipo 3 representa a las construcciones situadas en las manzanas de menos fondo, mostrándose unas coherencias que trascienden más allá de lo morfológico. El Ecotipo 4 representa fundamentalmente a la mayoría de las nuevas construcciones, manifestándose claramente la radical alteración de los valores tipológicos y morfo-parcelarios pre-existentes. Al observar los gráficos monotemáticos podemos advertir que estas construcciones presentan una importante alteración de las superficies de parcela, de las superficies construidas e incluso de las edificabilidades en relación a las construcciones tradicionales. Se advierte claramente que la mayoría de las construcciones realizadas con posterioridad a 1970 transforman importantes coherencias propias del Centro Histórico de Santa Fe algo que podemos constatar al quedar representada en ecotipos diferentes. Este hecho se puede corroborar al comprobar la forma y tamaño de la parcelación de estas construcciones en relación al resto. Por último los Ecotipos 5 y 6 representan respectivamente a las parcelas sin edificar y las parcelas en construcción.

Todas estas reflexiones y otras muchas pueden ser extraídas al conjugar la cartografía GIS-CAD de los Ecotipos con las representaciones monotemáticas.

Por otro lado el segundo ámbito donde se obtienen resultados toma lugar en la fase de interpretación de los *Self Organizing Maps* temáticos. En esta fase destaca claramente la visualización de una cuestión que resulta reveladora. Ésta es la coherencia que se observa al realizar de forma independiente un Mapa Autoorganizado teniendo en consideración exclusivamente el estado de conservación de las edificaciones y la anchura de la manzana a la que pertenece (Fig. 5), denotando una correspondencia entre el fondo construido y la capacidad de mantenimiento o incluso de arraigo de la población a sus viviendas (Fig. 6). Podemos fácilmente observar que las viviendas que se alojan en las manzanas de menor anchura presentan generalmente al menos dos fachadas a calle, en oposición a las manzanas más anchas que se organizan con patios interiores que con el



Figura 4.- Representación gráfica de los agrupamientos de la Ordenanza-red sobre cartografía GIS. Se pueden extraer ciertas conclusiones a partir de la agrupación espacial de los seis Ecotipos. El Ecotipo 1 recoge la mayoría de las construcciones tradicionales que no han visto alterada su configuración de forma importante. El Ecotipo 2 representa las construcciones tradicionales más relevantes coincidiendo con las construcciones burguesas y localizadas en lugares más emblemáticos. El Ecotipo 3 representa a las construcciones situadas en las manzanas de menor fondo. El Ecotipo 4 representa fundamentalmente a la mayoría de las nuevas construcciones manifestándose claramente la radical alteración de los valores tipológicos y morfo-parcelarios preexistentes. La mayoría han sido ejecutadas después de 1970. El Ecotipo 5 representa las parcelas sin edificar y el Ecotipo 6 las parcelas en construcción.

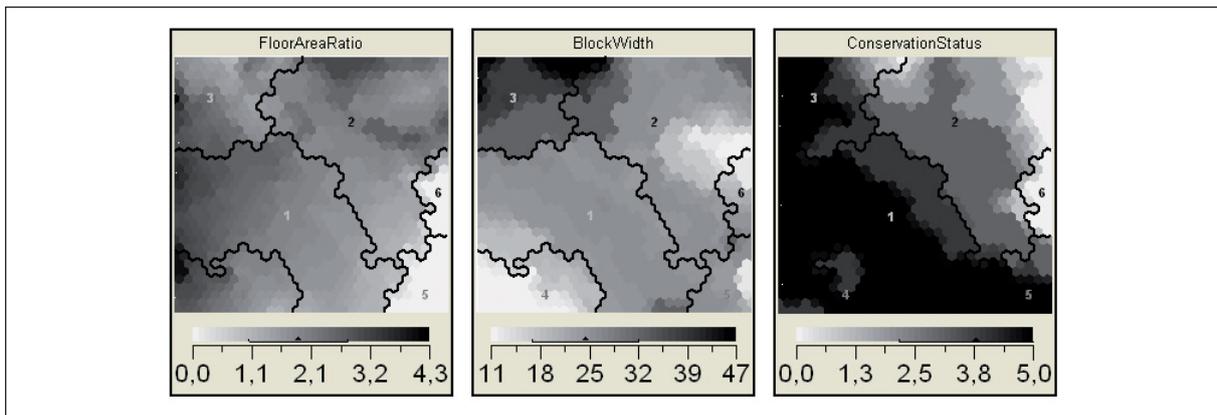


Figura 5.- Representación gráfica conceptual mediante SOM de las relaciones entre anchura de manzanas (BlockWidth), el grado de conservación de las viviendas (ConservationStatus), y la edificabilidad (FloorAreaRatio). Se advierte claramente que en el patrón-ecotipo 4 existe una relación causa efecto inversa entre ancho de las manzanas y su correcto estado de conservación (ConservationStatus: 0=Parcela Vacía, 1=Ruina, 2=Deterioro alto, 3=Deterioro medio, 4= Deterioro bajo, 5= Buen estado/Nuevo). La variable edificabilidad no aporta una especial coherencia pero no impide la formalización de los ecotipos. Se realiza de forma totalmente independiente del SOM de la Ordenanza-red, ya que las variables que constituyen ésta son distintas. Se representan todas las parcelas del estudio en una posición que manifiesta su relación topológica con el resto y no expresa ninguna posición física o real de las mismas. Se delimitan los seis agrupamientos, Ecotipos. Cada parcela se representa en la misma posición en todos los gráficos de las variables estudiadas.



Figura 6.- Representación gráfica sobre cartografía GIS de las relaciones entre la anchura de las manzanas (Block-Width), el grado de conservación de las viviendas (ConservationStatus), y la edificabilidad (FloorAreaRatio). Se puede observar la correspondencia del patrón-ecotipo- número 4 con las manzanas de menor anchura. Este gráfico representa espacialmente tal coherencia.

tiempo han sido colmatados por construcciones irregulares. Se manifiesta de esta manera una importante clave de salubridad en la valoración de la salud del tejido residencial de Santa Fe.

Curiosamente el concepto de estado de conservación se eliminó en última instancia de la Ordenanza-Red al comprender que ese estado, si bien aportaba una información muy valiosa como se acaba de describir, no era una variable que debía intervenir en las coherencias de las formas urbanas futuras.

Finalmente se puede decir que entre los distintos valores que forman las variables del complejo sistema urbano se establecen unas interrelaciones hipertextuales (Corboz, 1994) conformándose una ordenanza que opera a partir de la red de relaciones en el entorno de estudio.

7.- DISCUSION

En la formalización de la Ordenanza-Red durante el proceso iterativo de selección y eliminación de las variables que cualifican las parcelas del centro de Santa Fe, se pasó de manejar 92 variables organizadas en 14 categorías, a un total de 27 variables pertenecientes a 7 categorías. En la Tabla 2 se representan las 60 principales variables y

las que finalmente forman parte de la Ordenanza-red. Todas estas variables se han aplicado a las 374 parcelas del centro de Santa Fe. En este proceso se pudo advertir que determinados datos manejados, especialmente los datos estadísticos sobre la población, no aportaron ninguna estructura al Mapa Autoorganizado. Este efecto se debe a que esos datos que cualificaban cada parcela estaban extraídos como medias por manzana. Se puede observar de esta manera la sensibilidad a la procedencia de los datos al igual que la fortaleza del sistema al no ser influido por datos sin estructura. La fortaleza a datos incoherentes es fundamental a la hora de aceptar como válido el método propuesto.

Como validación de los datos obtenidos cabe destacar la necesidad de mejora de las condiciones higiénicas en el interior de las manzanas de doble ancho así como el descenso de su densidad propuesto por el *Plan Especial de Protección y Ordenación del Centro Histórico de Santa Fe* (Gómez et al., 2008).

8.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con esta investigación se consideran valiosos en cuanto que la Ordenanza-Red permite representar y alcanzar una comprensión casi a priori de determinadas

Tejido residencial			Tejido social y económico		
Categoría	Variables	Forma parte de la Ordenanza	Categoría	Variables	Forma parte de la Ordenanza
Definición	Identificador	NP	Estructura de la Propiedad	Vivienda alquilada	
	Transformado después de 1970	X		Vivienda no habitada	
	Parcela sin edificar	X		Vivienda en venta	
	En construcción	X			
	Edificio con sótano	X			
La parcela	Superficie de la parcela	X	Densidad ocupación	Habitantes por manzana	
	Número de patios			Densidad residencial	X
	Superficie de los patios			Superficie construida por habitante	
	Perímetro de los patios			Número de vivienda por manzana	
	Superficie ocupada	X		Superficie construida por vivienda	X
	Ocupación	X	Laboral	Población activa	
	Número de plantas	X		Porcentaje de desempleo	
	Superficie construida total	X		Calidad del empleo	
Edificabilidad	X	Educación	Nivel de educación		
La manzana	Anchura de la manzana	X	Origen	Origen de los habitantes	
	Longitud de la manzana	X	Edad	Edad	
	Superficie de la manzana	X	Función	Usos privados en la manzana	
	Superficie ocupada de la manzana			Buffer de usos privados	
	Ocupación en la manzana	X		Densidad de usos privados	
	Superficie construida en la manzana	X		Usos públicos en manzana	
	Edificabilidad de la manzana	X		Sensidad de usos públicos	
Relación entre longitud y anchura	X				
Espacio público	Relación de sup esp púb y fachada parcela	X			
	Relación de sup esp púb y fachada manzana				
	Relación de sup esp púb y sup construida parcela	X			
	Relación de sup esp púb y sup construida manzana				
Salubridad	Longitud de fachada	X			
	Relación longitud de fachada y superficie de parcela	X			
	Relación Superficie patios y superficie parcela				
	Relación sup fachada y sup construida				
	Relación de sup esp público y sup fachada				
Accesibilidad Visibilidad	Relación ancho y alto de calle. Sección de calle	X			
	Distancia real al centro de la ciudad				
	Distancia al centro de la ciudad al recorrer el viario	X			
	Distancia a una calle principal				
	Distancia a eje X (Calle Real)	X			
	Distancia a eje Y (Calle Cristobal Colon-Isabel la Católica)	X			
	Distancia a fachada principal de manzana	X			
Estado de la construcción	Posición de la fachada en la manzana				
	Posición de la fachada a espacio público principal	X			
Estado de la construcción	Estado de conservación				

NP: No procede
X: Forma parte de la Ordenanza-Red

Tabla 2.- Variables de formación de la Ordenanza-red. Se puede observar la diversidad de las variables estudiadas, destacando la ausencia final de algunas de ellas debido a su baja o nula influencia en la red relacional de la Ordenanza una vez formada.

interrelaciones de las más diversas variables que de otro modo habría precisado un conocimiento y una profunda inmersión en entorno urbano a estudio. Igualmente los ecotipos alcanzados representan con eficacia y de manera intuitiva una instantánea de la realidad que puede sugerir un diagnóstico de las problemáticas transformadoras que han tenido lugar en la ciudad.

No habrá que perder de vista que el método planteado no deja de ser en todo caso una simplificación de la realidad, siendo asumida ésta como válida para la comprensión y el estudio de los fenómenos complejos [Bak, 1994].

Se trata pues de un método de ayuda a la decisión. Y seguramente su auténtico valor radique en el propio proceso propuesto, que sin lugar a dudas

es capaz de generar oportunidades para la reflexión sobre las coherencias y dinámicas urbanas como fuente de inspiración de futuros proyectos de transformación y mejora urbana.

9.- AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer en primer lugar con carácter general a los miembros del Laboratorio de Urbanismo y Ordenación del Territorio de la Universidad de Granada por la colaboración prestada, y especialmente al Catedrático J.L. Gómez Ordoñez por facilitar la aproximación a su trabajo en Santa Fe y a F. Aguilera Benavente y L. M. Valenzuela Montes por sus comentarios a la investigación, todos ellos miembros de la Universidad de Granada.

10.- BIBLIOGRAFÍA

Alexander, C.A. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge. Harvard University Press.

Ascher, F. (2001). *Les nouveaux principes de l'urbanisme. La fin des villes n'est pas à l'ordre du jour*. Paris. Éditions de l'Âube.

Bak, P. (1994). Self-Organized Criticality: An Holistic View of Nature. *Complexity: Metaphors, Models, and Reality* (G.A. Cowan, D. Pines, y D. Meltzer, Eds.). Massachusetts. Addison-Wesley Reading.

Batty, M. (2005). *Cities and Complexity. Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge. The MIT Press.

Benavides, J. (2009). *Diccionario urbano: Conceptual y transdisciplinar*. Barcelona. Ediciones del Serbal.

Cannon, W.B. (1932). *The Wisdom of the Body*. New York. W. W. Norton.

Cherkassky, V., J.H Friedman y H. Wechsler (eds.) (1994). *From statistics to neural networks*. Berlin. Springer-Verlag.

Corboz, A. (1994). Hiperville. (M. d. Institut pour l'Art et la Vie, Ed.). *Cashier* 8: 112-129.

Diappi, L., P. Bolchim y M. Buscema (2004). Improved Understanding of Urban Sprawl Using Neural Neural Networks. *Recent Advances in Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning* (J.P. van Leeuwen y

H.J.P. Timmermans, Eds.). Kluwer Academic Publishers: 33-49.

Dupuy, G. (1991). *L'Urbanisme des Réseaux. Théories et methods*. Paris. Armand Colin.

Goldenfeld, N. y L.P. Kadanoff (1999). Simple Lessons from Complexity. *Science* 284: 87-89.

Goleman, D. (1996). *Emotional Intelligence*. New York. Bantam Book.

Gómez Ordoñez, J.L., D. Cabrera Manzano y J.L. Rivas Navarro (2008) *Plan Especial de Protección y Ordenación del Centro Histórico de Santa Fe, Granada*. Santa Fe. Ayuntamiento de Santa Fe.

Hagen - Zanker, A.H. y Timmermans, H.J.P. (2008). A metric of compactness of urban change illustrated to 22 European countries. *The European Information Society, Taking Geoinformation Science One Step Further*. (L. Bernard, A. Friis-Christensen y H. Pundt, Eds.). Berlin. Springer.

Irwin, E.G. y J. Geoghegan (2001). Theory, data, methods: developing spatially explicit economic models of land use change. *Agriculture Ecosystems and Environment* 85 (1-3): 7-23.

Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. Nueva York. Vintage Books, Random House.

Kohonen, T. (1989). Self-Organizing Semantic Map. *Biological Cybernetics* 61: 241-254.

Openshaw, S., R.J. Abrahart (2000). *Geocomputation*. London and New York. Taylor & Francis.

Pitarque, A., J.F. Roy y J.C. Ruiz (1998). Redes neuronales vs modelos estadísticos: Simulaciones sobre tareas de predicción y clasificación. *Psicología* 19: 387-400.

Precedo Ledo, A. (2004). *Nuevas realidades territoriales para el siglo XXI: Desarrollo local, identidad territorial y ciudad difusa*. Madrid. Síntesis.

Rossi, A. (1971). *La arquitectura de la ciudad*. Barcelona. Editorial Gustavo Gili.

Rossi, A., J. Romaguera i Ramió, F. Serra Cantarell (1977). *Para una arquitectura de Tendencia: Escritos, 1956-1972*. Barcelona. Editorial Gustavo Gili.

Sabaté, J. (1999). *El Proyecto de la calle sin nombre: los reglamentos urbanos de la edificación París-Barcelona*. Barcelona. Fundación Caja de Arquitectos.

Salingaros, N.A., L.A. Coward, B.J. West, A. van Bilsen (2005). *Principles of urban structure*. Amsterdam. Techne.

Santos, B.S. (2005). *El milenio huérfano. Ensayos para una nueva cultura política*. Bogotá. Ed. Trotta, S.A.

Secchi, B. (2000). *Prima lezione de urbanística*. Bari. Edizioni Laterza.

Sui, D.Z. (1992). An experiment on the generic polycentric city of urban growth in a cellular automatic city. *Environment and Planning B* 25: 731-752.

Turesson, G. (1922). *The genotypical response of the plant species to the habitat*. Lund. University of Lund.

Virilio, P. (1991). *The Lost Dimension*. New York. Semiotext (e).

White, R. y G. Engelen (1993). Cellular-Automata and Fractal Urban Form - a Cellular Modeling Approach to the Evolution of Urban Land-Use Patterns. *Environment and Planning A* 25(8):1175-1199.

Zevi, B. (1997). *Saper vedere l'città. Ferrara di Biagio Rossetti, la prima città moderna europea*, Torino. Giulio Einaudi editore.