

Información de Base

coordinador: Luis Carreño Piera

La interpretación de fotografía aérea convencional como técnica aplicada al planeamiento urbano

por Nicolás Urquiza Soriano

1. GENERALIDADES

1.1. Objeto del estudio.

El presente artículo trata de proporcionar una visión sintética sobre las aplicaciones actuales y posibilidades potenciales de utilización de la fotografía aérea convencional a la interpretación y detección de estructuras, elementos y fenómenos de interés para el planeamiento urbano. Delimitando aún más el contenido de este trabajo, se incluirán fundamentalmente aplicaciones realizadas a partir de fotografía aérea vertical pancromática con/sin recubrimiento estereoscópico, para problemas de planeamiento en su dimensión urbana, y no regional o de ordenación del territorio.

La razón de circunscribirse en este estudio sólo a la fotografía en blanco y negro se debe a que es el sistema de percepción remota (1) más generalizado, que

mayor utilización ha tenido para el planeamiento urbano y que hoy en día parece de más eficaz y amplia aplicación a los problemas que interesan a dicho planeamiento (2). El empleo de otros tipos de emulsiones y sensores remotos para problemas urbanos queda actualmente restringido para detectar elementos o fenómenos que la fotografía convencional no capta o define suficientemente, debido a su elevado costo en comparación con el de la fotografía convencional, a no ser que se trate de investigaciones para evaluar las posibilidades de detección de los distintos sistemas, que justifiquen su uso más generalizado. De todas formas, las aplicaciones de fotografía pancromática a la problemática urbana son numerosas y es-

tán aún sin agotar, como se verá más adelante.

Asimismo, la razón para concretarse a exponer aplicaciones realizadas o posibles a la escala urbana, se debe a que la consideración de la escala regional lleva consigo el análisis de aplicaciones de la fotointerpretación a diversas ciencias de estudio del medio natural (geología, edafología, ecología, entre otras), que superan las posibilidades de síntesis en el presente estudio.

1.2. Aspectos generales de la fotointerpretación urbana.

La fotografía aérea convencional registra las distintas radiaciones electromagnéticas de longitud de onda correspondientes a la parte visible del espectro electromagnético (aproximadamente, de 400 a 700 milímicras), emitidas, reflejadas o absorbidas por los objetos, elementos o fenómenos del territorio fotografiado. Dichas radiaciones impresionan la emulsión, produciendo una imagen del objeto o elemento fotografiado.

El problema fundamental de la fotointerpretación consiste en establecer una correspondencia biúnica entre las imágenes regis-

(1) Como introducción al campo de la percepción remota y posibilidades de fotointerpretación, se recomienda la siguiente bibliografía en castellano: Florence Morella, A.: «La Fotointerpretación: origen, evolución y tendencias», *Boletín de Información*, núm. 12, Servicio Geo-

gráfico del Ejército. Madrid, 1970; Núñez de las Cuevas, R.: «Fotointerpretación y sensores remotos, instrumentos básicos de información para la Planificación Urbana y el Medio Ambiente», *Ciudad y Territorio*, núm. 2, 1972; Woodward, P. A.: «Cómo iniciarse en el campo de la percepción remota», Earth Resources Observation Systems Programs, Department of the Interior, U. S. A., 1970.

(2) Véase argumentación en: Branch, M. C.: *City Planning and Aerial Information*. Harvard University Press. Cambridge, Mass. 1971, p. 52, pp. 77-78 y p. 91.

tradas en la fotografía y objetos, elementos o fenómenos específicos pertenecientes a las tipologías definidas por el fotointérprete, en función de los fines perseguidos por el estudio, su experiencia y conocimiento. Mientras esta tarea no se haya cumplido, se puede decir que la tarea de fotointerpretación no está terminada.

Sin embargo, conviene mencionar aquí que a veces el fin del estudio de fotointerpretación no está sólo en establecer una correspondencia directa entre una imagen y un objeto o elemento, sino correspondencias indirectas entre imágenes y objetos, elementos o fenómenos no detectables directamente en la fotografía aérea. Según esto, se pueden presentar tres casos de correspondencia imagen-objeto en los estudios de fotointerpretación:

- La imagen corresponde a la radiación detectada del objeto o elemento en sí mismo, cuyo análisis interesa para los fines del estudio.
- La imagen corresponde a la radiación detectada de una traza o huella dejada directa o indirectamente por el objeto cuyo análisis interesa para los fines del estudio.
- La imagen corresponde a la radiación detectada de un objeto o elemento —o su traza— que está relacionado (o asociado) con otro objeto, elemento o fenómeno no detectable directamente en la fotografía aérea y cuyo análisis interesa para los fines del estudio.

Los estudios que analicen correspondencias del tipo del primer caso se denominarán **estudios por interpretación directa**, y son las aplicaciones más frecuentes a estudios de fotointerpretación urbana: detección de usos del suelo urbano, características fisiográficas del terreno, etc.

Los estudios que analicen correspondencia del tipo del segundo y tercer caso se denominarán

estudios por interpretación indirecta, aún menos desarrollados como aplicaciones al planeamiento urbano. En el segundo caso se pueden incluir estudios de detección de restos arqueológicos subyacentes en el terreno y detectables a través de irregularidades en la distribución de humedades o fertilidad de cultivos, o análisis de estimación de la intensidad relativa de tráfico en una red viaria basada en la diferente tonalidad de las trazas de circulación dejadas en las infraestructuras de transporte por las distintas intensidades de uso. En el tercer caso se pueden incluir estudios de estimación de calidad de vivienda en función de determinadas variables de tipo ambiental, detectables en la fotografía aérea y cuya asociación estadística con el fenómeno que se quiere estudiar ha sido establecida previamente.

La primera tarea a realizar en la fotointerpretación aérea es la **detección** de imágenes en función de los fines del estudio. Fácil es de comprender que si ello no es posible, bien por razones técnicas (por ejemplo, escala de fotografía demasiado pequeña o grande para detectar los objetos, elementos o fenómenos cuya interpretación se busca, falta de calidad de la fotografía, etc.) o por otras razones (falta de experiencia o conocimiento previo del fotointérprete en el tipo de estudio que está realizando), no es posible realizar la fotointerpretación aplicada al fin perseguido por el estudio.

Una vez detectadas las imágenes se procede a su **identificación** con la tipología de objetos, elementos o fenómenos que el estudio pretende discernir. Este es quizás el aspecto fundamental del proceso, pues se puede decir que sin identificación no puede haber fotointerpretación. Puesto que ello no siempre es realizable con sólo el examen de la fotografía, conviene que exista una fase de **verificación** o comprobación de los elementos no identificables o de identificación dudosa, bien sea a través de labor de campo o de me-

dios auxiliares, cual son las claves de fotointerpretación (3).

Una labor necesaria y que de hecho va implícita en las dos primeras anteriormente mencionadas es la de **selección** de imágenes en función de la naturaleza del estudio en realización. Conviene tener presente la gran riqueza de información latente o implícita en una fotografía aérea, de la cual sólo una parte reducida puede ser de interés para el estudio que se trate de desarrollar. Estas características cualitativas (estado latente de la información) y cuantitativas (gran contenido de información) son los rasgos que quizás mejor diferencien la fotografía aérea de la cartografía. La cartografía contiene información explícita y verificada, pues buena parte de ella —al menos en la realizada por restitución fotogramétrica— proviene de una labor de fotointerpretación previa. Al mismo tiempo, por el hecho de ser generalmente una síntesis realizada de la información obtenida a partir de fotografía aérea, el contenido en información es mucho menor. Un buen ejemplo de la menor información que presenta la cartografía respecto de la fotografía aérea, y de cómo dicha reducción en el contenido de la información dificulta la utilización de cartografía para determinados tipos de estudios, está presentado en la figura 1.

(3) Las claves de fotointerpretación son medios realizados para ayudar en la identificación de un objeto y de sus características a través de su imagen fotográfica, sin necesidad de comprobación con labor de campo. En fotointerpretación urbana se suelen utilizar imágenes verificadas correspondientes a objetos tomados como prototipos de las tipologías de análisis que se quieran aplicar, o a determinadas características de los objetos a identificar, que son fácilmente identificables en la fotografía aérea, y por estar asociados con dichos objetos, sirven para identificarlos. Véase, por ejemplo, claves de fotointerpretación de usos del suelo industriales en Wray, J. R., y otros: «Photo Interpretation in Urban Area Analysis», Colwell, R. N., editor: *Manual of Photographic Interpretation*, American Society of Photogrammetry, Washington D. C., U. S. A., 1960, pp. 701-712.

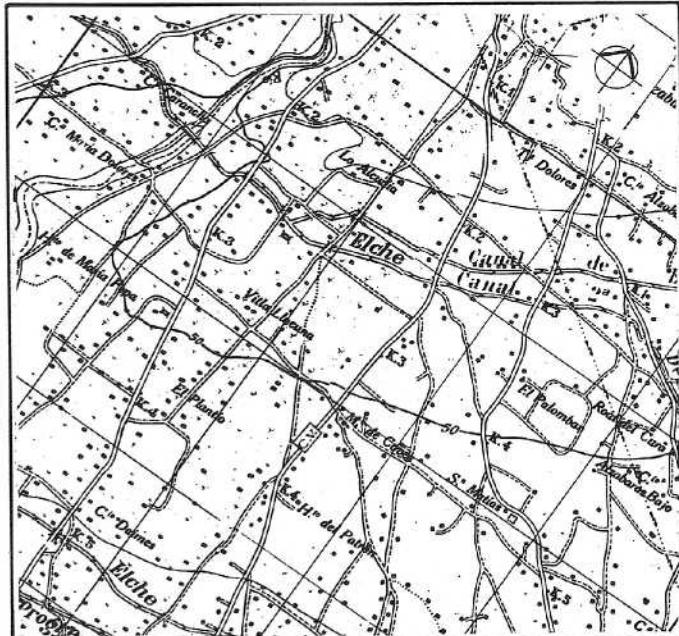
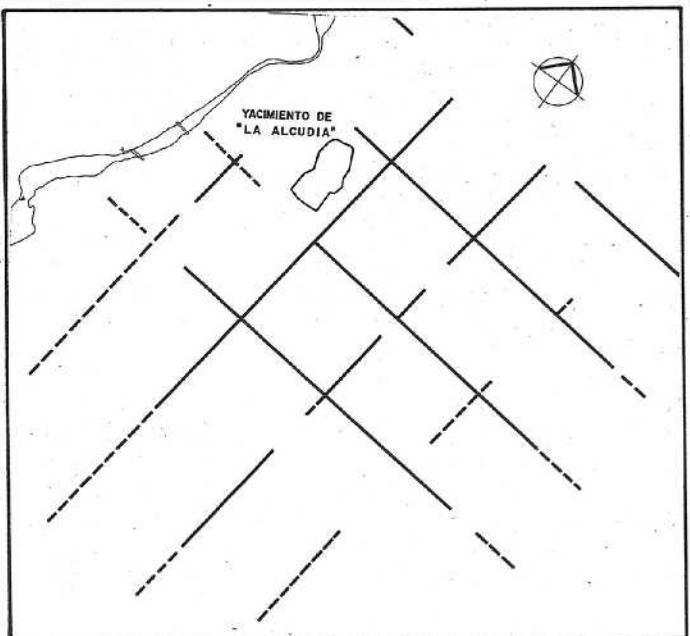


Figura 1.—En la fotografía aérea adjunta de la Huerta de Elche se puede detectar un trazado de caminos y lindes de parcelación regular en torno al yacimiento ibero-púnico y romano de la Alcudia, en cuya periferia se descubrió la Dama de Elche. Dicho trazado regular parece corresponder por su situación, orientación, estructura de parcelas y dimensiones de la retícula de caminos (aproximadamente 710 m. x 710 m.) a una «centuriación», sistema de parcelación empleado para colonizaciones agrícolas, utilizando como colonos centuriones retirados. Mientras en la fotografía aérea se distingue con bastante claridad el trazado regular de los caminos y lindes que definen los vestigios de la centuriación, en la cartografía adjunta de la zona, no es posible detectar dichos vestigios arqueológicos, al haberse valorado otros elementos del territorio (canales de riego, carreteras modernas), y haberse sintetizado en la categoría el contenido de información latente en la fotografía aérea. Véase García Bellido, A.: «Colonia Ilici Augusta» XXX Congreso Luso Español para el Progreso de las Ciencias, Murcia, Noviembre 1972.

La posibilidad de realizar una labor satisfactoria en las fases de detección e identificación del proceso de fotointerpretación dependen fundamentalmente de los siguientes factores (4):

(4) Esta lista de factores está tomada del artículo de Vink, A. P. A.: «Some Thoughts on Photo Interpretation», Publications of the International Training Center of Aerial Survey, Delft, Holanda, 1964.

- Características de la fotografía aérea.
- Condiciones meteorológicas del vuelo realizado.
- Medios disponibles para la observación de la fotografía.
- La finalidad del estudio de fotointerpretación.
- Características de objetos o elementos a detectar.
- Conocimiento general y experiencia del fotointérprete.
- Conocimiento complementario suministrado al fotointérprete.

Interesa hacer aquí algunos comentarios sobre determinados de estos factores, desde el punto de vista de la fotointerpretación urbana.

Las imágenes que más interesa fotointerpretar para estudios aplicados al planeamiento urbano son fundamentalmente las correspondientes a objetos definidos (edificios, infraestructuras). Esto hace que entre las distintas características de los objetos a detectar (tamaño, altura, tono, contraste, sombras), sea la forma y tamaño del objeto las características fundamentales y primarias de identificación. Las restantes se utilizan cuando existe la duda en la identificación o cuando se busquen atributos específicos del objeto. En general se puede decir que a través de la forma, tamaño, contraste de tonalidad y sombras arrojadas se pueden identificar los objetos de interés para el planeamiento urbano (5).

En relación con los medios de observación de la fotografía aérea disponibles, interesa mencionar que con la simple visión ocular o ayudada por una lupa, suele ser suficiente para la identificación de los objetos y elementos de interés para el planeamiento, a no ser que la fotografía aérea disponible sea a pequeña escala (inferior a escala 1:10.000), o se quieran estudiar aspectos concretos de los objetos o elementos (alturas edificios, pendientes terrenos, etc.).

1.3. La fotointerpretación en el proceso de planeamiento urbano.

Como cualquier otra técnica aplicada al planeamiento urbano, la fotointerpretación tiene posibilidades de aplicación específica en fases concretas del proceso de planeamiento. En la siguiente relación se incluyen las operaciones que en términos generales debe cubrir un proceso de planeamiento urbano de tipo continuo:

— Definición problema. Generación metas, objetivos. Obtención de recursos.

(5) Véase Branch, M. C.: *op. cit.*, capítulo 5, para una exposición detallada de los distintos aspectos a considerar en la interpretación de las imágenes fotográficas.

- Información. Análisis situación sistema urbano.
- Diagnóstico. Prognosis a partir situación actual sistema.
- Diseño. Proyección alternativas planeamiento.
- Evaluación. Selección alternativas.
- Programación diseño / recursos. Ejecución alternativa seleccionada.
- Análisis. Evaluación nueva situación sistema-alternativa seleccionada.
- Diseño acciones correctivas. Redefinición problema, metas, objetivos, recursos.

El esquema es de tipo cíclico, y aunque indica una cierta ordenación lógica de operaciones, ésta no se debe tomar en un sentido estricto y vinculante. Son frecuentes los saltos y ciclos internos (loops) de unas fases a otras.

Dentro de este esquema general se puede decir que las técnicas de fotointerpretación urbana tienen aplicación particularmente adecuada en las fases de información y análisis de la situación actual y en la de análisis y evaluación de la nueva situación del sistema urbano en relación con la alternativa de planeamiento seleccionada.

Las aplicaciones de fotointerpretación urbana a la fase de información y análisis de la situación actual son las que más frecuentemente se han realizado hasta el momento actual. La fotointerpretación es una técnica especialmente adecuada para obtener determinados tipos de información y realizar ciertos tipos de análisis. Si bien ambos tipos de actividades se suelen diferenciar conceptualmente —la primera de inventariado de información y la segunda de análisis de dicha información— en las aplicaciones es muy frecuente el encontrar ambos tipos de actividades sintetizadas en un mismo estudio. Estos estudios se pueden realizar en un contexto estático, examinando determinados aspectos del área urbana en un momento determinado, o dinámico, realizando análisis comparativos

en distintos momentos, a través del examen de fotografía aérea del área en los respectivos momentos, de la misma forma que se podrían realizar con información estadística procedente de censos periódicos. En este sentido conviene indicar que, dado el carácter eminentemente dinámico de los fenómenos urbanos, está justificada la cobertura periódica con fotografía aérea del área urbana bajo estudio, a ser posible en coordinación con operaciones notorias de recogida de información por otros procedimientos, a efectos de mutua complementariedad y comprobación de ambas operaciones.

Las aplicaciones de la fotointerpretación urbana a la segunda fase destacada han sido hasta ahora menos numerosas en la actualidad, pero no por ello dejan de ser menos interesantes o sugestivas, especialmente en relación con la nueva concepción del planeamiento continuo. Para dicho tipo de planeamiento son fundamentales las dos últimas etapas del esquema de proceso de planeamiento anteriormente planteado, que constituyen los mecanismos de vigilancia/corrección de la evolución del sistema urbano (monitoring), que a su vez proporcionan elementos de juicio para la redefinición del problema, metas, objetivos y estrategias (proceso de retroacción o feedback), empezando una nueva iteración del proceso planificatorio (6). La fotografía aérea supone un instrumento prácticamente irreemplazable para la vigilancia de la evolución del sistema urbano en su contexto general. La observación de los ajustes/desajustes del desarrollo real urbano y la estrategia de planeamiento prevista, son fácilmente analizables a través del contraste entre fotografías aéreas periódicas del área y los esquemas de planeamiento elegidos. La detección a través de este contraste entre el grado de ejecución/desviación del plan es un

(6) McLoughlin, J. B.: «Hacia un control del Sistema Urbano», *Ciudad y Territorio*, núm. 1, 1972.



elemento de información de gran interés para efectuar una evaluación de la nueva situación, seleccionando medidas correctivas adecuadas (fig. 2). La utilización de fotografía e información procedente de sensores remotos instalados en satélites de observación, ofrecen posibilidades de extraordinario interés para dicho sistema de vigilancia, una vez que su uso pase del actual estado experimental y aumente el poder de resolución de las imágenes proporcionadas.

1.4. Metodología general de los estudios de fotointerpretación urbana.

Si bien es difícil de establecer unas etapas comunes a los distintos tipos de aplicaciones de la fotointerpretación urbana (7), se pueden distinguir cinco grandes fases generales dentro de este tipo de estudios: **definición** de la metodología de aplicación al estudio, **identificación** de imágenes con objetos o elementos, **clasificación** de los objetos y elementos detectados según la tipología establecida, **inventariado** de las características de los objetos y elementos clasificados y **análisis** de dichas características, según exigencias del estudio. A su vez, estas fases se podrían subdividir en las siguientes etapas, en el caso de una aplicación de tipo general:

- Definición de objetivos y requerimientos del estudio.
- Definición de la metodología a desarrollar en el estudio.
- Comprobación piloto con la

(7) Véanse los distintos enfoques metodológicos y etapas sugeridas en los siguientes trabajos: Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement (C.E.T.E.), *Note sur les Applications de l'Interpretation Photographique*, Aix-en-Provence s. f.; Centre de Recherches d'Urbanisme (C.R.U.), *Photographie Aérienne et Urbanisme*, Publications du Centre de Recherches d'Urbanisme, París, 1969, pp. 45-46, 103-113; Manji, A. S.: «Uses of Conventional Aerial Photography in Urban Areas: Review and Bibliography», Remote Sensing Laboratory, Department of Geography Northwestern University, U. S. A., 1968; Vink, A. P. A.: *op. cit.*

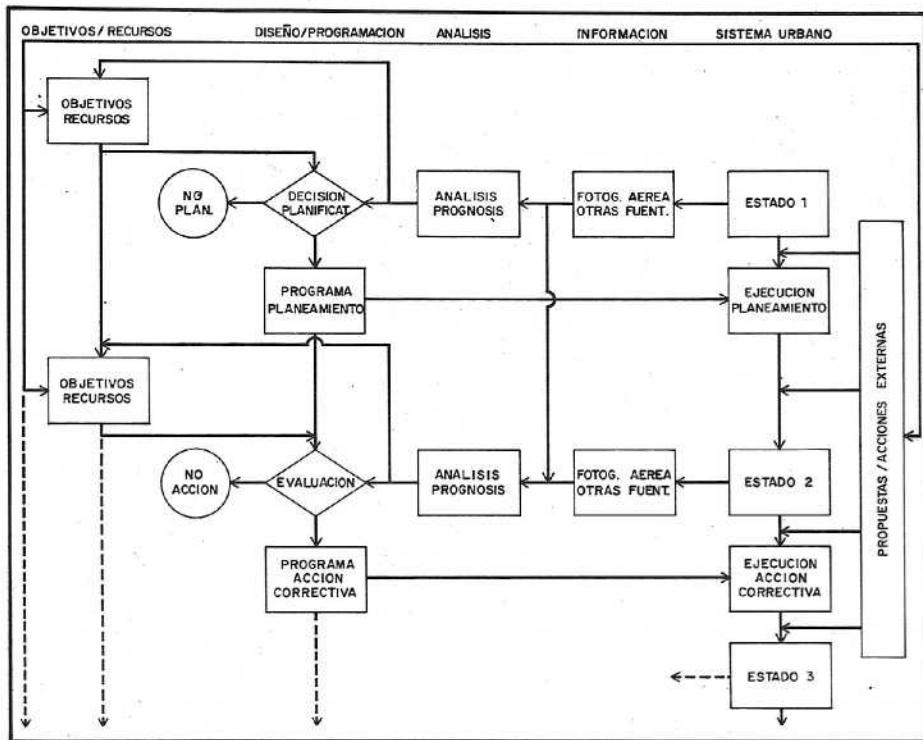


Figura 2.—Esquema de posible proceso simplificado de planeamiento continuo, mostrando la utilización de la interpretación de fotografía aérea para las fases de información y análisis de la situación del sistema urbano en el estado inicial de planeamiento, y para la detección del grado de ejecución del planeamiento/desviación del sistema urbano en un segundo y sucesivos estados.

bor de campo de las especificaciones de la metodología.

- Detección de imágenes a través del análisis de la fotografía aérea con/sin visión estereoscópica.
- Identificación de imágenes con objetos, elementos o fenómenos concretos detectados en fotografía.
- Selección de la información identificada en la fotografía en función de los objetivos del estudio y de la metodología general elegida.
- Clasificación de dicha información según tipología definida por metodología previa.
- Delimitación de objetos, elementos o fenómenos seleccionados y clasificados en papel de calco sobre fotografía, en cartografía o en foto-mosaico.
- Referenciación geográfica de delimitaciones realizadas,
- agregadas por unidades básicas de información.
- Medición de características cuantificables sobre objetos, elementos y fenómenos delimitados y clasificados sobre fotografía y cartografía.
- Comprobación de campo de etapas de identificación, clasificación, delimitación y medición.
- Ajuste de factores correctivos a etapas anteriores, según observaciones de campo.
- Diseño definitivo de información temática sobre cartografía.
- Codificación y procesamiento de la información obtenida.
- Cálculo de indicadores básicos a partir de mediciones realizadas e información complementaria.
- Análisis sobre información e indicadores básicos según requerimientos del estudio (di-

námica de evolución, comparación con información de otras áreas urbanas, con standards, etc.).

Es evidente que en la práctica algunas de estas etapas se realizan de forma automática o conjunta, o con un orden de prelación variable. También lo es que para estudios someros se pueden excluir una serie de ellas. Las variaciones de enfoque para aplicaciones concretas de fotointerpretación urbana se describen en la segunda parte de este artículo, según cada tipo de estudio específico.

En el planteamiento metodológico del estudio de fotointerpretación urbana hay algunos aspectos críticos sobre los que dicha metodología debe definirse con claridad, que merecen destacarse:

- La unidad mínima de superficie a efectos de detección de objetos o elementos.
- La tipología de objetos, elementos o fenómenos seleccionada para clasificar éstos a efectos del estudio.
- Las definiciones operativas literales y/o visuales elegidas para clasificar correctamente los objetos y elementos en la tipología seleccionada (claves de fotointerpretación).
- Las unidades básicas de información.

La especificación de estos aspectos debe hacerse en función de las necesidades del estudio, teniendo en cuenta las posibilidades y limitaciones prácticas de la fotointerpretación, así como los recursos disponibles.

El sistema de unidades básicas de información más sencillo sería el superponer una malla ortogonal regular sobre la cartografía o fotomosaicos y referir las delimitaciones de objetos o elementos seleccionados y clasificados a ellas. Sin embargo, si se quiere relacionar la información obtenida por fotointerpretación con información procedente de otras fuentes, es

más adecuado el emplear unidades basadas en delimitaciones administrativas apoyadas sobre tramos de la infraestructura urbana, cual son las manzanas o agrupaciones suyas, por ser unidades frecuentes de referencia y agregación de información de diversas fuentes.

1.5. Posibilidades y limitaciones de la fotointerpretación urbana.

La fotointerpretación urbana es una técnica aparentemente poco desarrollada y sistematizada aún. Sin embargo ofrece posibilidades amplias de aplicación a distintos requerimientos de análisis del planeamiento urbano, como se puede deducir de las aplicaciones expuestas posteriormente. En el presente apartado se trata de exponer las ventajas e inconvenientes de tipo general que presenta la fotointerpretación para su utilización en el planeamiento y análisis urbano.

Las posibilidades o ventajas que ofrece la fotointerpretación urbana respecto de otras técnicas de recogida de información o análisis se sintetizan a continuación:

- Proporciona una visión integral del área bajo observación de forma tan completa, que ésta no es superada por ningún medio de representación único, en cuanto a información y poder descriptivo latente de dicha área urbana se refiere. La fotografía aérea es de especial utilidad para la realización de estudios comparativos entre distintas áreas urbanas, debido a proporcionar información bruta objetiva con el mismo tipo de representación y grado de desagregación; como se mencionó anteriormente, la cartografía, por contener una información sintética de la información, puede no ser adecuada a efectos del estudio comparativo, por haber desecharo información

relevante para el estudio, o haber sido realizada con distintos criterios de representación cartográfica en el caso de las diversas áreas urbanas bajo estudio. Asimismo, la visión aérea permite observar aspectos de la estructura urbana, difícilmente discernibles con los sistemas de percepción o detección de información a ras de suelo normalmente empleados.

- Es un medio muy efectivo de transmisión de la información existente en un determinado momento o de la dinámica de crecimiento y cambio en momentos específicos de evolución de un área urbana a través del estudio de fotografías aéreas en dichos momentos. La información de la fotografía aérea entra, en sentido literal y verdadero, por los ojos. Un buen ejemplo de ello lo constituye la figura 3, que muestra los cambios producidos en suelo urbanizado en un área urbana de fuerte dinamismo en un período de diecisésis años. Los argumentos de persuasión para emprender acciones planificadoras que proporcionan este tipo de comparaciones, suelen ser más afectivos que una simple tabulación de datos estadísticos sobre el aumento de suelo urbanizado, o una descripción literal del fenómeno.
- Ofrece ventajas comparativas respecto de otros métodos de recogida de información, debido a ser en general un método más barato y rápido para la obtención de información de diversa naturaleza. Al mismo tiempo, sirve de fuente de información común para diversos tipos de estudios ambientales (geología, edafología, geografía física, etc.), debido al contenido en información que incluye y a su carácter objetivo. Ello hace a la fotografía aérea particularmente adecuada

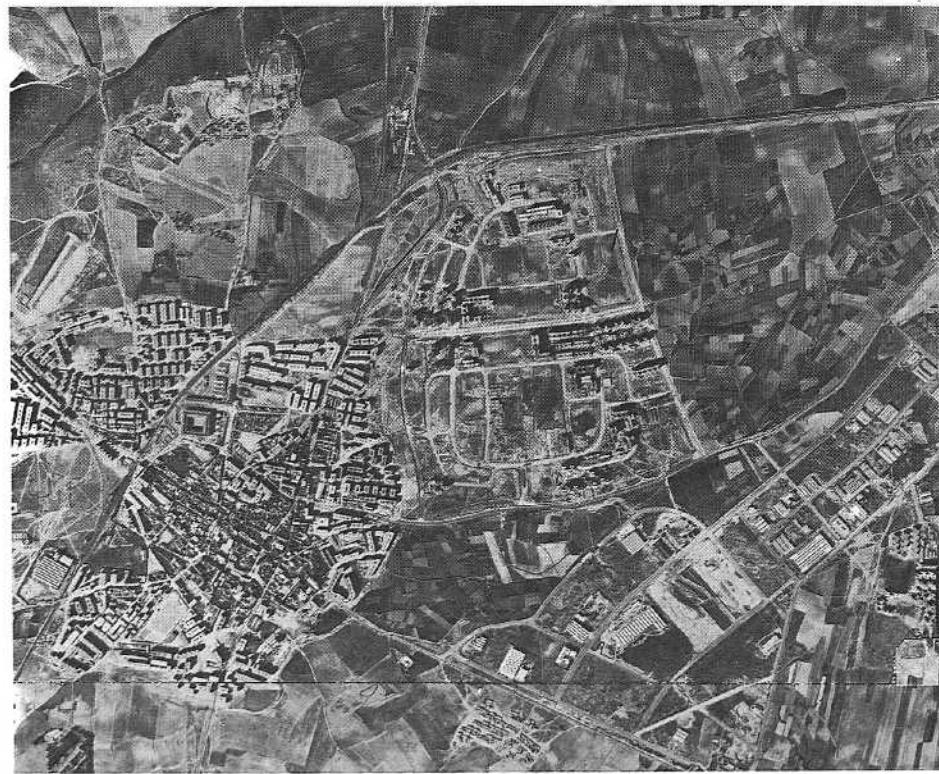


Figura 3.—Fotografía aérea del casco urbano de Leganés en 1956 y 1972.

como fuente de información para estudios integrados ambientales y de planeamiento.

- Proporciona información sobre aspectos no incluidos en fuentes de información existentes, que no estén debidamente actualizados o de difícil acceso por razones de confidencialidad o de falta de mecanización de los correspondientes archivos.
- Sirve para suplementar información obtenida a través de otras fuentes, o para comprobarla y actualizarla en ciertos aspectos. También puede servir como base de partida más eficaz que la cartografía para el diseño de muestras y para facilitar las recogidas de información exhaustivas. Así, puede ser de gran utilidad la fotografía aérea realizada en coordinación con las operaciones censales, por facilitar y aumentar la precisión de referencia de las tareas de delimitación espacial de unidades estadísticas (manzanas, secciones, etc.), particularmente en zonas de rápido crecimiento urbano, donde frecuentemente la cartografía no está actualizada.

Por las posibilidades de aplicación recién mencionadas de la fotografía aérea, se deriva que las técnicas de fotointerpretación urbana son especialmente adecuadas para las labores de planeamiento realizadas en países subdesarrollados o en vías de desarrollo, donde la escasez de recursos económicos, humanos y organizativos no ha permitido aún montar sistemas de información estadística suficientemente completos y efectivos.

Los principales inconvenientes o limitaciones de la fotointerpretación urbana se derivan de las propias características de la visión aérea, y por lo tanto son sustanciales a las ventajas antes mencionadas. Entre ellas se destacan:

- Existen algunos tipos de información de gran interés

- para el planeamiento urbano que no se pueden detectar prácticamente a través de la interpretación de fotografía aérea. Estos tipos de información son principalmente aquellos sobre elementos o actividades contenidos dentro de la edificación urbana, cual pueden ser la población, el empleo y sus respectivas características.
- En otros tipos de información, el grado de posibilidad de identificación de tipologías de interés para el planeamiento es muy dispar: en algunos casos se pueden identificar objetos o elementos redundantes a los efectos de clasificación del estudio, y en cambio no poderse detectar o identificar suficientemente otros de interés por estar contenidos de forma conjunta en los mismos edificios. Este es el problema típico en los inventarios de usos del suelo urbano realizados por fotointerpretación, como se verá más adelante.
- La información cuantitativa obtenida a través de mediciones realizadas sobre fotografía aérea es solamente aproximada debido a la falta de verticalidad de la fotografía y a su sistema de proyección y consecuente error de paralaje, si bien estos problemas se pueden evitar hasta cierto punto (medición sobre cartografía en vez de sobre fotografía, uso de cámara clara, rectificación fotografía).
- Los estudios de fotointerpretación urbana deben llevar consigo una comprobación parcial de campo, bien sea ésta previa (claves de fotointerpretación) o posterior (o ambas), a la labor de identificación de objetos o elementos a través de sus imágenes fotográficas, para detectar el grado de error en que se ha incurrido, e identificar

los objetos no identificados o de identificación dudosa.

Estas limitaciones establecidas pueden ser soslayadas hasta cierto punto, a través del empleo combinado de técnicas de interpretación (gabinete) y labor de campo. Sin embargo, conviene tener presentes las ventajas y limitaciones de la fotointerpretación urbana para valorar si dicha técnica es válida para el tipo de estudio planteado e información específica requerida, en qué operaciones tiene sentido aplicarla y qué labores de apoyo e información complementaria necesita.

2. APPLICACIONES DE LA FOTOPREINTERPRETACIÓN URBANA

2.1. Desarrollo de las aplicaciones.

Como ya se mencionó anteriormente, la interpretación de fotografía aérea aplicada a estudios del medio urbano es una técnica que parece estar poco difundida y desarrollada, y cuyas posibilidades de aplicación no están aún sistematizadas y contrastadas con otros métodos de recogida de información y análisis. Ello se puede argumentar al menos en relación con el gran desarrollo de la fotointerpretación aplicada a otras ciencias interesadas principalmente en aspectos físicos del territorio o en aplicaciones militares. Quizá haya influido en ello el que tradicionalmente para los estudios urbanos se han empleado métodos de recogida directa de la información o explotación de archivos existentes, mientras que para las aplicaciones anteriores no existía la posibilidad material o económica de realizar recogidas de información por otros métodos.

De todas formas, como argumenta Manji (8), el relativo retraso en el desarrollo de aplicaciones de la fotointerpretación urbana no es tan real como apa-

(8) Manji, A. S.: *op. cit.*, p. 1.

renta serlo, a través de la relativa escasez de estudios publicados sobre la materia. La fotointerpretación es una técnica que se usa hoy en día con bastante frecuencia por las agencias, organismos y consultores de planeamiento, en la realización de sus estudios y proyectos, aunque el uso de dicha técnica o la metodología aplicada no se suela documentar en ellos con suficiente detalle, y a veces, siquiera describir su utilización. En este sentido son escasos los estudios con aplicaciones de fotointerpretación urbana que detallan aspectos de interés para el desarrollo de la técnica, como las descripciones de las claves de fotointerpretación usadas y la comprobación del grado de precisión en la identificación y medición de objetos a través de recogidas directas de información.

Las aplicaciones de la fotointerpretación al estudio del medio urbano se desarrollaron fundamentalmente a partir de la segunda guerra mundial, con motivo del extraordinario impulso que recibió dicha técnica con fines militares de reconocimiento e identificación de zonas estratégicas enemigas por parte de los países beligerantes (9). Los trabajos de Branch, Stone, Wittenstein y Wray (10), entre otros, efectuados a fines de la década de los años cuarenta y durante los años cincuenta, plantearon los rasgos generales de los enfoques metodológicos para la fotointerpretación urbana de estudios por interpretación directa. La década de los años sesenta se caracterizó por la difusión de aplicaciones a numerosos casos prácticos, y por el inicio de las aplicaciones a estudios por interpretación indirecta. Los últimos cuatro-cinco años se pueden caracterizar por el desarrollo de un gran inte-

(9) Véase, por ejemplo, Quackenbush, R. S., y otros: «Development of Photo Interpretation», en *Manual of Photographic Interpretation*.

(10) Para una síntesis del desarrollo histórico de la fotointerpretación urbana, véase Manji, A. S.: *op. cit.*, o Wray, J. R.: *op. cit.*

rés y esfuerzo inicial de investigación en las posibilidades de interpretación ofrecidas por las imágenes de los sensores remotos instalados en plataformas aéreas a gran altura, en particular de satélites, interés que probablemente marcará la pauta predominante de investigación en el terreno de la utilización de sensores remotos para el planeamiento urbano en la próxima década, si se obtienen imágenes a mayor escala y con mayor poder de resolución.

En los epígrafes restantes del presente artículo se incluye una descripción de las principales aplicaciones de la fotointerpretación a estudios concretos del medio urbano. Para la presentación de dichas aplicaciones se han clasificado éstas siguiendo a varios autores (11), según se trate de estudios realizados por interpretación directa o por interpretación indirecta de la fotografía aérea, debido al distinto enfoque metodológico seguido en ambos tipos de estudios (véase apartado anterior 1.2.).

Dentro de estos dos tipos de estudios, se pueden distinguir las siguientes aplicaciones de la fotointerpretación a estudios urbanos concretos:

Estudios realizados por fotointerpretación directa.

- geografía urbana
- características residenciales del terreno
- infraestructuras y servicios urbanos
- aspectos ambientales y paisajísticos
- morfología urbana
- usos del suelo y ocupación urbana
- tráfico
- vigilancia y corrección en la evolución del sistema urbano
- gestión urbana

(11) Por ejemplo, Manji, A. S.; Moore, E. G., y Wellar, B. S.: «Remote Sensor Imagery in Urban Research: Some Potentialities and Problems», Interagency Report NASA-118, U. S. Geological Survey, Washington D. C., 1967; Vink, A.P.A.: op. cit.

Estudios realizados por fotointerpretación indirecta.

- valores del suelo
- característicos residenciales
- características socioeconómicas

Conviene recalcar que, como ya se mencionó anteriormente, cada una de estas aplicaciones se puede desarrollar en un contexto estático o dinámico, mediante la comparación de fotografías de la zona urbana bajo estudio en épocas sucesivas y también mediante el estudio comparativo de los mismos aspectos concretos en distintas áreas urbanas.

2.2. Estudios realizados por interpretación directa.

Dentro de este tipo de estudios se describen las aplicaciones realizadas en estudios de morfología urbana, usos del suelo y ocupación urbana y estudios de tráfico, debido a su interés para los problemas de planeamiento urbano y a la relativa utilización de técnicas de fotointerpretación en ellos. Sobre las restantes aplicaciones incluidas en la lista anterior se hacen breves comentarios a continuación.

La interpretación de fotografía aérea es una técnica muy utilizada para los estudios de geografía urbana. En realidad prácticamente todas las aplicaciones aquí mencionadas son temas de interés para el campo de la geografía urbana. Ello se debe a que la dicotomía conceptual planteada entre la geografía urbana y el planeamiento urbano —al menos en su fase de análisis, diagnosis y prognosis— hoy en día no tiene mucho sentido. Como índice de ello, conviene destacar que la mayoría de las aportaciones realizadas en el campo de la fotointerpretación urbana han sido desarrolladas por geógrafos interesados en el análisis urbano. Un buen ejemplo del análisis secuencial propuesto por un geógrafo para proporcionar un análisis geográfico sintético general que engloba el análisis urbano den-

tro de la metodología propuesta, es el trabajo de Stone (12).

A través de la geografía aérea se pueden detectar diversas características fisiográficas del área urbana y de su zona periférica de interés para el análisis urbano y el examen de las posibilidades de expansión urbana. El relieve del terreno, análisis de pendientes, taludes, zonas de fuerte erosión, rocas desnudas, áreas de extracción de rocas industriales, zonas inundables, tipos de vegetación y cultivos, son aspectos detectables con visión estereoscópica en fotografía aérea. Asimismo, se pueden realizar estudios de soleamiento en relación con las orientaciones y pendientes del terreno en zonas rurales y urbanas a través del estudio de las sombras en fotografías aéreas realizadas en distintas épocas del año con mayor posibilidad que a través de los cálculos trigonométricos clásicos (13).

La interpretación de fotografía aérea también es de utilidad para la realización de distintos estudios sobre infraestructuras y servicios urbanos. El inventariado de las redes de transporte y sus terminales, así como algunas de sus características (tipos de firmes, estacionamientos, zonas de almacenaje e instalaciones) se puede realizar con fotografía aérea a escalas suficientemente grandes. Asimismo, se puede desarrollar una jerarquización estimativa de las redes de transporte en función de sus dimensiones y características (véase el ejemplo de estimación de intensidades relativas de tráfico en apartado 1.2.). Las centrales de los servicios de suministros urbanos se pueden detectar en general fácilmente debido a que dichos edificios e instalaciones tienen formas características susceptibles de identificarse con claves

(12) Stone, K. H.: «Air Photo Interpretation Procedures», *Photogrammetric Engineering*, núm. 22, 1956.

(13) Huybens, R. A. «Physiographie Aérienne (suite). La Photographie Aérienne et l'Urbanisme», *Bulletin de la Société Belge de Photogrammétrie*, marzo 1954.

de fotointerpretación (estaciones y subestaciones de suministro eléctrico, centrales de depuración de aguas, de suministro de gas, etc.). La fotografía aérea también es útil en el estudio de localización y trazado de nuevas redes de transportes y terminales en la periferia de asentamientos urbanos para seleccionar aquellas alternativas que causen menores disrupciones en los usos preexistentes, e impliquen costos de construcción y expropiación menores, teniendo en cuenta las características fisiográficas del terreno (14).

En los estudios de aspectos ambientales y paisajísticos también puede ser de interés el empleo de la fotointerpretación aérea. La fotografía aérea puede proporcionar una información inicial sobre la localización de edificios o conjuntos de posible interés histórico monumental, paisajístico o deterioro del paisaje urbano, que permite el seleccionar las zonas motivo de posterior estudio sobre el terreno. A través del examen de fotografía aérea se puede clasificar la estructura urbana, según tipologías ambientales que tengan en cuenta distintos aspectos o variables de la trama urbana, lo cual es de utilidad para los estudios de morfología urbana (15). Asimismo, la fotografía aérea permite una detección inicial rápida de los usos del suelo periféricos de interés desde el punto de vista de protección ambiental o paisajístico, cual pueden ser zonas arboladas y forestales, cultivos de regadíos y elementos singulares o característicos del paisaje, que ofrezcan interés para ser protegidos.

La utilización de la fotointerpretación para la vigilancia y corrección de la evaluación del sistema urbano, y la detección de los ajustes o desajustes entre los esquemas de planeamiento y el crecimiento urbano real ya fueron

mentionados en el apartado 1.4. Un tipo de análisis ligado con el anterior es el de la gestión urbana. La fotografía aérea es una fuente de información útil para las muy distintas funciones que desarrollan servicios locales, tales como incendios, sanidad, obras públicas y contribución de impuestos sobre el patrimonio inmobiliario (16). En particular para la gestión urbanística, es de especial interés la fotografía aérea para la vigilancia de las promociones y actuaciones puntuales y el análisis del ajuste con las ordenanzas o normas urbanísticas vigentes. Finalmente, la fotografía aérea es de utilidad para otros aspectos del planeamiento urbano muy ligados a la gestión urbanística, como son la delimitación de polígonos de actuación, reparticiones, actuaciones de remodelación o renovación urbana y creación de nuevos parques urbanos (17).

2.2.1. Morfología urbana.

La fotointerpretación aérea proporciona una ayuda valiosa para la obtención de un conocimiento general de los grandes rasgos y zonas de morfología homogénea del área urbana bajo estudio, o para realizar una delimitación más detallada de zonas que presentan características semejantes de estructura edificatoria, de espacios y comunicaciones. Para el primer tipo de análisis es recomendable el empleo de la fotografía aérea a pequeña escala (de 1:20.000 a 1:30.000, e incluso inferior, según el tamaño del área bajo estudio), para poder tener una visión sintética con el menor número posible de fotogramas. A este fin, suele ser muy cómodo el disponer de un montaje de los fotogramas o fotomosaicos. Para el segundo tipo de análisis, es conveniente utilizar fotografía aérea a escalas intermedias (1:10.000 a 1:5.000) e incluso mayores, en el caso de áreas urbanas de tamaño reducido o trama urbana compacta.

(14) Belcher, D. J., y otros: «Photo Interpretation in Engineering», en *Manual of Photographic Interpretation*.

(15) Muret, J. P., y Taupin, J. L.: «Les Paysages Urbaines», en *C. R. U.*, *op. cit.*, cap. 16.

Una primera tarea para los estudios de morfología urbana —o para el caso de los estudios de usos del suelo urbano— es la delimitación del conjunto urbano. La utilización de un criterio basado en límites administrativos existentes (límites municipales) no suele ser válido, porque el fenómeno de urbanización en los desarrollos urbanos, y particularmente los metropolitanos, rebasa con frecuencia dichos límites (fig. 4).

Un criterio empleado frecuentemente para delimitar dichos conjuntos es el incluir las zonas urbanizadas, que se extienden sin solución de continuidad a partir del núcleo de la ciudad central. La ventaja de este criterio es que se puede utilizar fácilmente para fines comparativos en distintos conjuntos urbanos. El inconveniente es que no incluye zonas periféricas que pueden estar ligadas funcionalmente a la ciudad central. Para este tipo de delimitaciones es particularmente útil el empleo de fotografía aérea, que generalmente es más reciente que la cartografía más moderna de la zona, y en la cual se puede distinguir sin riesgo de grandes errores la edificación de tipo urbano de la rural.

La delimitación del conjunto urbano tiene un interés inmediato en cuanto a morfología se refiere, en la forma del desarrollo urbano y en su relación con las características geográficas y de comunicaciones del territorio circundante. A través de análisis comparativo de distintas áreas urbanas delimitadas como anteriormente se expresó, es fácil la observación de las distintas formas de desarrollo urbano (fig. 4).

Para el análisis de la forma actual del área urbana, es interesante el estudio histórico del crecimiento urbano. Ello se puede realizar con facilidad mediante la comparación de fotografía aérea de distintos períodos y cartografía histórica, para proporcionar una idea de la dinámica de crecimiento.

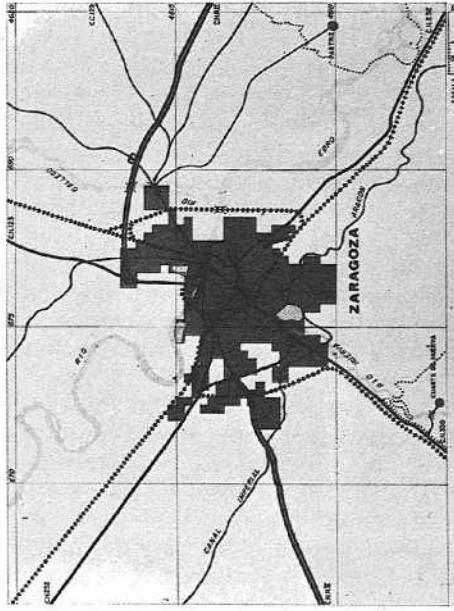
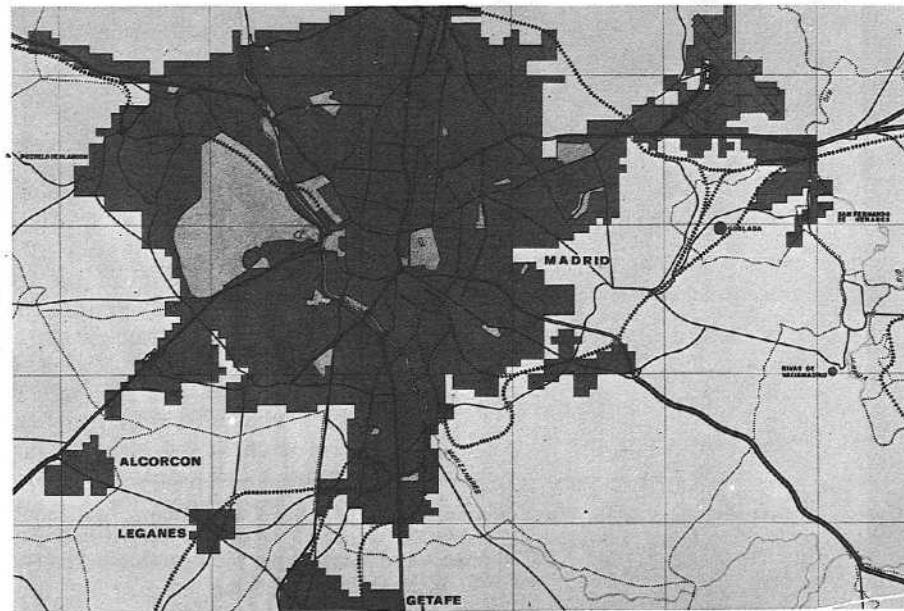
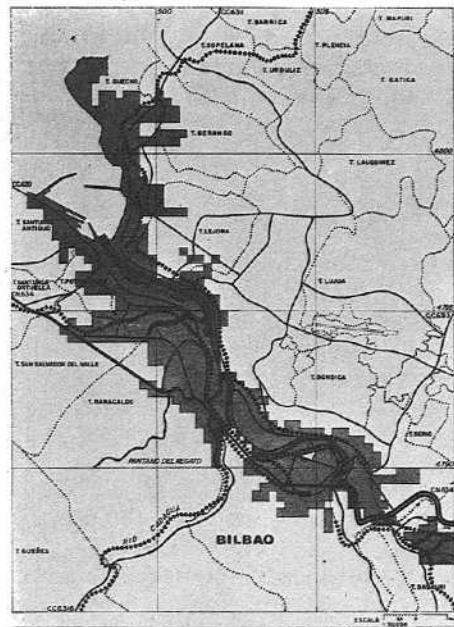
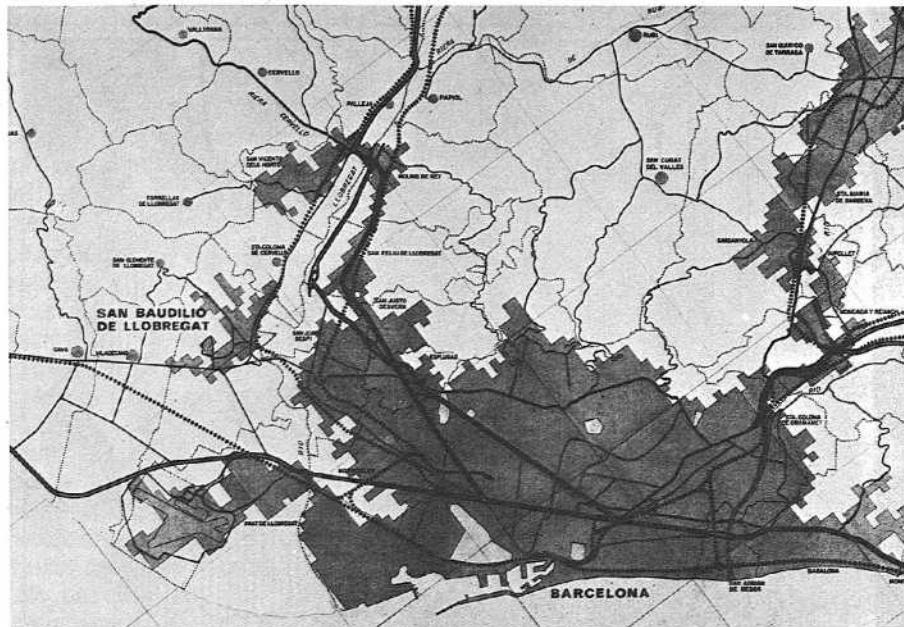


Figura 4.—Perímetros urbanos de Barcelona (1970), Bilbao (1968), Madrid (1970) y Zaragoza (1970), delimitados según un criterio de continuidad de suelo urbanizado a partir del núcleo de la ciudad central, utilizando fotografía aérea. Obsérvese la inoperancia de aplicación del criterio basado en límites municipales para la realización de estudios analíticos comparativos y particularmente para índices de densidad de población. Una parte considerable del suelo continuo urbanizado de la aglomeración de Barcelona se encuentra fuera de sus límites municipales, mientras que en la aglomeración de Madrid la mayor parte del continuo urbanizado se encuentra dentro del término municipal, debido a la política seguida de anexión de términos municipales periféricos. En Zaragoza, en cambio, el suelo continuo urbanizado constituye una mínima parte de su respectivo municipio, uno de los mayores de España.

Las distintas formas de los perímetros urbanos delimitados, denotan distintas estructuras morfológicas de las aglomeraciones expuestas, motivadas en parte por su situación geográfica y fisiográfica particular, así como por el grado de desarrollo de infraestructuras de comunicaciones y desarrollo socioeconómico del núcleo central y de su territorio periférico (Dirección General de Urbanismo: *Inventario Nacional de Usos del Suelo Urbano*, Ministerio de la Vivienda, Madrid, próxima publicación).

Entrando ya en el detalle de las grandes agrupaciones morfológicas del área urbana bajo estudio, la fotointerpretación puede ser útil para definir tipologías de la trama urbana y sus delimitaciones generales, susceptibles de verificación con labor de campo. Un primer análisis que puede ser de utilidad para el establecimiento de zonas morfológicas es la detección de las jerarquías de la red arterial. Muret (18) recomienda para ello —y aparte de otros criterios de tipo general— el identificar la red arterial primaria en fotografía de 1:25.000 a 1:10.000; la secundaria, en fotografía a escala 1:10.000 a 1:5.000, y la terciaria, si es que se requiere este nivel de detalle, en fotografía de escalas 1:5.000 a 1:2.000.

Un segundo aspecto para la definición de las tipologías y delimitaciones morfológicas sería la clasificación en tipos edificatorios claramente identificables en fotografía aérea. Ello suele llevar consigo la definición de una tipología mixta de tipos de edificios claramente diferenciados —manzana cerrada, bloques aislados, ciudad jardín— y de actividades fácilmente detectables, tales como servicios institucionales o industria (fig 5).

Mediante fotografía a mayores escalas y estudios más detallados se puede llegar a una delimitación morfológica más fina de la trama urbana. Tal es el caso de los trabajos realizados para la Revisión del Plan Comarcal de 1953 de Barcelona, donde se realizó una tipología muy desagregada para la clasificación de la edificación existente, basada en tipos edificatorios de rasgos cuantitativos detectables, y en rasgos cualitativos originados en un conocimiento considerable de la estructura urbana bajo estudio y su evolución histórica.

Un estudio de morfología urbana desarrollado utilizando técnicas de fotointerpretación completado con

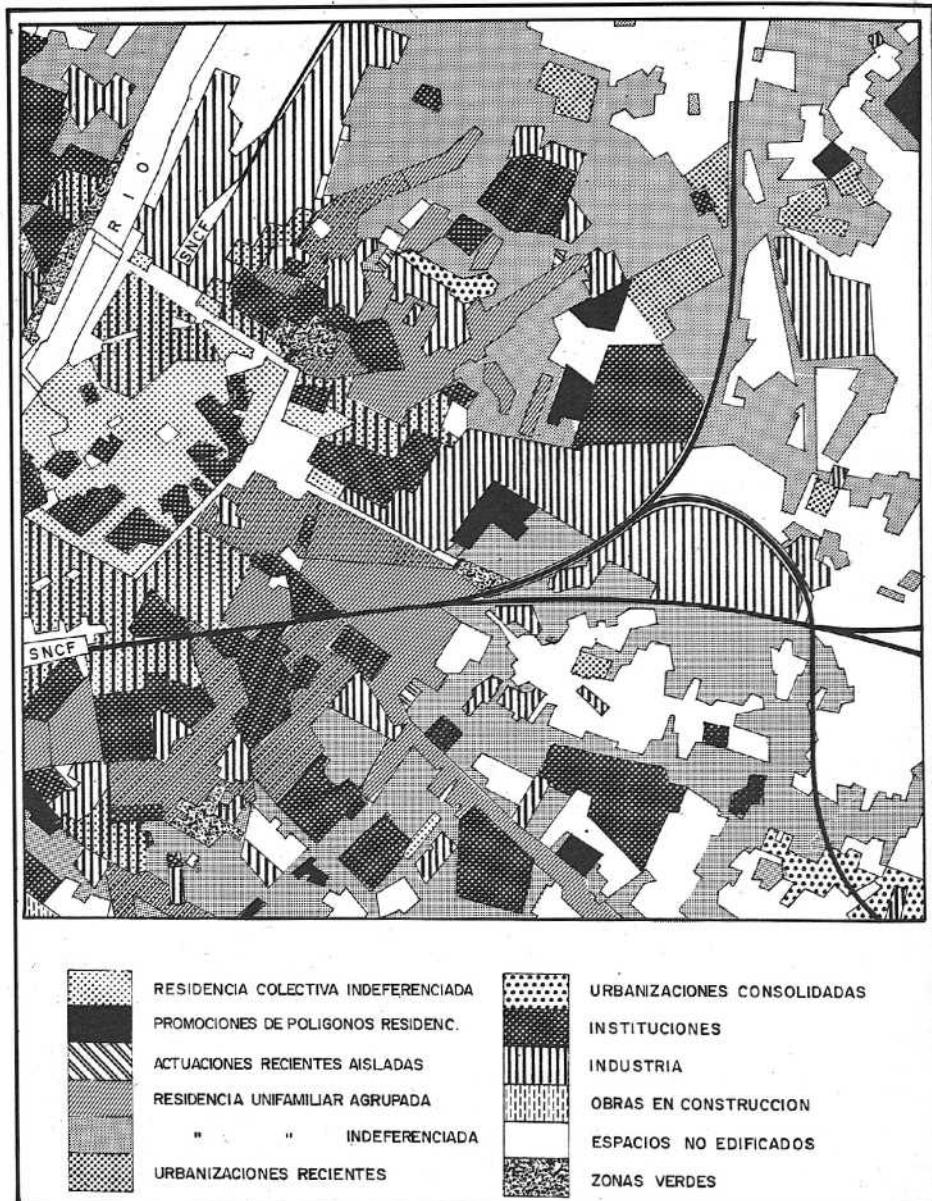


Figura 5.—Fotointerpretación de la zona central de la ciudad de Angers, utilizando una clasificación mixta de tipología de edificios y usos del suelo. Escala fotografías 1: 25.000, 1958. (C. E. T. E. Note surdes Applications de l'Interpretación Photographique. S. f., p. 21).

otros criterios, es el realizado por Wray para Peoria, Illinois (19). En él se definieron áreas urbanas funcionales como agrupaciones de usos del suelo similares o asociaciones de usos del suelo relacionados. Para ello se tuvieron en cuenta varios criterios: las delimitaciones de zonas por grandes

grupos de usos del suelo del área urbana y las densidades de edificación, siendo ambos conceptos analizados por fotointerpretación; las densidades de población, flujos de tráfico y localización de lugares de empleo, obtenidos de otras fuentes. La síntesis de esta información diversa constituyó la delimitación de áreas urbanas funcionales. Así, dentro del casco ur-

(18) Muret, J. P.: «Eléments Constitutifs du Milieu Urbain», en C. R. U., op. cit., pp. 136-137.

(19) Wray, J. R.: op. cit., pp. 670-690.



bano, se delimitó el distrito central de negocios y una serie de zonas funcionales, predominantemente de usos industriales, de transportes, o residenciales de diversas características (densidad de edificación, tipo de edificación, etcétera).

Un aspecto que sirve de ayuda para definir la morfología urbana es la investigación histórica de los trazados y ensanches realizados en la ciudad, y la cristalización de la trama urbana en los distintos períodos de su evolución. Hay que tener en cuenta que uno de los elementos de mayor supervivencia de la ciudad en el tiempo es la estructura conjunta del sistema viario/catastro parcelario, que en los cascos apenas suele sufrir otras modificaciones que las de un aumento de densidad edificatoria, o de la anchura de sus viales. Como ejemplo, se incluye un sector del plano Texeira de Madrid (1656) y una fotografía de la misma zona en 1972, donde es claramente apreciable al supervivencia de la trama urbana y estructura parcelaria de la propiedad (fig. 6).

2.2.2. Usos del suelo urbano.

La detección y medición de usos del suelo urbano es quizá el tipo de estudio urbano al cual se han aplicado con mayor frecuencia técnicas de fotointerpretación. En este tipo de análisis, como en los anteriores, se pueden distinguir dos niveles de trabajo: un primer nivel de detección de grandes grupos —y su traducción en zonas de territorio generalmente extenso— de usos del suelo urbano, para el cual se puede emplear fotografía aérea con visión estereoscópica a escalas comprendidas entre 1:30.000 y 1:10.000, y un segundo nivel de detección de usos del suelo más desagregados, para el que conviene emplear fotografía aérea a escalas comprendidas entre 1:10.000 y 1:2.000, con el mismo tipo de recubrimiento.

Las clasificaciones de usos del suelo a detectar están por supuesto en función de la escala de la



Figura 6.—Comparación entre la zona del casco antiguo de Madrid, según el plano Texeira (1656), y fotografía aérea de la misma zona en 1972. La supervivencia de la trama urbana a lo largo de más de tres siglos es notable. La estructura parcelaria de la propiedad también parece haberse conservado bastante. Dos fenómenos de cambio se detectan con claridad. Por un lado, un aumento considerable del volumen edificado, debido al aumento en alturas de los edificios y a una mayor ocupación de edificación en la superficie de manzanas (desaparición de patios, corrales y jardines interiores). Por otro lado, la edificación de espacios abiertos o plazas (Cebada, Opera) y la creación de otros a costa de servicios o manzanas residenciales (Santa Ana, Tirso de Molina).

fotografía aérea empleada. En la figura 7 se incluye una posible clasificación de usos del suelo urbano, sugerida para un análisis efectuado sobre fotografía aérea a escala 1:10.000. Algunas de las categorías se pueden subdividir más en función de su naturaleza extensiva (por ejemplo, en el equipamiento institucional se pueden distinguir instituciones de enseñanza media o superior, servicios militares, cementerios, etc.) o claramente detectables (servicios religiosos). En las categorías de transporte y comunicaciones se pueden distinguir los canales de comunicación, las terminales de transporte y lugares de estacionamiento y almacenaje, respectivamente, para cada tipo de transporte. La figura 8 ofrece un ejemplo de fotointerpretación urbana en grandes categorías de usos del suelo urbano, realizada sobre fotografía a escala 1:10.000.

Conviene destacar aquí la dificultad o imposibilidad de detectar algunos tipos de usos del suelo por técnicas de fotointerpretación. Los usos del suelo urbano son el resultado del desarrollo de determinadas actividades urbanas ocupando superficies y volúmenes concretos en el área urbana. Aquellas actividades que por su naturaleza requieren usos extensivos del suelo (grandes industrias, transporte) o usos intensivos, que ocupan generalmente la totalidad de edificios (caso frecuente de los servicios públicos), suelen ser detectables por fotointerpretación. En cambio las actividades de tipo intensivo, que ocupan superficies relativamente reducidas y que frecuentemente se localizan en conjunción con otras actividades similares o supletorias y no ocupan la totalidad de edificios, son difíciles de detectar por fotointerpretación. Tal es el caso frecuente para las actividades de comercio, servicios privados y personales, la pequeña industria y talleres. Hay que recordar que la característica primordial de los objetos urbanos que permite detectarlos a través de técnicas de fotointerpre-



Figura 7.—Posible clasificación de grandes grupos de usos del suelo urbano sugerida para análisis por interpretación de fotografía aérea panorámica a escala 1:10.000.

tación es su forma en planta y volumen. Si las actividades quedan encubiertas dentro de edificios destinados a varios usos heterogéneos (residencia, comercio, servicios personales), la forma del edificio no suele reflejar más que el uso predominante (generalmente residencia).

Una fuente común de errores es la confusión entre tipos de edificios semejantes que albergan actividades distintas por similitud de edificios que las contienen, al haberse producido una sucesión de ocupación de actividades en el edificio, o porque, en la práctica, sus requerimientos funcionales se traducen en tipos de edificación relativamente similares. Tal puede ser el caso entre ciertos tipos de edificios residenciales colectivos y edificios de servicios privados o comerciales.

Para tratar de eliminar ambos tipos de problemas se puede emplear la fotografía aérea con gran angular, fotografía oblicua, películas con emulsiones que den gran transparencia a las sombras, fotografía aérea a grandes escalas o

fotografía aérea realizada en días de nubes altas que evitan sombras. Sin embargo, el resultado no podrá ser nunca satisfactorio por las razones antes mencionadas. No obstante, ello no invalida la inclusión de las categorías de usos del suelo comerciales, de servicios (no institucionales) o industriales en el esquema empleado, para inventariar los que se pueden detectar directamente por fotointerpretación. Simplemente conviene recordar que el inventariado de ocupación de suelo de estas actividades sólo será parcial, y necesitará unas fuentes de información específicas, si se necesita conocer en su totalidad.

Estos problemas están relacionados con otro anteriormente mencionado, que cobra importancia en el inventariado de usos del suelo urbanos. Este es la falta de coherencia en el grado de identificación de usos del suelo que se logra por fotointerpretación, desde el punto de vista de conseguir una clasificación homogénea en cuanto a importancia de usos del suelo urbano para planeamiento se



Figura 8.—Fotomontaje y fotointerpretación de una zona de Villaverde, municipio anexionado a Madrid. La escala de fotografía aérea a la que se efectuó la fotointerpretación fue 1:10.000. D. G. U. *op. cit.*

refiere. Así, mientras se pueden distinguir las gasolineras o estaciones de servicio de transporte rodado, las piscinas privadas y elementos muy desagregados de escasa importancia, en cuanto a su función o peso relativo en la ocupación de suelo urbano, otros usos del suelo importantes no se pueden detectar, como acabamos de mencionar. Branch tiene una tendencia a ilustrar sus trabajos (20) con ejemplos de fotointerpretación que se podían calificar de muestras de virtuosismo, por el detalle logrado. Sin embargo, dicho detalle es a veces anecdótico, pudiéndose perder la visión de conjunto, y los fines del trabajo concreto en sí. En este sentido conviene que las posibilidades dispares de detección de usos del suelo urbano a través de la fotografía aérea no influyan en la clasificación de usos del suelo urbano que realmente interesa a los fines de planeamiento, sino viceversa. Aquellos usos del suelo urbano e información complementaria que no se puedan conseguir con fiabilidad por fotointerpretación, se deben obtener por otros procedimientos.

Un aspecto de interés en este tipo de estudio es la metodología empleada aplicando las técnicas de fotointerpretación para el inventariado de usos del suelo y su posterior análisis. A continuación se incluyen las etapas del estudio de Wray en Peoría (1951), que es un enfoque clásico en su género. Wray distingue las cinco etapas siguientes en su trabajo (19):

1. Preparación del fotomosaico.—La fotografía disponible era a escala 1:20.000 con recubrimiento estereoscópico. No existiendo cartografía reciente, dicha fotografía se empleó para componer un fotomosaico a la escala 1:20.000 de la cartografía existente del U. S. Geological Survey. La fotografía se

(20) Branch, M. C.: *op. cit.* (1971) y *Aerial Photography in Urban Planning and Research*, Harvard University Press, Cambridge, Mass. 1948.

redujo a esta escala y se realizó un montaje sobre dicha cartografía, adaptándose lo mejor posible a ella. Sobre dicho montaje se superpuso una retícula de referencia geográfica basada en el sistema de coordenadas del Estado de Illinois, anotándose las respectivas coordenadas de la retícula. El fotomosaico se completó con información básica de toponimia y sirvió como base cartográfica de referencia, delimitación y medición para las fases posteriores del trabajo.

2. Delimitación de grandes grupos de usos del suelo.—La clasificación empleada por Wray estaba dividida en seis grandes grupos de usos del suelo: Residencial, Comercial, Industrial, Transporte, Espacios no abiertos urbanizados y Espacios abiertos no urbanizados rodeados de usos urbanos. Wray fijó la unidad mínima de detección de usos del suelo en un millón de pies cuadrados (cerca de 10 hectáreas), y delimitó el área urbana a efectos de análisis, como el límite externo del área que sin solución de continuidad se extiende desde el centro urbano con cualquiera de estos seis usos del suelo urbano. Las zonas urbanas periféricas conectadas por carretera con la zona central también se incluyeron para el análisis.

A través de interpretación de la fotografía aérea disponible y con una labor de campo reducida, se delimitaron los grandes grupos de usos del suelo urbano, teniendo en cuenta las observaciones hechas anteriormente y ajustándose a los grandes rasgos de la estructura urbana bajo análisis.

3. Delimitación de áreas analíticas.—Las grandes áreas detectadas anteriormente se subdividieron en áreas de análisis de menor tamaño (alrededor de 10 hectáreas), de acuerdo con tres criterios: 1.º Homogeneidad del tipo de uso en el área (vivienda unifamiliar o colectiva). 2.º Intensidad de uso similar dentro del área; y 3.º Ajustarse dentro de lo posible

en la delimitación a las divisiones de la trama de comunicaciones de la ciudad, para relacionar la información de usos del suelo con la información censal existente desagregada al nivel de manzana.

Las áreas analíticas se localizaron mediante la referenciación de su centro aproximado al sistema de coordenadas elegido.

4. Obtención de información de las áreas analíticas.—A continuación se estudiaron las áreas analíticas con los fotocontactos en visión estereoscópica, y se obtuvo información cuantitativa para cada tipo de uso de suelo urbano. La información obtenida fue: superficie del área destinada a cada uso, y superficie edificada en planta por usos, a través de la medición sobre el fotomosaico con planímetro en el primer caso, y por estimación en el segundo caso. También se incorporó la información de población proveniente del Censo de 1950 que se agregó por áreas analíticas. Las principales operaciones de análisis sobre esta información fueron la determinación de densidad de edificación y de población.

5. Delimitación y análisis de áreas funcionales sintéticas.—Finalmente se reagruparon las áreas analíticas en áreas funcionales de mayor tamaño, como síntesis de morfología funcional del área urbana, basada en la información recogida por fotointerpretación, completada por información procedente de otras fuentes, como ya se indicó en el apartado anterior de estudios de morfología urbana. La información obtenida por áreas analíticas fue agregada por áreas funcionales, tabulándose los indicadores anteriores y los porcentajes de usos del suelo urbano de las áreas urbanas sobre el total.

Aunque en este estudio concreto no se utilizaron técnicas de proceso automatizado de datos, fácil es de comprender que se podrían haber empleado para el cálculo de indicadores y agregaciones de área analíticas en áreas funcionales.

Como ya se había indicado anteriormente, una de las ventajas de la fotointerpretación es que puede suministrar determinados tipos de información con costes más reducidos que la obtención por otros métodos alternativos. Sin embargo, presenta los problemas de que exige una cierta verificación de campo y que algunas categorías importantes de usos de suelo urbano no se detectan en una parte considerable. Para resolver estos problemas, el procedimiento más adecuado parece ser el acudir a técnicas de muestreo estadístico en coordinación con las técnicas de fotointerpretación. Un posible método integrado de este tipo para estudios de usos del suelo urbano, podría tener las siguientes etapas generales:

1. Delimitación por fotointerpretación de zonas homogéneas en el área urbana, desde el punto de vista de inclusión de usos del suelo urbano, tipología de edificios, densidad de ocupación y red viaria.
2. Selección de subzonas dentro de las zonas homogéneas por el procedimiento de muestreo elegido.
3. Fotointerpretación y análisis cuantitativo de usos del suelo en subzonas seleccionadas.
4. Verificación de usos del suelo con labor de campo en subzonas seleccionadas y obtención de información para usos no detectables por fotointerpretación.
5. Contraste entre resultados obtenidos por ambos procedimientos. Determinación de factores de corrección por usos del suelo y zonas a la interpretación y análisis cuantitativo realizado en la etapa 3.
6. Fotointerpretación y análisis cuantitativo de usos del suelo para la totalidad del área urbana por zonas y subzonas.
7. Aplicación de factores de corrección a la interpreta-



ción y análisis realizados en la etapa 6, por subzonas y zonas.

Las etapas 4,5 y 6 se podrían hacer al mismo tiempo. El tamaño de las zonas y subzonas elegidas, así como el procedimiento de muestreo y número de observaciones de campo a realizar, dependerá de los objetivos propios del estudio.

studio (grado necesario de desagregación espacial de la información), medios disponibles y de las características propias del área urbana bajo estudio.

La utilización de este tipo de enfoque puede incluso reducir los costes económicos y de tiempo de ejecución del estudio, ya que dentro de la anisotropía general de distribución de usos del suelo urbano observable en el área urbana, existen zonas que presentan dentro de ellas distribuciones muy homogéneas. Para estas zonas se pueden obtener muestras representativas de la zona, cuyos resultados pueden ser generalizables a la totalidad de la zona a través de los oportunos coeficientes de expansión.

No parece que estén aún muy generalizados este tipo de estudios integrados de técnicas de fotointerpretación y muestreo al análisis urbano (21), aunque parecen muy sugestivas para futuros estudios.

Los indicadores cuantitativos de ocupación del suelo por usos del suelo urbano que más frecuentemente se incluyen en estudios de fotointerpretación completados con otras fuentes de información son: porcentajes de ocupación en superficie por usos del suelo urbano sobre total del suelo urbano, porcentaje de ocupación de superficie edificada en planta sobre su-

(21) Un estudio de este tipo fue llevado a cabo por la Northeastern Illinois Planning Commission (NIPC), en coordinación con la Chicago Area Transportation Study (CATS). Véase Northeastern Illinois Planning Commissions. *Metropolitan Planning Guidelines, Phase one: Background Documents, Land Use Report*, Chicago, 1965.

perficie ocupada por uso del suelo urbano, volumen edificado por superficie ocupada por uso del suelo urbano y densidad de población (empleo, vehículos) por superficie residencial (industrial, de servicios o de comunicaciones). El cómputo de algunos de estos indicadores es muy tedioso. Por ello se recurre a veces a procedimientos estadísticos o aproximativos, si la precisión requerida no es excesiva. Un buen ejemplo de técnica estadística sencilla para el cálculo de superficies edificadas sobre superficies de manzana, es el propuesto por el C.E.T.E., que puede ser generalizable para estimar la superficie ocupada por usos del suelo por manzanas (22). Un ejemplo de procedimiento aproximado para el cálculo de densidades de población es el propuesto por el C. R. U. (23), a base de claves de fotointerpretación verificadas que incluyen distintas tipologías de edificación residencial, trama viaria y densidad de ocupación y están referidas a distintos estratos de densidad de población.

2.2.3. Estudios de tráfico.

La fotografía aérea tiene aplicaciones interesantes a este tipo de estudios debido a que en parte puede proveer información que por otros procedimientos resulta muy cara de obtener, y en algunos casos prácticamente imposible. Los estudios de tráfico suelen requerir encuestas repetitivas en diversos días, horas del día e incluso intervalos cortos de tiempo, que pueden necesitar numerosos puntos de conteo y control mecánico o humano. Una parte considerable de este trabajo de campo puede ser sustituido por la ejecución de vuelos ajustándose a las características técnicas que requieran los análisis a efectuar. Asimismo, la fotografía aérea proporciona una

(22) C.E.T.E.: *op. cit.*, pp. 31-42.

(23) Muret, J. P.: «Eléments Constitutifs du Milieu Urbain», C.R.U.: *op. cit.*, pp. 145-147.

visión de conjunto, sintética, y muy expresiva de los problemas concretos de la circulación urbana.

La fotografía aérea tiene su aplicación más importante en este campo en la detección de las características cualitativas y cuantitativas de los flujos de tráfico. Por supuesto, el inventario de distribución espacial de usos del suelo urbano desarrollado por técnicas de fotointerpretación, puede ser una fuente de información para los estudios de generación de tráfico. Asimismo, la valoración de la red viaria desde el punto de vista de su estado, capacidades, distribución espacial de plazas de estacionamiento y posibilidades de nuevos trazados de viales en la estructura urbana, son estudios que, como ya se ha mencionado antes, pueden abordarse a través de la interpretación de fotografía aérea.

A través del análisis de la fotografía aérea se puede obtener información sobre los siguientes conceptos, referidos a los distintos segmentos de la red viaria bajo estudio (24):

- Número de vehículos estacionados.
- Número de vehículos en circulación en movimiento.
- Velocidades instantáneas.
- Velocidades medias.
- Distancias medias entre vehículos.
- Intensidades medias.

Es también de interés la información que se puede lograr a partir de la fotografía aérea sobre los fenómenos de congestión en tramos de la red específicos, su propagación y el análisis del comportamiento de los flujos de tráfico ante situaciones o casos concretos.

Dentro del estudio de los flujos de tráfico, se pueden distinguir tres tipos de estudios que corresponden a problemas diferen-

(24) Burger, A.: «Aspects Quantitatifs de la Circulation: Analyse Détailée», C.R.U.: *op. cit.*, pp. 191-192.

ciados en los que se puede utilizar fotografía aérea con eficacia:

- Estudios puntuales de intersecciones que presentan problemas específicos de congestión o circulación.
- Estudios lineales de arterias, carreteras o autopistas para el análisis del tráfico en sus distintos segmentos.
- Estudios de redes urbanas en su conjunto por sectores o mallas.

Los ejemplos que se incluyen a continuación son algunas experiencias norteamericanas y francesas, estas últimas desarrolladas en el Ministerio de Equipamiento y Vivienda (25).

A través de la fotografía aérea realizada para los estudios puntuales de tráfico se pueden detectar densidades, intensidades, velocidades de tráfico y direcciones, pudiéndose realizar gráficos de distribución y volúmenes de tráfico. Los vuelos se realizan a baja altura para conseguir fotogramas a escalas grandes (1:2.000) con recubrimiento estereoscópico, o también se emplean cámaras de registro fotográfico intermitente emplazadas en helicópteros sobre el mismo área de estudio.

Como estudio puntual de circulación es representativo el estudio realizado sobre la plaza de la Estrella, de París, que muestra las distancias recorridas por los vehículos entre dos fotogramas sucesivos en un momento de circulación fluida y en otro momento de circulación densa (fig. 9). Conocido el tiempo transcurrido entre la toma de los dos fotogramas por el reloj de control de los clichés, se puede calcular la velocidad instantánea de cada vehículo. Otro estudio interesante es el realizado sobre la zona de salida y distribuidor del Holland Tunnel en Nueva York para estudiar el uso realizado del nudo de distribución de

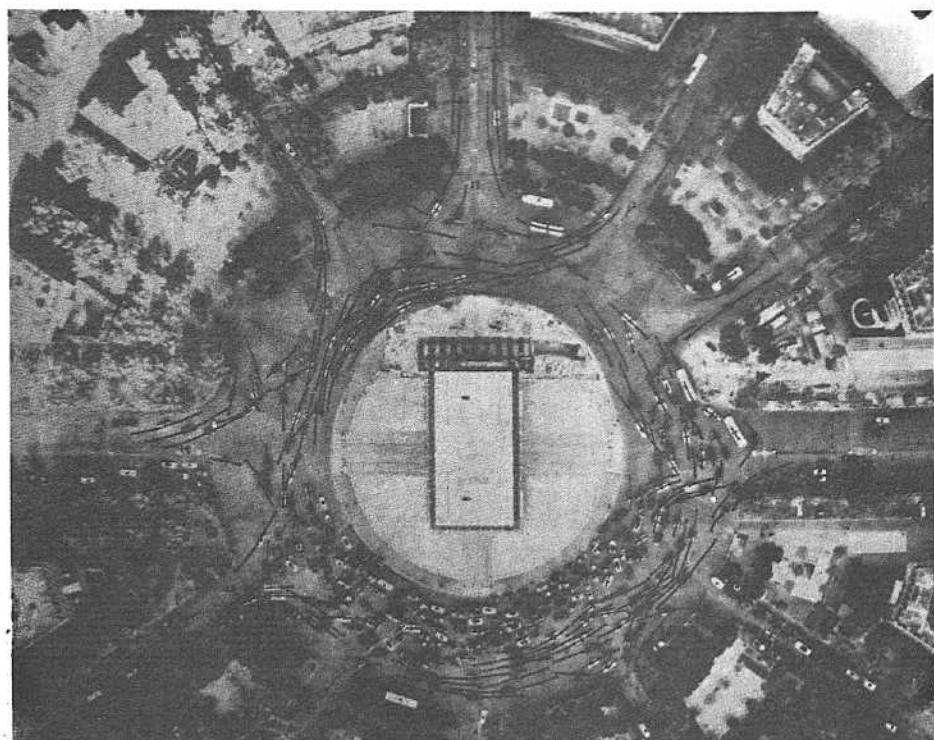
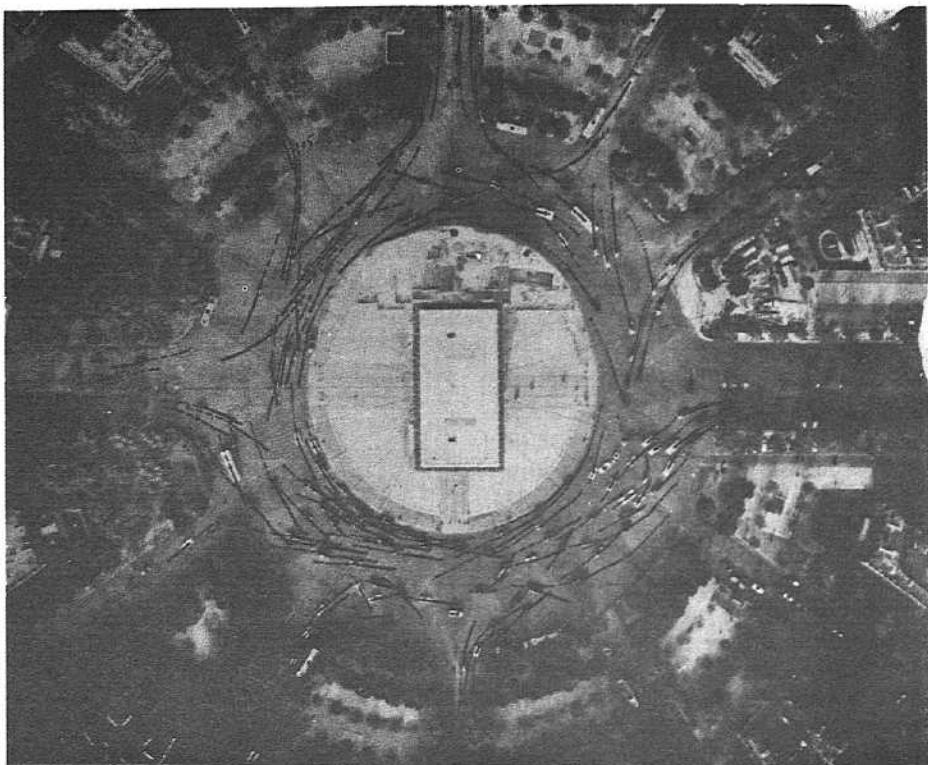


Figura 9.—Fotografías aéreas de la Plaza de la Estrella con circulación fluida y circulación densa. (C. R. U. *Photographie Aerienne et Urbanisme*, París, 1969, p. 192.)

(25) La información citada a continuación proviene de Manji, A. S.: *op. cit.*, y de Muret, J. P., y Burger, A.: «La Circulation Urbaine», C. R. U., *op. cit.*, cap. 14.



tráfico y los problemas de intersección de vehículos. A través del estudio, en la hora punta de las ocho y media, de fotografía aérea y su análisis, se realizaron modificaciones en las disposiciones de las vías de circulación, efectuándose posteriormente un nuevo vuelo para analizar la eficacia de las medidas adoptadas.

En los estudios lineales de ejes de circulación, la fotografía aérea puede proporcionar información semejante al caso anterior. Los fotogramas se realizan bien a escalas grandes (1:2.000) o a escalas intermedias (alrededor de 1:10.000), utilizando ampliaciones cuando hiciese falta, con recubrimiento estereoscópico, o empleando cámaras especiales de fotografía en banda continua siguiendo el eje de circulación estudiado.

Un estudio de este tipo es el realizado sobre la carretera nacional número 14, a su paso por la ciudad de Pontoise cercana a París. En él se estimaron las intensidades teóricas y horarias máximas en función de las velocidades medias observadas y las anchuras de calzada y estacionamiento para segmentos del eje de circulación, obtenidas a partir del análisis de la fotografía aérea. Dichas intensidades teóricas se contrastaron con las intensidades medias reales observadas en fotografía aérea para determinar los puntos críticos donde la intensidad media real se acerca de la máxima teórica (figura 10). Asimismo se realizó un estudio de la rotación de vehículos estacionados en la zona central de la ciudad.

Recientemente se han realizado algunos estudios de interés sobre los fenómenos de congestión y comportamiento de flujos de tráfico en autopistas, utilizando fotografía aérea. Wagner y May realizaron un estudio sobre la naturaleza de las distribuciones de densidades de tráfico en los distintos tramos de una autopista en distintos momentos separados por intervalos cortos de tiempo. Las densidades de tráfico se estimaron mediante contejo de vehículos en

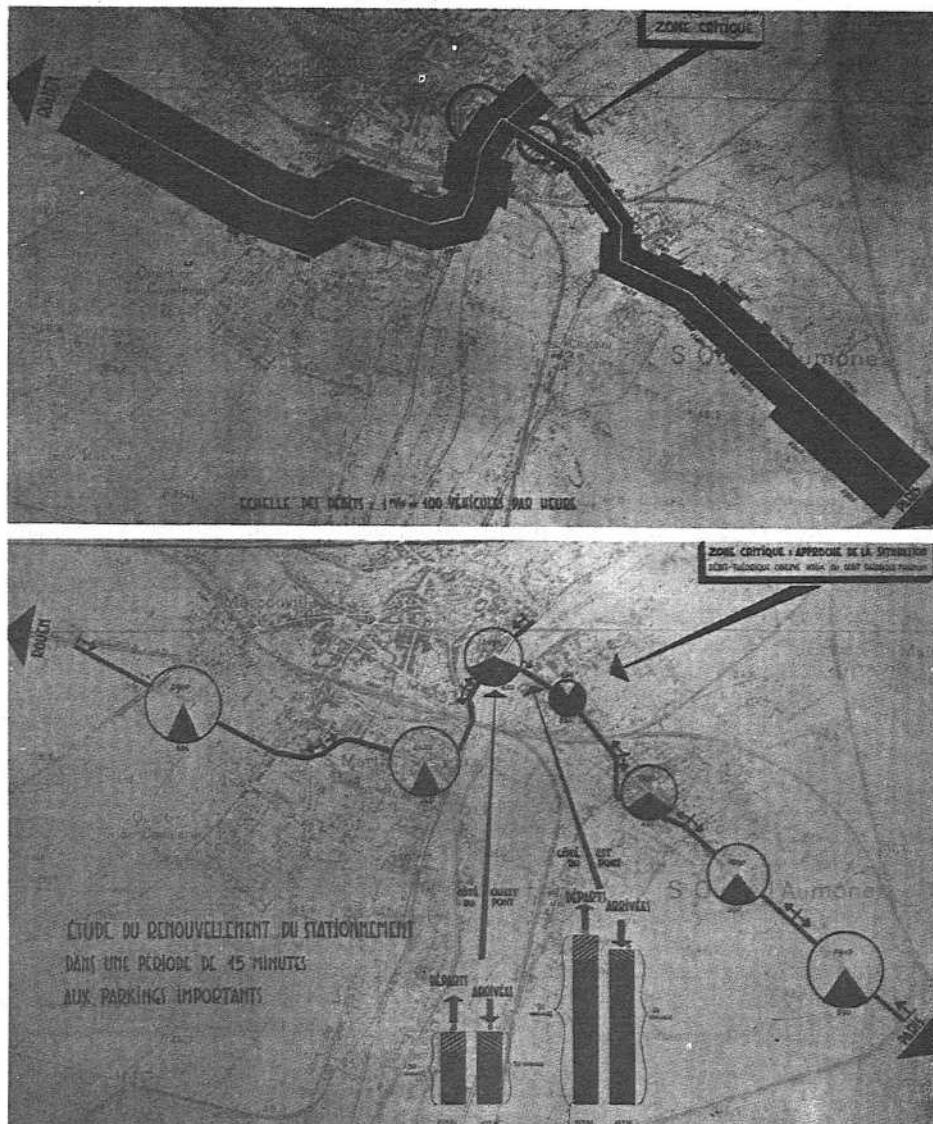


Figura 10.—Estudio lineal sobre la carretera nacional francesa n.º 14 a su paso por Pontoise. Cálculo de intensidades máximas teóricas (diagrama superior) y de intensidades medias reales y rotación de vehículos estacionados en el casco urbano, utilizando técnicas de foto-interpretación (diagrama Inferior). Los círculos expresan para cada tramo de la carretera, la proporción entre Intensidades máximas teóricas y las intensidades medias reales observadas (sectores en negro). (C. R. U. op. cit. p. 197)

sectores de cada tramo por foto-interpretación de la fotografía realizada en intervalos cortos de tiempo. Los valores de densidades para cada tramo e intervalo se representaron en unas coordenadas de distancia y tiempo y se obtuvieron curvas de isodensidad que representan gráficamente la distri-

bución y propagación de la congestión de tráfico.

Otro estudio de interés es el realizado por Treiterer y Taylor sobre estudio de la separación de vehículos, velocidades en autopista e impacto sobre el flujo de tráfico de un comportamiento prede-terminado de un coche-piloto in-

troducido en el tráfico. En este caso la información se obtuvo mediante la fotografía aérea realizada desde un helicóptero en intervalos fijos de tiempo, siguiendo la ruta del coche piloto. Este parece ser el primer estudio que provee información de interés para comprobar algunas de las teorías existentes de comportamiento de flujos de tráfico (26).

Para los estudios de redes urbanas se suelen realizar varios vuelos efectuados sobre las zonas bajo estudio en los períodos correspondientes a hora punta diarias o semanales y varias pasadas efectuadas en intervalos regulares durante dichos períodos. Las fotografías suelen variar entre 1:5.000 y 1:10.000, aunque se suelen realizar ampliaciones para facilitar la interpretación hasta escalas aproximadas de 1:2.000.

En la zona central de la ciudad de Orléans se realizó un estudio general de circulación y estacionamiento para conocer la distribución de vehículos en los períodos de máximo estacionamiento, mínima circulación y circulación local máxima de la semana. La información básica para dicho estudio fueron tres vuelos de una sola pasada efectuados durante dichos períodos con fotografía a escala 1:7.000 y recubrimiento estereoscópico. La información numérica obtenida por tramo de la red urbana se sintetizó en gráficos mostrando la distribución de vehículos estacionados y la circulación, velocidades medias, intensidades instantáneas de tráfico, así como las distintas fases de la circulación. Es un buen ejemplo de estudio sencillo de tráfico, que sin embargo proporcionó resultados interesantes con un bajo costo de ejecución.

En Norteamérica se han realizado diversos estudios de tráfico utilizando fotografía aérea como fuente básica de información. Un estudio de interés, por su sencillez, es el de la determinación de zonas con problemas de circulación.

Para ello se realiza un vuelo sobre la zona a estudiar con una serie de pasadas en intervalos regulares de tiempo sobre la misma zona. Para cada pasada y tramo de red se determinan el número de vehículos en circulación parados y el número de vehículos en circulación en movimiento. Dicha información se trascibe a una retícula de referencia para cada intervalo de tiempo. Esta información localizada geográficamente se puede expresar mediante curvas de isodensidad de tráfico para cada período o mediante una tabla de resultados del tipo de la figura 11, si los datos son tratados con ordenador. Fácil es de comprender que mediante la comparación

de las distintas tablas correspondientes a los períodos de estudio, se tiene una representación de la evolución y propagación de situaciones congestivas de tráfico.

Entre los estudios más completos de tráfico utilizando fotografía aérea parece estar el realizado por T. R. Wilson sobre el centro de Frederictown en Canadá. Para él se utilizaron fotografías aéreas a escala 1:5.000 provenientes de varios vuelos distribuidos en función de las intensidades horarias de tráfico diario. El interés del trabajo radica en que también se realizó una labor de campo de registro de volúmenes de tráfico sincronizada con la de ejecución de fotografía aérea. El objeto de ello

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	TOTAL	
A	000 0CC	000 0C1	0003 0108	006	003	CC1	003 CC8	002 CC9	000 001	000 0108	000 002	CC3 001	000 001	15 54
B	000 000	000 0C0	0C2 0C8	000 004	007	CC2	000 006 014 0110	002 001 009	CCC 003 001 009	003 001 009	003 001 001	CC2 000 0110	000 001	21 74
C	000 000	CC1 003	002 008	001 CC7	005	CC1	000 004 0108	003 006 005	000 003 003	000 003 004	CC7 000 002	CC0 003	000 002	19 66
D	000 000	000 005	001 003	003 009	CC6	000 003	CC2 008	001 003	000 014 0170	000 001 004	001 001 004	CC1 000 004	CC1 000	23 76
E	000 001	000 0C4	001 004	001 003	CC4	000 005 006 0170 0110 0110	000 003 002 008 008 008	000 006 005 008 008 008	000 003 002 008 008 008	000 003 002 008 008 008	000 003 002 008 008 008	CC7 000 006 000 000 000	000 001 006	46 125
F	000 000	CC2 005	001 007	002 008	CC5	003 006	002 007	001 007	000 003 003	000 007 007	000 001 007	CC5 000 0170 0180	007 001 005	32 102
G	000 002	000 002	000 0C3	003 007	CC4 0120	004 005	001 002	000 007	000 006	000 001	000 001	CC0 0108 0280 0150	004 0130 000	24 90
H	0C1 007	000 001	000 004	001 008	CC2	002 006	001 001	003 006	001 006	001 005	002 004	CC0 000 001 001 001	0011 0200 0000	21 70
J	**** *016* *027* *****	003 0C8	0C0 0C4	002 008	CCC CC4	000 001	CC2 004	000 006	000 0108 0108	000 001 005	000 001 004	CC2 000 005 000	000 003	26 84
K	000 005	001 0C6	000 003	00075 0145	000 004	000 004	000 003	000 009	000 002	000 004	000 004	CC0 000 002	000 000	13 54
L	000 002	002 006	001 007	000 007	CC3	000 005	002 006	000 003	000 006	000 003	000 006	CC0 000 000	000 000	5 45
M	000 000	CC2 0C8	001 0C6	001 004	CC4	000 004	000 003	CCC 003	000 003	000 003	000 000	CC0 000 000	000 000	4 32
N	000 000	0C1 002	000 004	005	CC4	000 008	000 003	CCC 000	000 000	000 000	000 000	CC0 000 000	000 000	1 26

Figura 11.—Tabla de resultados sintéticos en retícula de referencia regular, incluyendo número de vehículos en circulación parados y en circulación en movimiento en la infraestructura de transportes de una zona de Manhattan. (Jordan, T. D. «Sky Count of Traffic Congestion and Demand» *Traffic Engineering and Control*, 8, 1965. páginas 312-315.)

fue que ambas fuentes de información se complementasen para la realización de análisis de tráfico y, por otro lado, de que existiese una base de contraste entre ambas fuentes. Así, aparte de los análisis realizados del tipo anterior, se pudo realizar una estimación del origen y destino de los vehículos, sin necesidad de encuesta a los automovilistas. Por otro lado, en la comparación de resultados numéricos de ambas fuentes, el error observado resultó inferior al 10 por 100.

2.3. Estudios realizados por interpretación directa.

Dada la mayor complejidad de este tipo de estudios, los análisis realizados por interpretación asociativa requieren una metodología más complicada que la que fue expuesta anteriormente con carácter general. Moore y Wellar distinguen cuatro etapas características de estos estudios (27):

- Identificación de aquellos elementos que se pueden observar en la fotografía y que están asociados de forma consistente con los fenómenos que interesa analizar.
- Obtención de medidas adecuadas para los elementos observados en la fotografía.
- Establecimiento de una relación cuantitativa entre elementos observados en la fotografía y los fenómenos bajo análisis.
- Comprobación de la consistencia y la fiabilidad de esta relación en varios casos.

Este tipo de estudios ha sido menos desarrollado que las aplicaciones por interpretación directa, aunque en la actualidad son objeto de un considerable volumen de investigación, en particular, empleando otros sensores remotos

que la fotografía aérea pancromática. Entre las aplicaciones realizadas hasta el presente, utilizando fotografía pancromática, destacan por su número aquellas relacionadas con la detección de determinadas características residenciales y socioeconómicas del área urbana, a las cuales se dedican los dos próximos apartados.

Entre las muchas otras posibles aplicaciones que se pueden hacer de estudios por interpretación directa, es interesante el tipo de aplicación realizado en Nancy para la estimación de valores relativos del suelo (28), realizada apoyándose en información obtenida a través de la fotointerpretación. Los aspectos estudiados por fotointerpretación fueron la delimitación de sectores homogéneos de la trama urbana, la estimación del porcentaje de suelo edificado y el cálculo de curvas isócronas a partir del centro urbano. Esta información fue utilizada con una relación cuantitativa, basada en la hipótesis de que los valores del suelo varían en función directa del porcentaje del suelo edificado y en función inversa la accesibilidad al centro, para la estimación de las curvas isovalores del suelo. La comparación de la información obtenida por este procedimiento, fue contrastada con información de valores del suelo, obtenida de forma directa, siendo los resultados bastante similares en cuanto a los grandes rasgos de distribución espacial de los valores (figura 12).

2.3.1. Características residenciales.

Dentro de los estudios sobre características residenciales que utilizan este tipo de métodos, se distinguen dos tipos de aplicaciones concretas: el cálculo del número de viviendas y estimaciones sobre la calidad de la vivienda. El primer tipo de análisis se lleva

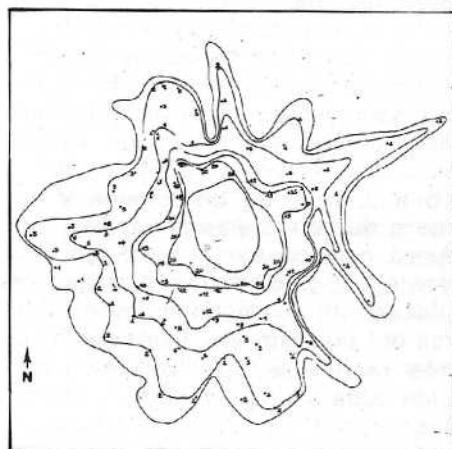
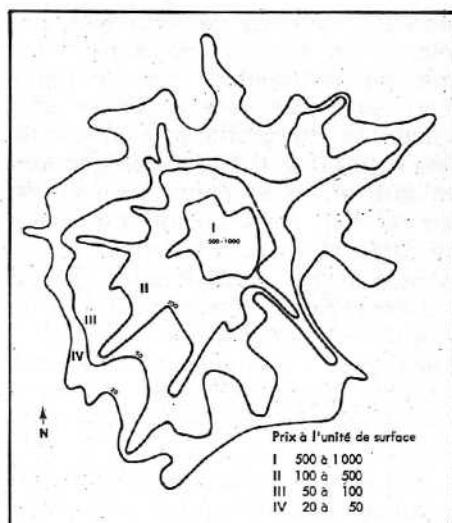


Figura 12.—Estimación de valores relativos del suelo en Nancy. A la derecha, curvas isoprecio del suelo obtenidas por tomadirecta de datos, y a la izquierda, curvas relativas isoprecio del suelo realizadas utilizando información obtenida por fotointerpretación. (C. R. U. op. cit., página 206)

realizando desde hace tiempo a través de fotointerpretación, aunque de una forma poco sistemática y controlada (29). En términos generales, se realizaba distinguiendo las zonas de usos del suelo de vivienda unifamiliar de las de viviendas multifamiliares, y en estas últimas, estimando el número de alturas o pisos de los edificios residenciales, el número de portales, la superficie en plantas del

(27) Moore, E. G., y Wellar, B. S.: *multiband Photography and Urban Data Collections: Some Comments on Applied Research*. Department of Geography, Northwestern University, Evanston, Illinois, 1968.

(28) Burger, A.: «Etude des Valeurs Foncières Relatives», C. R. U.: op. cit., cap. 15.

(29) Véase, por ejemplo, Huybens, R. A.: op. cit.

edificio, número de viviendas por planta en función de superficies medias estimadas por vivienda. Para este tipo de análisis es adecuada la fotografía a gran escala (de 1:2.000 a 1:5.000) con recubrimiento estereoscópico, para visión en relieve. También es conveniente fotografía con gran angular para aumentar las posibilidades de determinación del número de plantas de los edificios residenciales. Para este fin puede ser de gran utilidad la ejecución de fotografía oblicua de las zonas urbanas bajo estudio.

Sin embargo, se han realizado algunos estudios para establecer métodos más rigurosos y exactos para la estimación de viviendas a partir de fotografía aérea, comprobando su precisión (30). En general están basados en la aplicación sistemática de claves de fotointerpretación preestablecidas, tales como divisiones de tejados y número de chimeneas por tejado, número de accesos, disposición de ventanas, número de plantas, de plazas de estacionamiento, forma del edificio, etc. Las estimaciones realizadas por fotointerpretación ajustándose a dichas claves fueron contrastadas con muestras obtenidas por labor de campo o datos censales. A través de esta comprobación se detectó una tendencia sistemática a infraestimar el número total de viviendas, que variaba del 7 por 100 (Green) al 13 por 100 (Binsell). En particular, en los tres estudios se comprobaron los siguientes errores sistemáticos:

— El número de viviendas unifamiliares se sobreestima utilizando fotointerpretación.

(30) Binsell, R.: *Dwelling Unit Estimation from Aerial Photography*. Department of Geography, Northwestern University, Evanston, Illinois, 1967; Green, N. E.: «Aerial Photographic Interpretation and the Social Structure of the City». *Photogrammetric Engineering*, núm. 23, 1957; Hadfield, S. H.: *An Evaluation of Land Use and Dwelling Unit Data Derived from Aerial Photography*, Chicago Area Transportation Study, Chicago, 1963.

— El número de viviendas multifamiliares se infraestima utilizando dicha técnica.

La observación de estos errores de forma sistemática es interesante, pues permite aplicar factores de corrección a las estimaciones iniciales de ambos tipos de vivienda para lograr mejorar los resultados. Utilizando dichos factores, Hadfield y Binsell llegaron a conseguir errores netos totales de 0,4 y 1,97 por 100 de infraestimación, que son resultados de gran exactitud contrastados con el error neto total del 2 por 100 estimado para el Censo estadounidense de 1960 (31).

Por estas razones, parece que la estimación del número de viviendas es una de las aplicaciones de la fotointerpretación que mayor interés puede tener para el análisis comparativo entre las diversas zonas residenciales de un área urbana. En el estudio realizado por Green en la ciudad de Birmingham, Alabama, la correlación entre la ordenación de mayor a menor número de viviendas por manzana, de un grupo de manzanas residenciales, realizada por fotointerpretación y toma directa de datos, fue casi perfecta (el coeficiente de correlación de rango de Spearman entre ambos conjuntos de datos resultó de 0,988).

Una de las posibles aplicaciones de la interpretación aérea que está siendo investigada en la actualidad es la estimación de la calidad de la vivienda en zonas residenciales (32). Mientras las caracterís-

(31) Manji, A. S.: *op. cit.*, p. 24.

(32) Marble, D. F., y Horton, F. E.: «Extraction of Urban Data from High and Low Resolution Images», *Proceedings of the sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1969; Moore, E. G.: «Application of Remote Sensors to the Classification of Aerial Data at Different Scales: A Case Study in Housing Quality», *Remote Sensing of Environment*, I, marzo 1970; Weller, B. S.: «Utilization of Multiband Aerial Photographs in Urban Housing Quality Studies», *Proceedings of the Fifth Symposium on Remote Sensing of Environment*, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 1968.

ticas físicas estructurales de la vivienda (edad, estado estructural, de paredes, cimientos, instalaciones) no son en general posibles de ser determinadas a través del análisis por fotografía aérea, existen otras variables del tipo ambiental de la zona (estado y mantenimiento de calles, aceras, existencia de basuras, de vegetación, de iluminación, existencia de actividades molestas o incompatibles con usos residenciales), que se pueden detectar a través de su examen. Se ha tratado de estudiar si las variables ambientales están correlacionadas con las estructurales. En estudios realizados por Moore en Los Angeles, encontró que sí existía una asociación estadística entre ambos tipos de variables, y particularmente con las variables ambientales de mantenimiento y existencia de usos incompatibles con los residenciales, considerando la información referida al nivel de manzana. Weller formuló conclusiones similares en un estudio realizado en Chicago. Si la generalización de este tipo de conclusiones se comprueba en otras regiones y países, podría ser un método práctico, rápido y barato de obtener una primera estimación de la calidad de viviendas.

2.3.2. Características socioeconómicas.

Entre los estudios socioeconómicos de tipo espacial en el área urbana, que utilizan métodos de fotointerpretación indirecta, destacan dos tipos de aplicaciones: aquellas cuyo objetivo es la detección de las zonas urbanas deprimidas o de pobreza, y aquellas que tratan de detectar los diferentes grupos socioeconómicos de población residente en el área urbana.

Un estudio del primer tipo es el realizado por Munbower y Donoghue para delimitar las zonas de pobreza urbana en varias áreas urbanas estadounidenses que constituyen un conjunto bastante representativo del total de ciudades

de dicho país (33). La fotografía utilizada era pancromática y en color a varias escalas (de 1:30.000 a 1:8.000). Mientras la fotografía a pequeñas escalas fue de utilidad para la delimitación de grandes áreas de usos homogéneos y la trama de comunicaciones, fue la fotografía a escalas intermedias la más adecuada para la detección de las áreas de pobreza, y en particular la fotografía en color para precisar las delimitaciones de zonas de pobreza. Las características estudiadas por fotointerpretación fueron aspectos estructurales o ambientales, tales como el estado de las calles y aceras, existencia de basuras, deterioro de la estructura de la edificación, existencia de zonas de almacenaje y pequeña industria. El estudio menciona que al contrastar esta información con la correspondiente del Censo, se encontró una correlación considerable, aunque el estudio no proporciona los datos concretos sobre esta comprobación.

Como ejemplo del segundo tipo de estudio, puede servir la investigación sobre la «topografía social» de una manzana en Auxerre (34). El estudio trataba de detectar la distribución espacial de la población en grupos socioeconómicos por parcelas catastrales en una manzana de la periferia de la ciudad, a través del análisis de la fotografía aérea y en función de unas hipótesis de partida. Conocidos los datos agregados por categorías profesionales del Censo de 1962 para la mencionada manzana, se agregaron éstos en tres grupos que se supuso corresponderían a una tipología residencial de características relativamente similares: 1.º, profesiones liberales, patronos, cuadros; 2.º, empleados y obreros, y 3.º, otras actividades.

La información recogida fue obtenida sobre fenómenos fácilmente detectables por fotointerpretación

a escala de la parcela catastral, como unidad de observación: superficie de la parcela, porcentaje de jardín existente en la parcela y situación de la parcela respecto a las vías de tráfico. Las hipótesis de partida fueron realizadas sobre las características residenciales estimadas para cada uno de los grupos definidos, en función de su diferente poder adquisitivo: por ejemplo, se supuso que los patronos, cuadros o individuos de profesiones liberales ocuparían parcelas mayores, con un porcentaje de superficie de jardín más elevado que los empleados u obreros, así como que sus viviendas estarían localizadas preferentemente en vías principales. Con los criterios así establecidos, se ordenaron las parcelas por rango de mayor a menor para los tipos de información recogida. Posteriormente, se estableció un índice sintético como suma de los respectivos rangos con que cada parcela fue calificada, asignando después éstas a los grupos definidos en función de las hipótesis de partida. Por último, se realizó una comprobación de campo, que sensiblemente confirmó los resultados obtenidos.

Aunque la investigación realizada en concreto es excesivamente simplista y aplicada a una zona muy reducida, puede servir de ejemplo del tipo de estudios sociométricos que se pueden realizar utilizando información obtenida por fotointerpretación. Al igual que los estudios sobre calidad de vivienda, la aplicación a zonas más extensas del área urbana, la consideración de la manzana quizás como unidad de agregación, y la inclusión de un mayor número de variables detectables por fotointerpretación, puede conducir al planteamiento de un análisis de regresión múltiple, en el cual se estime la categoría socioeconómica agregada de los residentes de la manzana, como variable dependiente de las variables detectadas por fotointerpretación.

Uno de los estudios más completos de este tipo que se han

realizado hasta el momento actual es el análisis de la estructura social urbana en Birmingham, Alabama, realizado por Green y ya citado anteriormente (30). En esencia el método consiste en el estudio de correlación entre información sociológica e información observable a través del análisis de fotografía aérea. La información detectada por fotointerpretación correspondía a los siguientes conceptos:

- Localización del área residencial en relación con tres zonas concéntricas del área urbana (definidas en función de los usos urbanos existentes y de la morfología particular de la ciudad).
- Descripción del área residencial en términos de los usos del suelo existentes o periféricos (teniendo en cuenta aspectos tales como la mezcla de usos del suelo, calidad de la edificación, existencia de servicios y vegetación, estado de la pavimentación, etc.).
- Predominio de vivienda unifamiliar.
- Densidad de vivienda (media de viviendas por manzana).

Para estas categorías de información se establecieron tres calificaciones cualitativas, tales como «alta», «media» y «baja», en términos de la idoneidad residencial estimada. Así, por ejemplo, se calificaron las zonas según que el predominio de viviendas unifamiliares fuese alto, intermedio o bajo, e inversamente la densidad de vivienda fuese baja, media o alta.

Con las variables sociológicas elegidas, se desarrolló una escala de «status» socioeconómico, y a través de las variables descritas anteriormente, se estructuró una escala de idoneidad residencial, utilizando las técnicas de análisis ordinal de Guttman. El análisis de correlación entre ambas escalas en el caso bajo estudio, mostró que la escala de idoneidad residencial describía el 78 por 100 de la variación existente en la escala de «status» socioeconómico.

(33) Munbower, L. E., y Donoghue, J.: «Urban Poverty Study», *Photogrammetric Engineering*, núm. 33, 1967.

(34) Muret, J. P.: «Les Sciences Humaines», C. R. U.: *op. cit.*, cap. 13.



Como se puede observar a través de este último estudio, conviene actuar con precaución a la hora de generalizar metodologías de análisis por observación indirecta, y en particular en estudios de la estructura social urbana. Por un lado, las simplificaciones de análisis, como en este último estudio, pueden ser excesivas para identificar fenómenos que dependen de una gama de variables mucho más compleja, y que generalmente no son detectables en la fotografía aérea. Por otro lado, las variaciones de hábitos, costumbres y valores entre las sociedades de distintos países, e incluso regiones, implicarán cambios sustanciales en las relaciones establecidas entre variables detectadas por fotointerpretación y variables descriptivas de fenómenos que se pretenden analizar.

3. CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio se han enumerado una gran variedad de aplicaciones que ofrece la interpretación de fotografía aérea panchromática a diversos aspectos del planeamiento urbano. El desarrollo de dichas aplicaciones no ha sido aún agotado y constituye un motivo de mayor interés en un país como España, donde apenas se han aplicado estas técnicas en estudios o casos concretos de planeamiento urbano, y donde la información disponible para el planeamiento deja aún mucho que desear.

Además de la visión integral del área urbana que proporciona la fotografía aérea, y de ventajas tales como su riqueza de información latente, objetividad de contenido, aptitud para estudios comparativos y múltiples o integrados, la fotointerpretación puede proporcionar información sobre aspectos de interés específico para el planeamiento que no estén incorporados en archivos existentes de información, tales como características fisiográficas del territorio, aspectos ambientales y paisajísticos y morfología urbana. El uso de información obtenida por fotointerpretación complementada con información procedente de archivos existentes o labor de campo específica, planteadas con técnicas muestrales, puede reducir de forma considerable en tiempo y recursos necesarios, las labores de información y análisis en estudios de tráfico y usos del suelo urbano. Asimismo, a través del empleo de la fotointerpretación aérea, se pueden realizar estimaciones válidas a efectos de planeamiento de aspectos tales como recuento de número de viviendas o delimitación de zonas socioeconómicas en el área urbana, siempre que estas aplicaciones se desarrollen con el suficiente rigor y consideración de factores implicados.

Finalmente, el tipo de aplicación descrito de las técnicas de fotointerpretación a los procesos de planeamiento continuo y a los aspectos concretos de la gestión urbana, hacen muy adecuadas este

tipo de aplicaciones a la problemática y necesidades que dichos procesos implican. En particular, las nuevas figuras y concepciones de planeamiento que propugna el Proyecto de Reforma de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana, dentro del enfoque metodológico del planeamiento continuo (35), e incorporando un interés manifiesto por los problemas ambientales, plantean la necesidad de acudir a métodos de detección de la evolución del sistema ambiental urbano, entre los cuales puede ser de gran utilidad el análisis de fotografía aérea, realizada con la suficiente periodicidad. Teniendo en consideración todos estos aspectos, unidos al gran desarrollo actual de experimentación en la interpretación de imágenes procedentes de diversos sensores remotos y plataformas aéreas, es previsible un considerable desarrollo de este tipo de técnicas y aplicaciones en España en los próximos años.

(35) «Los Planes Generales de Ordenación se conciben ahora como planes abiertos, sin plazo de vigencia fijo, evolutivos y no homogéneos, que permitan, de una parte, la incorporación de imprevistos, la asimilación del margen de imprevisibilidad para exigencias nuevas o cambiantes... un desarrollo eventual» (fórmulas de urbanismo concertado), «cuya forma de manifestarse influirá en la evolución posterior del plan y obligará a su corrección y reajuste», Ministerio de la Vivienda: *Proyecto de Ley de Reforma de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana*, Madrid, noviembre 1972, p. 10.