

FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE. TRABAJOS PREVIOS A LA TOMA DE DATOS

CLOSERANGE PHOTOGRAMETRY. PREVIOUS WORKS TO THE DATA COLLECTION

Elena Cabrera Revuelta. Universidad de Sevilla.

Borja Molero Alonso. Universidad de Sevilla.

RESUMEN

La Fotogrametría es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto.

Para la correcta toma de las fotografías es necesario conocer el funcionamiento interno de las cámaras fotográficas.

En este artículo se desarrolla el cálculo de la posición desde la cual tomar una fotografía para obtener una resolución adecuada, así como la distancia entre una imagen y la siguiente para que el solape sea correcto.

La relación existente entre la distancia focal, f , de una cámara de fotos, y la distancia entre la cámara y el objeto a fotografiar, H , cumple con la siguiente característica: es igual a la relación entre el ancho del tamaño del sensor, w , y el ancho real del objeto fotografiado, W .

Partiendo de esta relación de proporcionalidad se desarrollan una serie de cálculos que, por seguro, se deben tener en cuenta al planificar un trabajo de fotogrametría terrestre.

Palabras Clave

Fotogrametría, Resolución, tamaño de pixel.

ESCALAS Y PRECISIONES

La Fotogrametría es una de las técnicas que pueden usarse como medio de adquisición de datos gráficos de un edificio, para realizar un Levantamiento Arquitectónico. Estos datos obtenidos serán tratados con el fin último de generar Documentación Gráfica.

Un levantamiento gráfico puede tener diferentes usos. En función de los objetivos concretos del proyecto, el nivel de detalle variará en mayor o menor grado para adaptarse a las necesidades. Según el autor Almagro Gorbea (1), se pueden establecer tres niveles de documentación gráfica, los cuales determinan el tipo de levantamiento que ha de ser realizado.

El primer nivel es el conocido como Nivel de Reconocimiento; el segundo nivel es llamado Nivel de Documentación Preliminar; y el tercero corresponde al Nivel de Documentación de Detalle.



Fig. 1: Canon EOS 450D con objetivo SIGMA 18-200 mm. Fuente: Wikipedia.

Para alcanzar el nivel de reconocimiento bastará con generar documentación basada en fotografías, croquis o esquemas sin escala precisa, pero bien proporcionados.

En el nivel de documentación preliminar, o segundo nivel, se deben incluir planos con errores no mayores a 10 cm, a escala no menor de 1:200, así como detalles con errores menores a 3-5 cm, a escala 1:100 o 1:50.

Por último, en el nivel llamado documentación de detalle se generará documentación a una escala mínima de 1:100 con errores menores a 3-5 cm, así como planos de detalles a escalas 1:50 y 1:20 con errores menores de 1-3 cm. (1).

Los errores deben ser imperceptibles para el ojo humano. Se considera que la capacidad de apreciación de éste es de alrededor 0.3 mm, lo que equivale a aproximadamente el grosor de una línea en un dibujo

TAMAÑO DEL PIXEL

Un píxel, acrónimo del inglés *Picture Element* (Elemento de Imagen), es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.

El tamaño de un píxel define, por tanto, la resolución de una fotografía. A menor tamaño del píxel, la resolución será mayor, pues la realidad fotografía queda representada en mayor grado de detalle.

CÁLCULO DEL TAMAÑO DEL PÍXEL

El tamaño del píxel puede ser calculado conociendo el tamaño del sensor y los píxeles que forman una fotografía en dirección horizontal

El tamaño del píxel se mide en micrones, siendo 1 micrón una milonésima parte de un metro.

Como ejemplo, se calcula el tamaño del píxel de la cámara Canon EOS 450D, con objetivo SIGMA 18-200 mm (Fig. 1).

Según especificaciones técnicas, la resolución de sensor de nuestra cámara es de 4.272 x 2.848 píxeles y el tamaño de sensor de 22,2 x 14,8 mm (2).

Para el cálculo del tamaño del píxel, bastará con dividir la dimensión horizontal del sensor, entre el número de píxeles que caben en una imagen en dirección horizontal.

Prosiguiendo con el cálculo, al dividir 22,2 mm entre 4.272 píxeles que caben en esa distancia, daría como resultado un tamaño de píxel de 0,00520 mm, o expresado de otra forma, 5,20 micrones.

Una vez conocido el tamaño del píxel, se puede utilizar esta información para obtener imágenes con el nivel de detalle deseado.

CÁLCULO DE LA POSICIÓN DE LA TOMA FOTOGRÁFICA

A partir de una simple regla de proporcionalidad, es posible calcular la distancia desde la cual se debe realizar la toma de fotografías, para obtener así la resolución deseada.

Como se comentó en el apartado “Escala y precisiones”, el grado de detalle que se pretende alcanzar es el factor que determina la escala con la que se generará la documentación gráfica final.

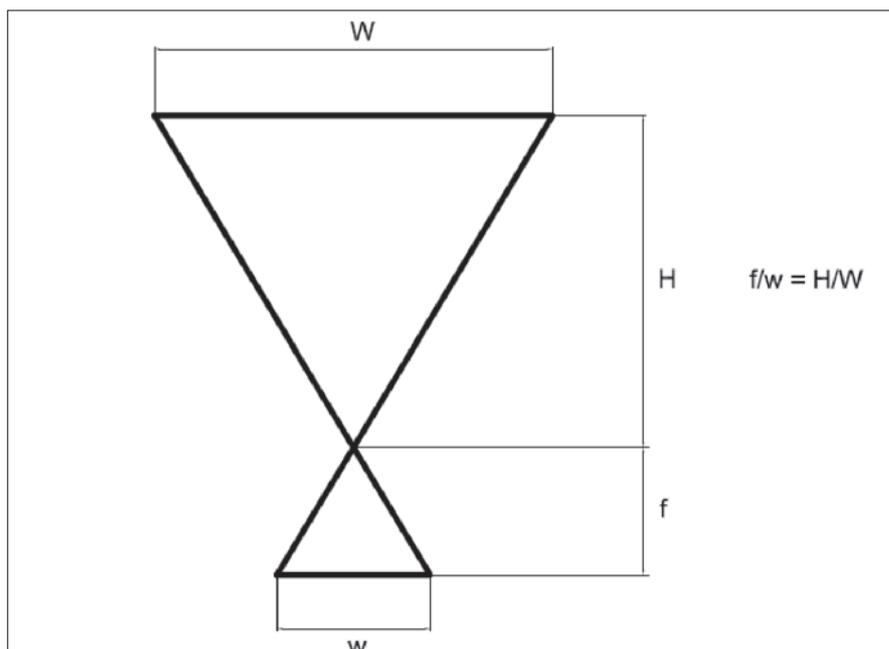


Fig. 2: La relación existente entre la distancia focal de una cámara fotográfica, y la anchura del sensor de la misma, es igual a la relación existente entre la distancia desde el objetivo hasta el objeto fotografiado y el ancho real que queda fotografiado. Fuente: Elaboración propia.

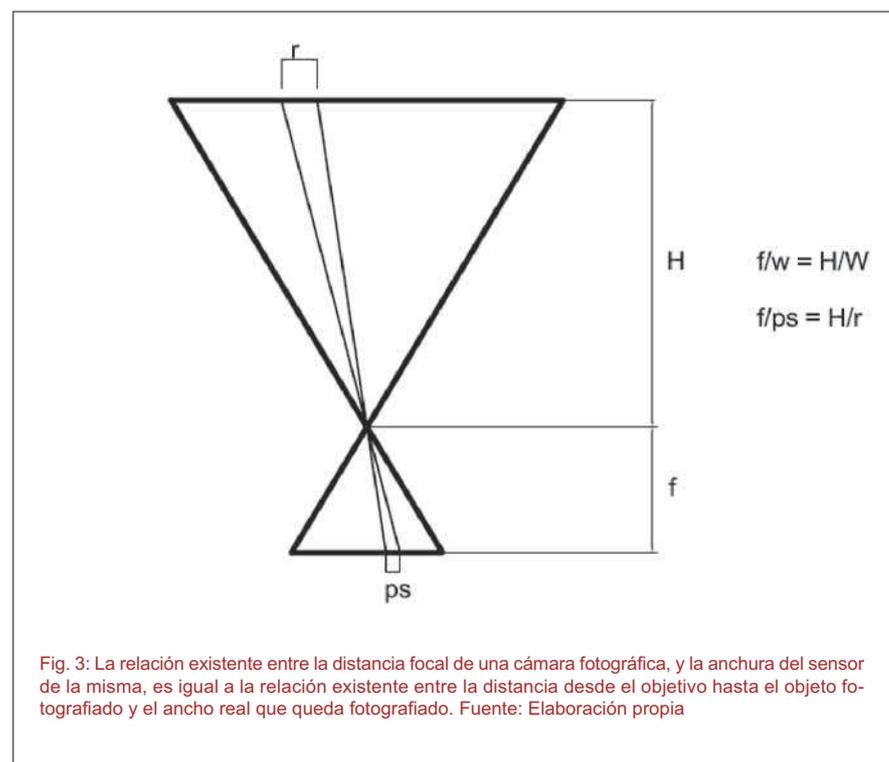


Fig. 3: La relación existente entre la distancia focal de una cámara fotográfica, y la anchura del sensor de la misma, es igual a la relación existente entre la distancia desde el objetivo hasta el objeto fotografiado y el ancho real que queda fotografiado. Fuente: Elaboración propia

Tomando como ejemplo el caso de querer generar documentación gráfica de detalle, el error admisible estará entre 1 y 3 centímetros.

Por lo que, para que dentro de una línea impresa, la cual tiene un grosor de 0,3 mm, no puedan distinguirse

detalles menores a un centímetro, se establece que 0,3 mm en el dibujo equivale a un centímetro en la realidad. Lo cual corresponde a una escala aproximada de 1:20.

Pues bien, siguiendo este mismo razonamiento, la fotografía debe tomarse a una distancia del objeto tal

que, aquello que mida un centímetro en la realidad, ocupe el tamaño de un pixel.

Para calcular la distancia desde la cual realizar la toma de datos, es imprescindible tener en cuenta la relación de proporcionalidad que se da en todas las fotografías, y que aparece en la Figura 2, que refleja el esquema del cálculo matemático aquí desarrollado.

Se conoce como distancia focal, f , a la distancia existente entre el objetivo (Punto de Vista) y el sensor (Plano de Proyección). Esa distancia se expresa en milímetros, y es un dato que puede conocerse al inspeccionar el objetivo de la cámara. Al modificar el zoom en una cámara fotográfica, la distancia focal varía, ya que el objetivo se desplaza alejándose o acercándose al sensor.

En el ejemplo tomado, la distancia focal puede estar comprendida entre 18 y 200 milímetros.

Esta distancia será la mínima cuando no se esté activando el zoom. Se tomará como dato para continuar con el cálculo la distancia focal que viene dada por defecto, es decir, 18 milímetros.

Si se modificara la distancia focal, habrá que volver a repetir los cálculos.

La misma relación existente entre el ancho del sensor w , y el ancho real fotografiado W se mantiene entre el tamaño del píxel, ps , y el tamaño real de lo que cabe dentro de un píxel, r (Fig. 3).

Se llama resolución, r , o GSD (*Ground Sample Distance*) a la distancia existente entre los centros de dos píxeles de una fotografía, medida en la realidad. O, dicho de otra forma, la medida real que queda fotografiada dentro de un pixel.

Pues bien, conocidas la resolución que se desea obtener, r , y el tamaño del píxel, ps , es posible calcular el Factor de Escala, SN . Este factor in-

dica la magnificación para pasar de la imagen a la realidad.

Resolución $\rightarrow r = 10 \text{ mm (GSD)}$

Factor de Escala $\rightarrow SN = \frac{r}{\text{Pixel size}}$

$$SN = \frac{10}{0,00520} = 1923,07$$

Es evidente que al modificar la resolución que se pretende obtener, el Factor de Escala variará.

En el ejemplo estudiado, la realidad es reducida 1923,07 veces para aparecer en la imagen.

Para conocer la distancia que debe haber entre el objeto fotografiado y la cámara, se utiliza la relación de proporcionalidad que se indica en la Figura 4.

$$\frac{f}{ps} = \frac{H}{r};$$

$$H = \frac{f \times r}{ps};$$

Sustituyendo se obtiene la siguiente ecuación:

$$H = f \times SN$$

De esta forma, ya es posible calcular H .

$$H = 18 \times 1923,07;$$

$$H = 34615,38 \text{ mm};$$

La distancia máxima desde la cual se deberá realizar la toma fotográfica para obtener la resolución deseada es de 35 metros.

CÁLCULO DEL SOLAPE HORIZONTAL

Para poder realizar un trabajo de fotogrametría con un software que sea capaz de interpretar la tridimensionalidad a partir de imágenes, será necesario facilitarle el trabajo aumentando el solape entre imágenes hasta un 80% como mínimo.

Tradicionalmente el solape entre imágenes ha sido del 60%, ya que el

ojo humano es capaz de interpretar la tridimensionalidad con ese porcentaje. No obstante, los nuevos programas basados en SfM que se utilizan para realizar modelos tridimensionales a partir de fotografías, recomiendan un solape mayor.

Haciendo uso de la misma regla de proporcionalidad expuesta anteriormente, se trata de realizar un recorrido alrededor del objeto arquitectónico a fotografiar, de forma que entre una imagen y la consecutiva haya, al menos, un 80% de solape.

Conocido el ancho del sensor, w , y el factor de escala, SN , es posible calcular el ancho real que queda fotografiado del objeto, W .

El ancho real fotografiado es, por tanto, de 42,70 metros, aproximadamente.

Para que entre una imagen y la siguiente existe un solape de un 80%, la nueva imagen debe ser tomada habiéndose desplazado una distancia igual al 20% del ancho real fotografiado.

Por lo que, para concluir, la distancia entre disparo y disparo será, como máximo, de 8,5 metros.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Antonio Almagro Gorbea.** 2004. *Levantamiento Arquitectónico*. Granada: Universidad de Granada. 84-338-3190-9.
2. **www.canon.es.** Canon EOS 450 D. Consultado en Julio de 2015.
3. **Jiang, R., Jáuregui, D. V., & White, K. R.** 2008. "Close-range photogrammetry applications in bridge measurement: Literature review". *Measurement*, vol. 41, no. 8, p. 823-834.
4. **Gruen, A.** 2012. "Development and Status of Image Matching in Photogrammetry". *The Photogrammetric Record*, vol. 27, no. 137, p.36-57.

ORDENACIÓN TERRITORIAL, TOPOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA Y CATASTRO

SPATIAL PLANNING, TOPOGRAPHY, MAPPING, CADASTRE

Francisco Maza Vázquez. Universidad de Alcalá

RESUMEN

La topografía y la cartografía, entendidas como disciplinas que estudian el conjunto de procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, representan un dúo indisoluble, junto con el catastro y la ordenación territorial, a los intereses de una acción concertada de la Administración y de diversos actores sociales en la búsqueda de organizar eficientemente el territorio, con el fin de adecuarlo a las exigencias de la sociedad, de sus municipios, de las comunidades y de su entorno vital.

El elemento fundamental de la topografía y la cartografía es el espacio, estudiado en la geometría y siempre tenido en cuenta en la expresión gráfica, en el catastro y en la planificación territorial. El conocimiento del espacio geográfico que ocupa un territorio se debe de hacer forzosa-mente del análisis de la cartografía, y a su vez, ésta sirve de base para marcar estrategias de futuros desarrollos.

En este orden de ideas, se analiza el significado especial que tiene la topografía, la cartografía y el catastro en la ordenación territorial, al ser considerada ésta parte integrante del documento oficial y formal que contiene un Plan Director General.

Palabras clave: Ordenación territorial, topografía, cartografía, catastro.

1. INTRODUCCIÓN

Etimológicamente la palabra *ordenación* viene de “*ordinare*” que significa poner orden, ejercer controles y regulaciones. Sin embargo, al contextualizar su origen en Francia, como política del Estado, se interpreta como un proceso deliberado para organizar el territorio a fin de adecuarlo a las exigencias de la inversión pública y a la promoción de la inversión privada. La Ordenación Territorial persigue la mejor distribución de la población y de actividades económicas, de acuerdo con las condiciones y oportunidades que ofrece el espacio territorial (1).

La ordenación del territorio se define como un proceso y una política del Estado y la Sociedad, que busca conocer, controlar, promover y administrar la ocupación y asignación de usos al territorio, la localización de actividades económicas claves, la configuración de la red de centros urbanos y el espacio rural, la cobertura del equipamiento de servicios, junto con la organización institucional para la gestión, en un todo armónico con el manejo de los recursos naturales y la prevención de riesgos naturales.

Todo ello con el propósito de lograr los objetivos para mejorar la calidad de vida de la población, potenciar un desarrollo económico sostenible, preservar la continuidad del potencial natural, propiciar un ambiente sano, seguro y confortable, en un territorio eficientemente organizado, con fundamentos, alcances y propósitos, en

función de la concepción del desarrollo integral y sostenible.

En un contexto más genérico, la Ordenación Territorial desempeña una función básica para la sociedad, como instrumento de planificación y de asignación de un uso óptimo al territorio, teniendo en cuenta sus características propias. Utiliza, de forma multidisciplinar, conocimientos científicos en el diseño técnico del modelo territorial y en su gestión.

Insignes autores expresan que el ordenamiento territorial, es un proceso secuencial e iterativo que, orientado hacia objetivos a largo plazo, se desarrolla en ciclos de tres fases: El análisis territorial, la planificación territorial y la gestión territorial. Por extensión, las dos primeras pueden englobarse bajo el término de *planificación*, correspondiendo a la fase de *gestión* las tareas que comporta la puesta en práctica de un Plan de Ordenación (2); y en las tres fases es fundamental la utilización de la representación gráfica del territorio (*topografía y la cartografía*), y del inventario de fincas y de su geometría, que existen en ese territorio (*catastro*).

2. LA TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA EN LA ORDENACIÓN TERRITORIAL

El arquitecto Chueca Goitia, F. (3), expresa que “*la Ordenación del Territorio resulta un tema tan sugestivo*”



Figura 1. Plano de ordenación de usos de suelo dotacional y zonificación sectorial de una parte de la Ciudad de Guadalajara (España). Elaboración propia

vo, amplio y difuso que resulta difícil de abordar para un hombre solo, si se tiene en cuenta la masa de saberes que habría de acumular”, y en esta tarea multidisciplinar es obligado contar con las disciplinas de la cartografía, la topografía y el catastro, entre otras. Autores como Domingo Gómez Orea (4) las integra y define La Ordenación del Territorio como “la disciplina que afecta a todas las actuaciones públicas con incidencia territorial”. Brunet, R. (5), define La Ordenación Territorial como el “conjunto coherente de lugares relacionados”, reflejados en la cartografía y refrendados en el Catastro.

También la Carta Europea de Ordenación del Territorio de 1983, se manifiesta sobre la Ordenación Territorial y la define como “una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global, cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector”.

Se puede considerar a la Ordenación Territorial como el conjunto de planos y normas plasmadas en un Instru-

mento de Planeamiento que definen a qué usos deberá destinarse el suelo ocupado por el territorio, con qué intensidad y en qué condiciones y circunstancias de todo tipo, grado de urbanización, volumen, estéticas, medioambientales, plazo de realización, financiación,...

El *Territorio*, que viene reflejado en la cartografía, y las *Personas* que habitan en él, son los dos elementos esenciales en la Ordenación. Al primero, *el Territorio*, se le debe considerar como un bien público en el que los modos del uso de su suelo, y por tanto su planificación, deben estar subordinados a políticas de distribución de la riqueza entre regiones, sectores económicos y grupos sociales y políticos (6). En cuanto al segundo elemento, la carta Europea de 1983 considera fundamental, en el proceso de ordenación territorial, a los habitantes y las personas que habitan en el territorio, enfatiza sobre la importancia de su participación en el proceso de ordenación, y añade que ésta no debe de ser un modelo impuesto por las autoridades.

En este sentido, la cartografía desde siempre ha sido considerada como

parte del conocimiento humano y ha tenido una larga e interesante historia, la cual refleja la percepción que hemos tenido sobre el territorio y sus habitantes, manifestándose, así mismo, como un indicador de la cultura y la civilización.

También, autores como el profesor Campos Venutti (7), en su obra “La Administración del urbanismo” vinculan a la Ordenación Territorial con “la sociedad y el urbanismo previsto en cada momento”, ya que de lo que trata es de comprender los fundamentos comunes entre las personas y el territorio donde habitan, así como las causas que han provocado los fenómenos característicos en un determinado período.

Así mismo, la ordenación del uso de los espacios urbanos, expresados gráficamente en el plano, está siendo cada vez más intensa, por lo que la implementación de mecanismos de planificación y gestión en el manejo del suelo y sus recursos, es una necesidad cada vez más imperante, que debe de contribuir a evitar el aumento de los conflictos propios de la competencia entre actividades excluyentes y proteger el medio ambiente de

la contaminación ambiental y antrópica, permitiendo un desarrollo sostenible.

Son muchas las definiciones que se han dado sobre el desarrollo sostenible, y entre ellas destaca la de Hortalano Herrera, P.A. (8), que lo define como *“aquel que intenta satisfacer las necesidades de desarrollo actual de una población en su territorio, partiendo de recursos endógenos y sin que ello suponga limitar el desarrollo de generaciones futuras”*. Aunque esto es discutible, pues debemos entender que se pueden satisfacer las necesidades del desarrollo de recursos que parten del exterior.

Más exacta es la exposición emitida por la Comisión Europea de Medio Ambiente (1996), quien apunta que el Desarrollo Sostenible es un concepto complejo que incorpora principios de sostenibilidad, cada uno de los cuales es aplicable a las distintas modalidades de la relación naturaleza-sociedad, o lo que señalan autores como Carrizosa (9), que en el marco de la Ordenación Territorial incorporan al Desarrollo Sostenible los principios de sostenibilidad social, económica y ambiental.

Así pues, el proceso de ordenamiento territorial, está necesariamente orientado al desarrollo sustentable, pues debe buscar favorecer el crecimiento económico, elevar las condiciones de vida de la población en pos de la equidad y mantener vital la sustentabilidad de los ecosistemas y recursos naturales del territorio.

Estas consideraciones nos deben de llevar a la conclusión siguiente: “el servicio que nos proporciona el urbanismo y la Ordenación del Territorio nos sirve para impulsar un modelo de desarrollo urbano que sea capaz de satisfacer las necesidades sociales, ambientales y económicas, garantizando la sostenibilidad de los ecosistemas naturales”, y expresar los gráficamente en el plano.

El Libro Verde sobre ambiente urba-

no, que La Comisión Europea publicó en el año 1991, define estrategias de planificación urbana, llevadas a efecto en el proyecto “Ciudades Sostenibles” donde se trataba de hacer una reflexión sobre la compatibilidad ambiental del urbanismo en Europa, y de la misma forma, el informe técnico de la Tercera Conferencia Europea sobre ciudades sostenibles que tuvo lugar en Hannover (Alemania), del 9 al 12 de febrero de 2000, estudia en profundidad el papel que juega el Planeamiento Urbanístico en una ciudad sostenible, en los aspectos social, económico y ambiental, dictando al respecto normas técnicas en la ejecución de la cartografía que debe sustentar dicho Planeamiento. La redacción de un Plan de Ordenación ha de tener en cuenta estas consideraciones estratégicas.

En definitiva, la planificación y el desarrollo urbano deben implicar una voluntad de sostenibilidad del territorio que se ordena, y esta ordenación se plasma sobre la cartografía que se utiliza como herramienta en el análisis territorial, así como en la ejecución y gestión urbanística.

3. RELACIÓN DE LA ORDENACIÓN CON LA CARTOGRAFÍA Y OTRAS DISCIPLINAS

Siendo la ordenación del territorio, de carácter multidisciplinar, corresponden a la topografía y a la cartografía la labor fundamental de servir de herramienta para ver plasmada y grafada la planificación y su desarrollo mediante técnicas apropiadas. Además de éstas, que consideramos básicas, otras ciencias tradicionalmente han servido de soporte para el estudio de la planificación territorial. Así podemos citar, en primer lugar a la geografía como disciplina para integrar los diversos sectores vinculados al territorio, mediante la proyección espacial de cada uno de ellos, identificando los distintos usos existentes, y proponiendo la utilización óptima del territorio, basado en el conocimiento de los procesos

territoriales que esta disciplina maneja (10).

Se puede relacionar, de otra manera, a la planificación territorial con otras disciplinas, con vinculación directa sobre la topografía y la cartografía, como la fotogrametría y la teledetección que nos dan información sobre el espacio que nos rodea, o con aquéllas que estudian de forma tradicional a la tierra, en especial su superficie, como la Geofísica, la Geología o la Agronomía; y con otras, más recientes, que estudian la información geográfica en formato digital como *“el proceso de tratamiento de imágenes”*, *“el reconocimiento de patrones”*; o con la Geomática, también llamada Ciencia de la Información Geográfica en algunos lugares como Canadá, Australia o Francia, y que está recibiendo un gran apoyo por parte de algunos autores norteamericanos, como Godchild, M.F. (11), que tratan de impulsar con claridad el resurgimiento de esta nueva ciencia, hoy unida formalmente a la Topografía en la Universidad española, como consecuencia de la convergencia europea, pues entre las nuevas titulaciones se encuentra el grado de Ingeniero en Topografía y Geomática.

Por otra parte el Consorcio Universitario para la Ciencia de la Información Geográfica, establecido entre más de treinta universidades y centros de investigación norteamericanos, ha elaborado en diversas reuniones y congresos, una serie de temas entre los que se encuentran el futuro de la información espacial, la ordenación territorial, la escala espacial, el análisis espacial y la ciencia de la información geográfica y sociedad, que aportan datos relevantes para la investigación por la nueva ciencia.

Es evidente que no podemos dejar de citar a los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G) como disciplina directamente relacionada con la cartografía y la ordenación territorial, pues en la actualidad cualquier proyecto sobre planeamiento es obligado que disponga de herramientas que

permitan visualizar, consultar y analizar información geográfica y/o urbanística contenida en la cartografía que sirve de apoyo en la planificación. La ayuda en la toma de decisiones respecto a la organización del territorio, el análisis multicriterio, las simulaciones tridimensionales, las modelizaciones territoriales o la generación cartográfica y presentación de resultados, que nos proporcionan los S.I.G, hacen inseparables la ordenación territorial y la cartografía.

No obstante, la investigación acerca de la planificación territorial, tiene un propio entorno físico que la sirve de soporte, que la configura. En España, ese entorno es plasmado en diferentes documentos gráficos que nos proporcionan los instrumentos de planeamiento, cuya jerarquía normativa nos la dan los Planes Generales de Ordenación Urbana y las Normas Subsidiarias de Planeamiento de Ámbito Municipal, y como instrumentos de desarrollo, los Pro-

gramas de Actuación Urbanística y los Planes Parciales a desarrollar en los municipios; y en todos ellos el catastro es fundamental, pues no se concibe un Plan de Ordenación si no se ha tenido en consideración la base catastral.

Así mismo, según el Texto Refundido de la Ley del Suelo en España, de 2008, es el Planeamiento Urbanístico la base necesaria y fundamental de todo desarrollo y ordenación urbana, y por tanto una fuente primordial de información. La configuración geométrica del suelo a ordenar mostrada en los documentos gráficos de un Plan Urbanístico nos muestra la ocupación del territorio y de los usos del suelo. Ello provoca interés para la investigación en el campo de la planificación, pues obliga inexorablemente al estudio y representación de la morfología urbana a través del espacio y del tiempo (12), e igualmente obliga a analizar la evolución de ese espacio o ámbito con el fin de

dar respuestas a preguntas que se suscitan de índole social, económico, urbanístico, etc.

En definitiva, mediante la Ordenación Territorial tratamos de realizar un tratamiento integral y asignar el uso óptimo al territorio, evitando los desequilibrios, y tanto para el análisis inicial, como para la planificación territorial posterior se precisa de la cartografía que es la herramienta básica que sustenta la Ordenación Territorial. Sin ella este tipo de estudios serían inabordables y se convertirían en meras estadísticas.

La cartografía, como abstracción de la realidad, permite reconocer la organización del espacio, recoger las variaciones y los desarrollos de los fenómenos a lo largo del tiempo. Sin embargo, los planos o mapas, como expresiones de la técnica cartográfica, para la representación de la superficie terrestre por medios gráficos, han de referirse a un *sistema* común de coordenadas, con el fin de que se puedan interrelacionar. En este sentido, la disciplina o ciencia que nos proporciona esa relación, mediante una red de apoyo, es la Geodesia.

4. LA GEODESIA

La International Association of Geodes adoptó en 1975 la siguiente definición de Geodesia: "Es la ciencia de medir y representar la figura y el campo de gravedad terrestre y de otros cuerpos celestes, así como sus variaciones con el tiempo.

Cada país establece su Sistema de Referencia Oficial, basado en un Sistema Geodésico, es decir, las prescripciones científico-técnicas que establecen un modelo matemático no real de la Tierra, pero lo más ajustado posible a la superficie del nivel gravimétrico de la misma (Geoide), determinado por unos parámetros matemáticos (Datum, elipsoide de referencia) y aplicación de un Sistema de Proyección Cartográfico que permite transformar la superficie curva terrestre en una superficie plana.



Figura 2: Plano Topográfico con zonificación de una Unidad de Ejecución del Plan de Ordenación Municipal de Guadalajara (España). Elaboración propia

En el caso de España, actualmente conviven dos Sistemas Geodésicos de Referencia Oficial en virtud del Real Decreto 1071/2007. Hasta ese momento el Sistema Geodésico adoptado era el ED50 (European Datum 1950) y su proyección cartográfica la UTM (Universal Transversa Mercator), sin embargo las nuevos sistemas de navegación por satélites (GNSS), como el GPS, el GLONAS y el futuro sistema europeo GALILEO, han ido desarrollando modernos sistemas de referencia geodésicos globales que permiten alta precisión y homogeneidad para el posicionamiento y la navegación, no sólo en el ámbito nacional sino también en el europeo. Esto nos lleva a adoptar el Sistema Geodésico de Referencia Oficial al ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989), Sistema de Referencia Terrestre Europeo 1989, manteniendo el mismo sistema de proyección cartográfica UTM. El Real Decreto en su disposición transitoria segunda, establece que la compilación y publicación de la cartografía y bases de datos de información geográfica y cartográfica, producida o actualizada por las Administraciones Públicas, deberán realizarse en este nuevo sistema desde el pasado 1 de enero de 2015. Desde esta fecha, en España, se debe compilar y publicar en cualquiera de los dos sistemas, ED50 ó ETRS89, siempre que las producciones del primero (ED50) contengan la referencia del segundo sistema (ETRS89).

En definitiva, la geodesia nos ayuda, en el campo de la ordenación territorial, a interrelacionar y/o georreferenciar diversos escenarios del territorio, a insertar sobre una determinada cartografía el levantamiento del suelo ya desarrollado, y encajarlo con tanta precisión sobre el mapa, como si de un puzle se tratara.

Resulta, pues, básico y fundamental la elaboración de planos y mapas georreferenciados con los que se pueda planificar y gestionar adecuadamente el territorio que pretendemos

ordenar, así como facilitar un encaje geométrico con los municipios colindantes, para posteriormente gestionar problemas globales de índoles sociales, ambientales y urbanísticos.

A su vez, el territorio es la expresión de una división político-administrativa, ocupado, utilizado y apropiado por el Estado a través de la instrumentación de políticas diversas, poblado por individuos y grupos sociales, cada uno de ellos con sus propias características.

El territorio se configura sobre una base con soporte de carácter físico-natural, condicionante de diversos procesos que ocurren en el espacio geográfico, siendo fuente de recursos naturales, condiciones sociales que se dan en su población, estructura, dinámica, usos de la tierra. actividades económicas, red de centros urbanos y áreas periurbanas en un espacio rural, así como la infraestructura de servicios y la organización institucional, articulada a una unidad político-administrativa reconocida y soberana.

Y, ¿cómo alcanzamos un conocimiento adecuado de este conjunto de atributos tanto físico-naturales como socio-económicos y político-administrativos que conforman un territorio?. Es decir, ¿cómo obtenemos los datos relativos a los medios físicos, a las actividades desarrolladas, al censo o los datos relativos a la zonificación?. La respuesta es bien sencilla, lo alcanzamos a través del Catastro.

5. LA CARTOGRAFÍA Y EL CATASTRO

El Catastro es el inventario, censo y padrón estadístico de las fincas rústicas y urbanas de un territorio, (municipio, provincia, estado, país, etc.), y la valoración de las mismas. Visto desde un enfoque multiutilitario o moderno, lo consideramos como una herramienta importante, al servicio tanto de las instituciones del Estado como de otros agentes sociales, en

cuanto a sus acciones de diversa índole bien sean de carácter fiscal, de ordenación del territorio rural y urbano o desarrollo económico y social.

Es importante señalar que, tanto la cartografía como el catastro y la ordenación del territorio tienen una dimensión espacial de carácter nacional, regional y local, encontrando, esta última, su máxima expresión en el Municipio como unidad primaria de la división territorial y de la organización político-administrativa de la nación.

Las leyes, en materia catastral y urbanística, le confieren al municipio competencias y atribuciones para abordar la elaboración, mantenimiento y conservación del catastro y de los Planes de Ordenación. Hay que destacar que el municipio, por mandato legal, constituye la Unidad Orgánica Catastral (Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional, 2000). En consecuencia, el catastro, en el ámbito municipal, alcanza una elevada significación, si se entiende que entre las prioridades de una comunidad está la satisfacción de sus necesidades esenciales de orden social y económico, el fortalecimiento de su identidad cultural y la solución de problemas ambientales.

La organización eficiente del territorio encuentra en el municipio la unidad político-administrativa adecuada para su gestión, mientras que el catastro constituye la herramienta clave para sentar sólidas bases de conocimiento, para la actuación administrativa y la ordenación del territorio, como proceso y política del Estado de la sociedad para direccionar el desarrollo, en el marco de una concepción integral y sostenible.

Se debe hacer una reflexión en el sentido de cuestionarnos qué es lo que entendemos por Catastro pues cada vez que se oye esta palabra, es interpretada según los conocimientos, cultura, profesión, etc., del que la escucha.

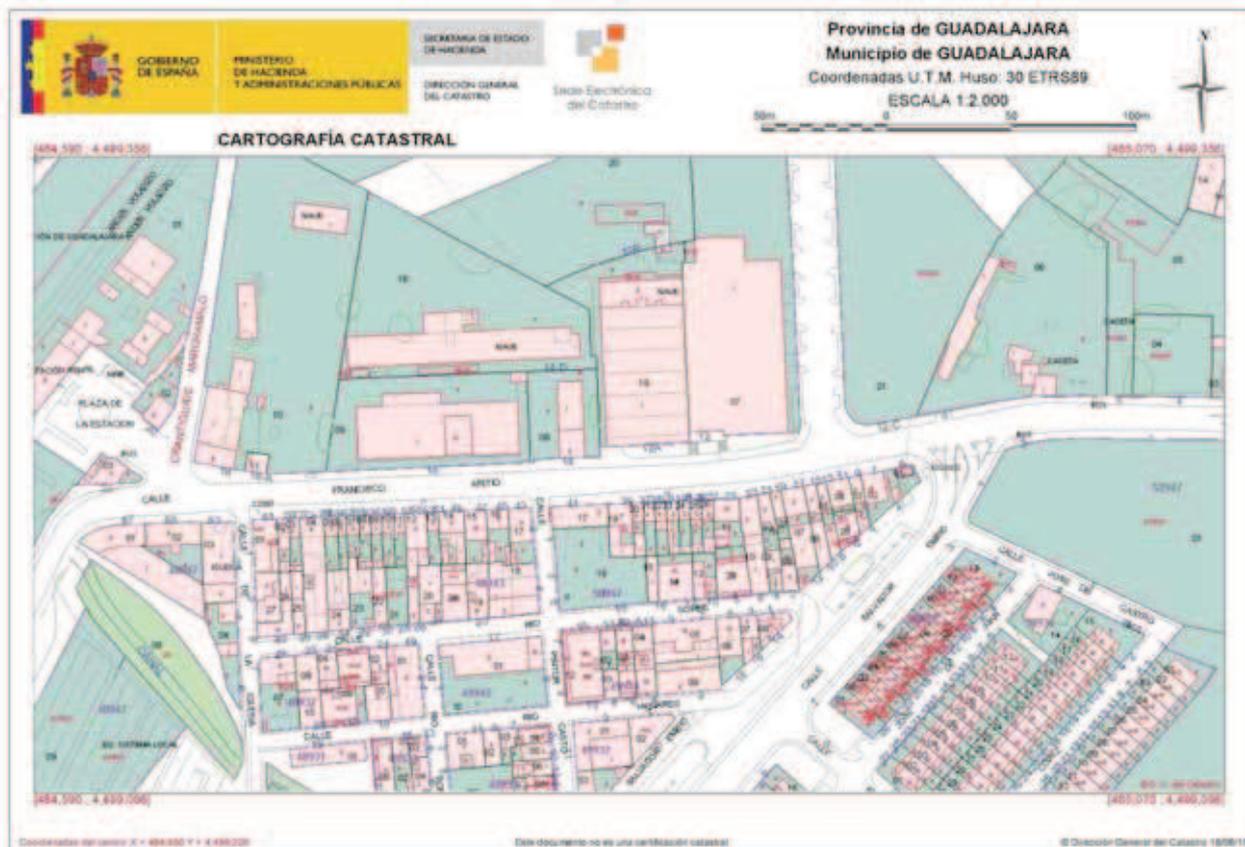


Figura 3. Cartografía Catastral de un Barrio de la Ciudad de Guadalajara (España). Fuente: Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas.

Es evidente que el catastro da, o debería de dar, respuesta a preguntas sobre el tamaño y valor de la propiedad y su distribución en el territorio, así como sobre el uso relativo de las parcelas y su aptitud potencial, constituyendo en sí mismo un catálogo de bienes de un país. Las posibilidades funcionales que posee en aspectos tales como, la planificación económica y la ordenación del territorio son múltiples, y van mucho más allá del enfoque meramente fiscal que se le atribuyó en un primer momento.

A grandes rasgos cabe diferenciar dos enfoques del Catastro como consecuencia de la evolución histórica seguida:

- El centrado en su utilización jurídica, como Registro de la propiedad, ligado a una legislación sobre la propiedad inmueble o sobre los derechos reales que exige la inscripción de la misma en el Libro de la Propiedad.

Esta inscripción tiene valor jurídico como reflejo del derecho de propiedad. Es el tipo de Catastro utilizado en la República Federal Alemana, Suiza o Austria.

- El ligado a países donde la propiedad se regula por simple consentimiento y donde, por lo tanto, no es viable mantener un Libro de la Propiedad, al no ser necesaria la inscripción de las sucesivas transmisiones. La motivación de estos Catastros ha venido siendo fundamentalmente fiscal. España, Francia y Bélgica son ejemplos de países con este enfoque catastral. Estos catastros suelen ser menos precisos que los anteriores, además de presentar un alto grado de ocultación.

En este segundo enfoque se produce un aspecto fundamental que es necesario no olvidar. Al no tener validez de prueba la inscripción catastral, ésta se realiza frecuentemente sobre bases falsas, buscando fun-

damentalmente los declarantes una menor presión fiscal, que en justicia social se debería de perseguir. Para ello se hace indispensable la elaboración del levantamiento topográfico como expresión gráfica y técnica precisa de las parcelas que se transmiten y su incorporación a la bases de datos catastrales.

6. LA IMPORTANCIA DE LA TOPOGRAFÍA EN EL CATASTRO

Como todo inventario, sea de la naturaleza que sea, es necesario un soporte sobre el que representar lo inventariado. En el caso del Catastro, el soporte por excelencia es el Plano, la Cartografía del territorio objeto.

Para la realización de esta cartografía base sobre la que se plasmarán los datos catastrales, será necesario tener en cuenta unos parámetros importantes de calidad métrica de la misma, puesto que de ella

depende el dato más importante e invariable, la superficie de la unidad básica catastral, (parcela, local condominio...).

La tecnología actual nos permite cartografiar por procedimientos fotogramétricos grandes extensiones de terreno con gran precisión y a un precio razonable, solo falta determinar si esa cartografía es apta para usos catastrales o requiere de otros métodos complementarios para adaptarla al catastro. Por economía de medios, en muchos casos se utiliza la cartografía obtenida por procedimientos fotogramétricos directamente como soporte de catastro, haciendo posteriormente unas someras revisiones de campo para corregir aquellos errores groseros que no son detectables en el proceso fotogramétrico.

En primera instancia estos planos, a gran escala, y por tanto, teóricamente muy precisos, delimitan de forma inequívoca los límites de las propiedades, pero en condiciones generales, estos límites se han trasladado al plano sin conocimiento de sus propietarios, es decir, desde una oficina de la administración competente, o desde una empresa contratada, donde se han dibujado las delimitaciones de las propiedades basándose en la cartografía obtenida generalmente por procedimientos fotogramétricos, y en las fichas catastrales proporcionadas por otra mercantil contratada para tal fin, o de los archivos existentes de anteriores trabajos catastrales.

Un catastro realizado en estas condiciones es muy poco útil y generalmente se utiliza para fines exclusivamente fiscales, es decir, recaudatorios.

Sin embargo, si la delimitación de la finca se hace por procedimientos topográficos y en presencia de los propietarios de la misma y de las fincas colindantes, se identifican los elementos físicos que delimitan las propiedades, se obtienen coordenadas de los mismos en un sistema de re-

ferencia universal, se firma un acta de deslinde por parte de los propietarios afectados, de sus técnicos si hubiere lugar, y del técnico de la administración que realiza el levantamiento, y ese acta se incorpora como un documento más de la ficha catastral de la finca, en esas circunstancias, y sólo en esas, el catastro que se forme con estos requisitos tendrá validez legal si el Registro de la Propiedad y el Catastro trabajan conjunta y coordinadamente.

Los trabajos topográficos necesarios para realizar esta labor con eficacia requieren de la existencia de una Red Geodésica a nivel nacional, con una densidad de vértices lo suficientemente poblada como para que éstos puedan ser utilizados en cualquier rincón del territorio. Hoy día con las técnicas GPS esta posibilidad se presenta mucho más accesible y matemáticamente mucho más exacta que hace unos años. Esta Red debe ser homogénea en todo el territorio y de público conocimiento, mantenida por la Administración y promocionada para que su uso sea considerado no como un trabajo añadido, sino como un valor añadido al trabajo topográfico realizado.

Por procedimientos de topografía clásica, incorporando a estos las técnicas GPS si fuera necesario, pero siempre sobre el terreno, a pie de tierra, el técnico de la administración, realizará las observaciones topográficas necesarias en presencia de los propietarios de la finca sobre la que se actúa y de las colindantes, y si estos lo consideran necesario, con la presencia de sus propios técnicos. Con posterioridad se realizará el deslinde de la finca, se identificarán los mojones que la delimitan, o aquéllos elementos físicos que tienen la función delimitadora de propiedades, muros, vallas, señales sólidas en el terreno, etc.

Una vez realizado este deslinde y en estas condiciones, se procede al levantamiento topográfico de los elementos que delimitan la parcela, y solo de ellos, porque el levanta-

miento de todos los accidentes topográficos, barrancos, caminos, casas, etc. puede ser efectuado por métodos fotogramétricos rápidos, cuya exactitud para estos datos es suficiente al encajarlo en la misma Red Geodésica del parcelario.

Finalizado el levantamiento de los límites de la parcela, lo propietarios y sus técnicos, si los hubiera, junto con el técnico de la Administración firmarán un acta de deslinde mediante el cual sellarán la conformidad a la delimitación parcelaria y ésta quedará unida documentalmente al resto de la información catastral de esa finca, y quedaran obligadas las partes al reconocimiento de esas lindes en esa situación sobre el terreno, siendo vigentes hasta que se produzca una alteración tramitada oficialmente por el Catastro y Registro y puesta al día por la conservación Catastral y Registro de la Propiedad.

Con este procedimiento queda asegurada la conservación pues no hay que ir en pos de los propietarios. Acudirán ellos por su propia iniciativa ya que no podrán efectuar ninguna operación jurídica que afecte a la finca sin la documentación catastral y los datos de esta documentación serán los únicos válidos para dicha operación. Sin estos requisitos, todo el trabajo quedaría inútil al paso de unos cinco o seis años sin conservación, y si el tiempo transcurrido es mayor ya no se parecerá a la realidad, salvo en los inmutables detalles topográficos que no son fundamentalmente catastrales.

Por los motivos expuestos, resulta fundamental la aportación que tiene la topografía en la elaboración del catastro. El levantamiento terrestre de los amojonamientos, no lo debe delegar la Administración y requiere la audiencia del interesado, pero sí puede una empresa efectuar el vuelo y trabajo fotogramétrico con técnicos competentes para todos los demás detalles topográficos y geográficos, incluidos los visibles cambios de cultivo de las parcelas y la altimetría.

La identificación de fincas efectuada por una empresa, si a su vez lo subcontrata, pagando a destajo por finca identificada, a estudiantes o personas sin responsabilidad ni formación necesaria, será un sistema cómodo, barato y relativamente rápido, pero nefasto en cuanto a su calidad técnica y en su calificación jurídica. El resultado de este catastro no tendrá más aplicación que la fiscal y ésta con reservas.

Mientras no se realice un Catastro con las garantías citadas, no podrá efectuarse una coordinación del Catastro con el Registro de la Propiedad, o dicho con otras palabras, no podrá existir un Registro de la Propiedad que cumpla adecuadamente con las funciones que su propio nombre designa, y no limitarse a ser mero registro de operaciones del comercio inmobiliario, sin tener constancia de la propiedad, de la posesión y de la realidad de la propia finca.

Por este motivo pueden existir fincas dos veces registradas con distinta descripción, otras que no existen sobre el terreno, y/o con errores de superficie tan disparatados que pueden llegar a cientos de hectáreas, por lo que al efectuar segregaciones quedan restos de fincas registradas que no tienen existencia real, descripciones de fincas con topónimos desaparecidos o nombres de colindantes fallecidos y desconocidos.

7. USO DE MAPAS Y FOTOGRAFÍA AÉREA

El uso de mapas y en su caso de fotografías aéreas es imprescindible para la confección de un buen catastro. Los mapas, la cartografía, en cuanto a que son el soporte final de la información catastral y las fotografías aéreas por cuanto que son un medio que nos permite obtener los mapas, también nos permiten obtener ortofotos que son un producto muy utilizado desde hace algunos años y en muchos casos como sustituto del mapa. Evidentemente no

vale cualquier mapa para ser el soporte de un catastro, se necesitarán unas condiciones de escala, y por tanto de precisión que hagan que ese mapa pueda "servir", expresándolo en términos catastrales.

En condiciones generales podemos indicar que las escalas óptimas para que una cartografía pueda servir como de soporte para un catastro en función del tipo de suelo son las que se expresan en la siguiente tabla:

8. CONCLUSIONES:

La elaboración de una cartografía fidedigna y precisa ejecutada por métodos fotogramétricos o por topografía clásica es fundamental para la ordenación territorial, siendo ésta parte integrante del documento oficial y formal que contiene un Plan General de Ordenación Territorial.

Los trabajos que conllevan la ordenación del territorio nos obligan a que recapitemos sobre la valiosa información que nos proporciona la cartografía y el Catastro. Las características de los bienes inmuebles contenidos en un determinado territorio, sus propietarios, su situación jurídica-económica y usos, sustentan

el mejor inventario que posee la Administración y de indudable interés para la planificación.

La eficiente equidistribución de beneficios y cargas que se deben de dar en la planificación territorial exigen la expresión y reflejo exacto de las parcelas y/o predios que contiene el territorio a ordenar. Esa expresión gráfica y precisa se recoge en la topografía y cartografía catastral.

La inexorable unión del catastro con la cartografía y la ordenación territorial es fundamental para que ésta se pueda llevar a efecto con suficientes garantías sociales, ambientales y económicas que envuelven el círculo de la sostenibilidad perseguida en el territorio a planificar.

Se puede afirmar con rotundidad, y es compartido por todos, que el desarrollo sostenible es el desarrollo que atiende al momento actual en el que vivimos, sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras.

Aún cuando el término de sostenibilidad resulta complejo, se hace evi-

Territorio	Escala
Cascos antiguos de ciudades	1/500
Suelo urbano consolidado	1/500 1/1.000
Suelo rural con alto índice de parcelación	1/2.000
Suelo rural con índice de parcelación medio	1/5.000
Suelo rural con índice de parcelación bajo y grandes extensiones de terreno	1/10.000

Tabla 1. Relación del tipo de suelo del territorio con la escala de representación en la cartografía catastral

dente su necesidad en la Ordenación. Resulta difícil cómo y de qué forma ha de afrontarse, sin embargo siempre se ha de tener presente en la Ordenación Territorial, así como en el mantenimiento del desarrollo económico y social, respetando el medio ambiente y sin poner en peligro el uso futuro de recursos naturales.

No se entiende la ordenación sin el apoyo aportado por la topografía y la cartografía como fuente gráfica, y estas disciplinas, a la vez, son las herramientas que sustentan el Catastro, entendido éste como el registro administrativo de inmuebles existentes en el territorio.

Así mismo, y por lo expuesto en el presente artículo, es obligado la utilización de métodos geométricos y topográficos para la realización del deslinde, la medición, la división, la representación y la ubicación del bien inmueble que contiene el Catastro.

9. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **Méndez Gutiérrez del Valle, Ricardo.** 1999. "Crecimiento periférico y reorganización del modelo metropolitano en la Comunidad de Madrid". *Economía y Sociedad*, Comunidad de Madrid, Consejería de Economía, Madrid, nº 10, p. 149-173.
- (2) **Gómez Orea, Domingo.** 1994. "Ordenación del Territorio: una aproximación desde el Medio Físico". Editorial: Instituto Tecnológico Geominero. ISBN: 9788478401864.
- (3) **Chueca Goitia, Fernando.** 1998. "Breve historia del urbanismo". *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona. Número 114, 17 de septiembre de 1998. ISSN 1138-9796.
- (4) **Gómez Orea, Domingo.** 1994. "Ordenación del Territorio: una aproximación desde el Medio Físico". Editorial: Instituto Tecnológico Geominero. 238 pag. Madrid. ISBN 9788478401864
- (5) **Brunet, Roger.** 1980. "La composición de los modelos en el análisis espacial". *L'Espace Geographique*, 4, pp. 253-265.
- (6) **Gabellini, Patricia.** 2001. "Planificación del territorio y del ambiente". *Técnicas Urbanísticas*, Carocci, Roma.
- (7) **Campos Venutti, G.** 1994. "Medio siglo de urbanística en Italia". Madrid: Universidad Carlos III de Madrid y Boletín Oficial del Estado, 1994. 351 p. ISBN: 84-340-0660-X.
- (8) **Hortelano Herrera, Pedro Antonio.** 2002. "Aproximación a un plan de desarrollo sostenible y a la ordenación del territorio del municipio de Pagalajar". *Revista Sumuntán. Anuario de Estudios sobre Sierra Mágina*. nº 16 P. 9-44. ISSN 1132-6956.
- (9) **Carrizosa Umaña, Julio.** 2002. "Sostenibilidad Local". *Revista de la Sociedad Geográfica de Colombia. Situación de las Ciencias de la Tierra*. Volumen II. P. 9. Bogotá. ISSN 0037-8577.
- (10) **Maza Vázquez, Francisco.** 2015. "Espacio geográfico, topografía, cartografía y planificación". *EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, num. 25 p. 218-227. ISSN 1133-6137.
- (11) **Goodchild, Michael F.** 1992. "Geographical information science" *International Journal of Geographical Information Systems*. Vol 6, nº1, Pag. 31-45. ISSN Print 1435-5930 ISSN Online 1435-5949.
- (12) **Longley, P.A. and Mesev, V.** 1997. "Beyond analogue Models: space filling and density measurement of an urban Settlement". *Papers in Regional Science*. Vol. 76.4.pp.409-427. ISSN 1345-5957