

## Caso práctico

# Desagregación del volumen de población a partir de la imagen de satélite con Sistema de Información Geográfica y Procesamiento Digital de Imágenes

A. Martínez Serrano

*Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM. México. DF*

---

### Resumen

Las Tecnologías de la Información Geográfica desarrollan diversos campos de investigación, entre ellos la gestión de la información referente a variables socio-demográficas, lo que permite el tratamiento de problemáticas sociales desde otra perspectiva de análisis. La desagregación espacial de estas variables mediante la técnica del Procesamiento Digital de Imágenes y los Sistemas de Información Geográfica es nuestro objetivo. El método consiste en trasladar información demográfica distribuida en unidades administrativas (unidades censales) a unidades del espacio geográfico (tramas urbanas de diversa densidad edificatoria), mediante la interpolación areal ponderada, partiendo de la densidad demográfica de las áreas homogéneas residenciales obtenidas por la interpretación visual de la imagen de alta resolución Quickbird. Se obtuvo la desagregación del volumen total de la población a partir de la diferenciación del uso urbano en los consejos populares; Cojimar, Alturas de Alamar, Alamar Este y Alamar Playa. Se realizó el control de los resultados obtenidos.

**Palabras claves:** desagregación espacial, volumen de población, imágenes, teledetección.

### Abstract

#### Population volume disaggregation from satellite images using GIS and digital image processing

The Geographic Information Technologies develop different research areas, including the management of information relating to socio-demographic variables, allowing treatment of social problematic from a different perspective of analysis. The spatial disaggregation of these variables using the technique of Digital Image Processing and Geographic Information Systems is our objective. The method consists of transferring demographic information distributed into administrative units (census units) to units of geographic space (urban grids of diverse building density) by the weighted areal interpolation, based on the population density of homogeneous residential areas obtained by visual interpretation of high resolution Quickbird image. We obtained the breakdown of total population from urban use differentiation in the popular councils; Cojimar, Alturas de Alamar, Alamar Este y Alamar Playa. Control was performed on the results obtained.

**Key words:** spatial disaggregation, population size, images, remote sensing.

---

\* Autor para la correspondencia: ayetsa.martinez@gmail.com

Recibido: 30-04-13; Aceptado: 20-11-13.

## Introducción

La información proveniente de sensores remotos y específicamente de las imágenes de alta resolución poseen un valor científico importante para los investigadores en diversas temáticas, entre ellas los estudios urbanos. En las últimas décadas se ha ido incrementando el uso integrado de la Teledetección aérea espacial y los Sistemas de Información Geográfica convirtiéndose en herramientas muy útiles para la gestión y ordenación de los territorios de las áreas urbanas. Esto es de especial interés en aquellos países donde la reducida disponibilidad de este tipo de información en formato digital para todos los decisores locales dificulta la adecuada planificación de los espacios urbanísticos, que generalmente se caracterizan por su continua expansión de forma espontánea, debido a varias causas como el excesivo aumento demográfico y también las ventajas que ofrecen las ciudades capitales a diferencia de los espacios rurales. Dentro de este contenido, estas dos herramientas permiten la generación, tratamiento, almacenamiento y seguimiento de aspectos esenciales para gestión urbana, a costos relativamente bajos.

En el contexto de los estudios urbanos, Casas & Chuvieco (1987) revisan dos grupos de aplicaciones bien diferenciadas en el medio urbano utilizando como base el sensor MSS. En el primero, se encuentran aquellos intentos de delimitar exactamente el área ocupada por la ciudad, tanto con vistas a actualizar los límites censales (Dietrich & Lachoswsky, 1978), como para estudiar el crecimiento urbano (Carter & Stow, 1979; Jensen & Toll, 1982). Los problemas más importantes surgen en las zonas residenciales suburbanas, por cuanto acogen respuestas intermedias entre el sustrato vegetal y los materiales en construcción. Este problema conduciría a utilizar otros sensores auxiliares al MSS, como es el caso del radar o las imágenes térmicas según declaran los autores. De conjunto se citan en este mismo trabajo a otros autores que han determinado que en ocasiones se emplea además la fotografía aérea, tanto como elemento adicional de la información como fuente de referencia para contrastar los resultados. Un segundo grupo de trabajos se conduce hacia el cálculo de volumen de población ur-

baña. Para ello, normalmente, se correlaciona la población con la superficie edificada, deduciendo un modelo de regresión que pueda servir para estimaciones intercensales.

De acuerdo a otra autora, Molina (2005), se han realizado importantes progresos en la estimación de variables socioeconómicas a partir de imágenes de satélite, como: el ingreso medio por familia, la edad de las construcciones y la densidad de construcción. En un estudio sobre Sidney (Froster, 1993) se demostró que el valor promedio de las construcciones puede ser predecible a partir de datos MSS. En la misma línea Dudley-Murphy (1990) encontró que se podía obtener información de niveles de ingreso usando imágenes SPOT; para ello se establecieron correlaciones entre los diferentes tipos de residencias y el ingreso medio de la población residente en éstas, para la ciudad de México. Otros autores como Weber & Hirsch (1992) utilizan de manera integrada imágenes SPOT, HRV y XS, en la extracción de información cartográfica de los usos del suelo e información censal (población, empleo y vivienda) en ocho pueblos de la comunidad urbana de Estrasburgo, para obtener algunos índices relacionados con la calidad de vida de la población. De esta manera, demostraron que la calidad del paisaje urbano puede ser caracterizada y cartografiada con un detalle que no es posible utilizando únicamente información del censo. Integrando la mencionada información y aplicando tratamientos de análisis multivariante (correlación, regresión y análisis factorial) lograron obtener los siguientes índices: características de la edificación, atracción de las áreas residenciales en función de la proporción de áreas verdes y de repulsión en función de la proporción de áreas industriales y comerciales.

Especialistas del tema como Lo (1995), desarrollan varios métodos para extraer información de unidades de población y vivienda utilizando de manera integrada información proveniente de imágenes multiespectrales SPOT y técnicas de SIG. Los métodos fueron desarrollados para la ciudad de Hong Kong, caracterizada por una alta densidad de población y usos urbanos mezclados en estructuras multifuncionales. Los métodos incluyen diferentes formas de modelos de regresión compa-

rando los valores de radiancia de los píxeles de las imágenes con densidades de población y vivienda. Los resultados demostraron que es posible establecer relaciones directas entre estos dos elementos a nivel general. Sin embargo, a nivel de detalle, la precisión de los modelos es menor debido a la dificultad de discriminar, con imágenes, los usos residenciales de los no residenciales en las estructuras multifuncionales. A pesar de los beneficios que se logran al integrar información proveniente de varios sensores, no es menos cierto que la mayoría de los algoritmos de clasificación multiespectrales píxel a píxel son incapaces de producir la precisión requerida para la planificación urbana y local, tal y como lo demuestran los trabajos realizados por Froster (1980), Milazzo & DeAngelis (1984) y Toll (1985), citados en Molina (2005). En este sentido, las tendencias recientes integran información proveniente de imágenes de satélite con la derivada de un SIG, a fin de lograr clasificaciones más precisas. El uso de la información contenida en un SIG permite guiar las clasificaciones digitales con mayor exactitud. Con lo visto anteriormente se puede concluir que el uso de fotografías aéreas y de imágenes de satélite de forma alterna ha contribuido al desarrollo de al menos, tres familias de métodos:

— El primero trata sobre la relación existente entre la superficie de la mancha urbana y la población total de una ciudad. Estos métodos están basados en la aplicación de modelos matemáticos, en los cuales se relaciona superficie y población.

— Una segunda familia de métodos toma en cuenta las diferencias internas de la ciudad. En ellos los análisis se realizan, por ejemplo, de acuerdo a los tipos de barrios, definidos según criterios morfológicos. Las fotografías aéreas y las imágenes de satélite son utilizadas de forma alterna para determinar la superficie ocupada por cada tipo de barrio.

— Una tercera familia de métodos se basa en la hipótesis de que existen relaciones entre las características morfológicas del medio urbano y las características demográficas y socioeconómicas de sus habitantes. Estos métodos utilizan de forma exhaustiva la información proveniente de las imágenes para obtener, por muestreo, las características relativas a las po-

blaciones urbanas. La idea principal es utilizar la imagen de satélite como base de sondeo y explotar la información sobre la morfología urbana, a fin de establecer las áreas muestra sobre las cuales aplicar una encuesta con objetivos demográficos y socioeconómicos.

Son innumerables las citas bibliográficas que hacen referencia a distintas aplicaciones del Procesamiento Digital de Imágenes con la integración de los Sistemas de Información Geográfica en ámbitos urbanos; estimación de la población, cuantificación de cambios, estimación de la densidad de edificación, detección de asentamientos urbanos y rurales, evaluación de impactos producidos por la actividad humana. También se ha utilizado la información exhaustiva que proporciona la fotografía aérea o imagen espacial de alta resolución para recoger rápidamente, por muestreo, los datos relativos a las poblaciones urbanas, para actualizar el total de habitantes de una ciudad que ha sido anteriormente objeto de un censo de población. Dentro de esta temática la aplicación de las Tecnologías de la Investigación Geográfica nos da la disponibilidad de obtener variables diversas referentes a fenómenos físicos y humanos espacialmente georeferenciados. Es por ello que se convierte en una herramienta eficaz para la gestión de información con varios componentes sociales, económicos y físicos.

El objetivo del proyecto que se presenta en este artículo es la realización de la transferencia del volumen de población total a un nivel de agregación sobre la base de unidades espaciales cercanas al individuo, descritas por la tipología de la trama urbana.

## **Materiales y métodos**

### **Materiales**

Para llevar a cabo el método propuesto que aquí aplicaremos, se ha seleccionado como área de estudio 5 consejos populares del municipio Habana del Este; Reparto Antonio Guiteras, Cojimar, Alturas de Alamar, Alamar Playa y Alamar Este. El porqué de esta selección es sobre la base de dos cuestiones principales:

1. En estos consejos populares existe una variedad de tipologías edificatorias que nos permite relacionar la información con más posibilidades.

2. A la vez estas zonas por sus características edificatorias tienen poca probabilidad de ser influenciadas por un descontrol elevado en sus tipologías en cuanto a subdivisiones del interior de las viviendas, y de crecimiento desproporcionado de su población.

En este trabajo hemos empleado subescenas de la imagen del satélite QuickBird en formato .jpg obtenidas a través del sitio web Google Earth Free del año 2009, pertenecientes a la banda pancromática con una resolución de 0,60 m. Además hemos utilizado para la georeferenciación de todas las subescenas el plano en formato digital de La Habana a escala 1:2000. Como parte de la información básica que procesaremos referente al volumen total de población, se ha utilizado la información de la Oficina Nacional de Estadística (ONE) del 2009. Como parte de la información básica que procesaremos referente al volumen total de población se ha utilizado la información que brinda la Oficina Nacional de Estadística (ONE), elaborada para la publicación del CD; «Población cubana de 2009», comprendida por datos al cierre del 31 de diciembre de 2008.

El volumen total de población por consejos populares, municipio Habana del Este (áreas seleccionadas), es el siguiente: Cojimar, 20 455; Antonio Guiteras, 23 452; Alamar Playa, 26 467; Alamar Este, 34 685; Alturas de Alamar, 32 263.

## Procedimiento metodológico

La forma más confiable y exacta de extraer información de las imágenes utilizadas en este trabajo es mediante la clasificación visual, conocida también como interpretación visual, que está basada en la habilidad que presentan los humanos para relacionar tonos, colores y patrones espaciales que aparecen en una imagen con elementos del mundo real. Esta técnica se ha seleccionado debido a la gran complejidad para clasificar cubiertas de gran heterogeneidad espacial como es el caso del área urbana mediante algoritmos automáticos de clasifica-

ción. Ya que se trata de cubiertas donde se mezclan techos, aceras, asfaltos, jardines, espacios abiertos, espacios comerciales, industriales, viales y que no obstante sí se pueden discriminar por la interpretación visual mediante rasgos directos e indirectos que no son traducidos por clasificación digital como; localización, asociación, tamaño, texturas, formas, colores.

Por otra parte tenemos que trasladar la información expresada en superficies censales a otras unidades definidas por la homogeneidad residencial, que pueden asumir densidad de población diversa no obstante son de carácter constante en cada uno de estos sectores. Para ello seguiremos el método propuesto por Co-cero-Matesanz *et al.* (2006), en donde describen que varios autores exponen varios métodos de desagregación espacial proponiendo el uso de la información contenida en censos y otras fuentes análogas con el objetivo de modelar el patrón subyacente referido por la agregación de la información. Para ello varios autores exponen diferentes métodos de desagregación espacial proponiendo el uso de la información contenida en censos y otras fuentes análogas con el objetivo de modelar el patrón subyacente referido por la agregación de la información. Pueden citarse los trabajos de Tobler (1979), Langford-Unwin (1994) y Spiekermann-Wegener (2000). Este último plantea la posibilidad del empleo del uso del suelo, como elemento básico para asignar al territorio dividido en celdas la probabilidad de acoger eventos, en específico el de una variable sociodemográfica. Para su aplicación cada celda o píxel debe estar clasificado por dos atributos; la categoría del uso del suelo y el identificador de la unidad de agregación a que pertenece. Para cada evento este modelo asigna un peso en forma de número entero a cada una de las categorías del uso del suelo y por consiguiente a cada una de las áreas asociadas con la categoría en cuestión. Si se divide el peso de cada área por la suma total de los pesos de cada categoría de la unidad de agregación a la que pertenece, se obtiene la probabilidad de que las categorías del uso del suelo en estudio sea el destino de la variable analizada.

Siguiendo la línea de trabajo de estos autores luego se aplica el método estadístico de Monte Carlo, con el objetivo de distribuir la car-

ga total de la variable analizada a cada una de las áreas, de forma aleatoria, de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia de las mismas. De esta manera las áreas no residenciales tendrían una probabilidad nula de contener la variable en cuestión (en este caso población) y por el contrario el resto de los espacios de los usos residenciales obtendrían una distribución aproximadamente proporcional a la probabilidad de contener la población, de acuerdo con la generación de números aleatorios, debido a que cada variable o carga unitaria de población sería ubicada en cada área por sorteo. Finalmente este procedimiento verifica a través del identificador de las unidades de agregación la capacidad de que la suma de las cargas correspondientes a una unidad de agregación sea correspondiente con la población total de la misma.

Siguiendo las líneas generales del método propuesto por Cocero-Matesanz *et al.* (2006), el procedimiento metodológico a seguir sería el siguiente:

1. Interpretación y delimitación de las tipologías edificatorias homogéneas.
2. Análisis de las densidades de población de las unidades espaciales identificadas.
3. Transferencia de la información desde las unidades censales a las áreas residenciales.

## Resultados y discusión

### Interpretación y delimitación de las tipologías edificatorias homogéneas

De acuerdo a la diferenciación espacial del área urbana, ya que se desarrollan actividades disímiles sobre un reducido espacio, la aplicación del Procesamiento Digital de Imágenes espaciales con estos fines es de uso reciente y depende en gran medida del área en estudio (ver Figura 1), la resolución espacial y espectral de la imagen con la cual se trabaja y el objetivo que se persigue.

La tipificación de la trama urbana se realizó apoyándonos en los criterios visuales clásicos que mencionamos anteriormente, entre ellos la sombra para la identificación y aproximación de la alturas de las construcciones, se obtuvo como resultado la delimitación de



**Figura 1.** Zonas de estudio. Habana del Este. Consejos populares.

una serie de polígonos que corresponden a una categoría de área residencial determinada.

Durante el proceso de interpretación nos hemos apoyado en una serie de documentos auxiliares como el mapa topográfico, el planimétrico, la información histórica del área y el trabajo de campo que nos permitió mejorar los criterios para la identificación. La digitalización se llevó a cabo en el programa Arcview 3.2.

Estas categorías fueron declaradas de acuerdo a la morfología de la cubierta urbanística a partir de lo interpretado en la imagen y el comportamiento generalizado de estas tipologías en el área de estudio. De esta manera fue confeccionado un catálogo de patrones para su comprensión. Un patrón espacial se refiere a la distribución espacial de los objetos (tanto naturales como contruidos), específicamente a la repetición de las formas, tonos, texturas dentro de un espacio determinado, que permite su localización e identificación (E. Mantilla, com. pers. 2008).

### Descripción de los Patrones espaciales

#### *Edificación Alta* (Figura 2)

#### Descripción de la trama urbana

Edificios de entre 12 y 18 plantas, entre 2 y 3 escaleras por edificación, con apartamentos de calidad media-alta, de estilo moderno. Generalmente el primer piso está destinado a centros comerciales o espacios vacíos. Presentan áreas verdes alrededor, en ocasiones jardines.



**Figura 2.** Edificación Alta. Subescena de la imagen Quickbird.

#### Descripción del patrón

Se observan de forma rectangular y ordenada ocupando manzanas completas separadas por áreas verdes o vegetación. Los tonos varían en dependencia del material de recubrimiento de los techos que generalmente se identifican por su tonalidad de rojo. Se observa la sombra que proyectan, en dependencia de la altitud solar a la hora de la toma de la imagen.

#### *Edificación Media* (Figura 3)

##### Descripción de la trama urbana

Edificios de entre 3 y 5 plantas, entre 2 y 3 escaleras por edificación, con apartamentos de calidad media, de estilo moderno. Usualmente en la zona aparecen de forma contigua dos edificaciones, presentan separadores estrechos en algunos casos. Presentan jardines a su alrededor en ocasiones. La estructura vial es irregular, con calles estrechas y avenidas principales amplias.

##### Descripción del patrón

Se observan de forma rectangular en posiciones diversas ocupando espacios definidos por estructuras lineales, en algunos casos separadas por áreas verdes o vegetación media.



**Figura 3.** Edificación Media. Subescena de la imagen Quickbird.

Los tonos varían en dependencia del material de recubrimiento de los techos que generalmente se identifican por su tonalidad de blanco, gris y naranja. Se observa la sombra que proyectan, en dependencia de la altitud solar a la hora de la toma de la imagen.

#### *Edificación baja* (Figura 4)

##### Descripción de la trama urbana

Edificios de 2 plantas, entre 2 y 4 apartamentos por edificación, con apartamentos de



**Figura 4.** Edificación Baja. Subescena de la imagen Quickbird.

calidad media, de estilo moderno. En ocasiones, cambio de la morfología de la vivienda, por autoconstrucción, edificación de garajes, cercas, etc. Usualmente aparecen de forma contigua las edificaciones, sin separadores, con calles estrechas sin presencia de aceras.

#### Descripción del patrón

Se identifican por su forma semi-rectangular, sin la presencia de vegetación alrededor y de manera compacta. La sombra que proyectan es perceptible en menor proporción que edificios más altos. El color de la cubierta se aprecia en tonalidades del gris claro al blanco.

#### *Unifamiliar Abierto* (Figura 5)

##### Descripción de la trama urbana

Constituido por casas con buenas estructuras, compuesto por viviendas de 1 planta, grandes, de mampostería, con amplios separadores conformados por áreas verdes entre jardines y patios interiores extensos. Viales estructurados correctamente, y con presencia de aceras.

#### Descripción del patrón

Forma rectangular y ordenada, constituyendo manzanas compactas separadas por calles adecuadas para conformar un patrón en forma de maya. Los tonos varían en dependencia del



**Figura 5.** Unifamiliar Abierto. Subescena de la imagen Quickbird.

material de recubrimiento de los techos que van desde el gris, blanco, naranja y es evidente el contraste con el verde de la vegetación.

#### *Unifamiliar Denso* (Figura 6)

##### Descripción de la trama urbana

Constituido por casas de calidad inferior, compuesto por viviendas de 1 y 2 plantas, pequeñas, de mampostería y madera, contiguas, sin separadores. Amplia presencia de viviendas reformadas por autoconstrucción. Viales en malas condiciones, con poca presencia de aceras. Calles estrecha. Inexistencia de áreas verdes, que solo se concentran en algunos patios de tamaño pequeño.

#### Descripción del patrón

Se observan de forma compacta, con variada morfología en cuanto a su configuración geométrica. Escasas tonalidades de cobertura vegetal. Los tonos varían en dependencia del material de recubrimiento de los techos que generalmente se identifican por su tonalidad de blanco, gris y naranja. Se aprecian algunos espacios vacíos. La sombra que proyectan es casi imperceptible.

El resultado de este procedimiento para el conjunto de la zona de estudio, fue un total de 5 categorías de áreas residenciales; Edifica-



**Figura 6.** Unifamiliar Denso. Subescena de la imagen Quickbird.

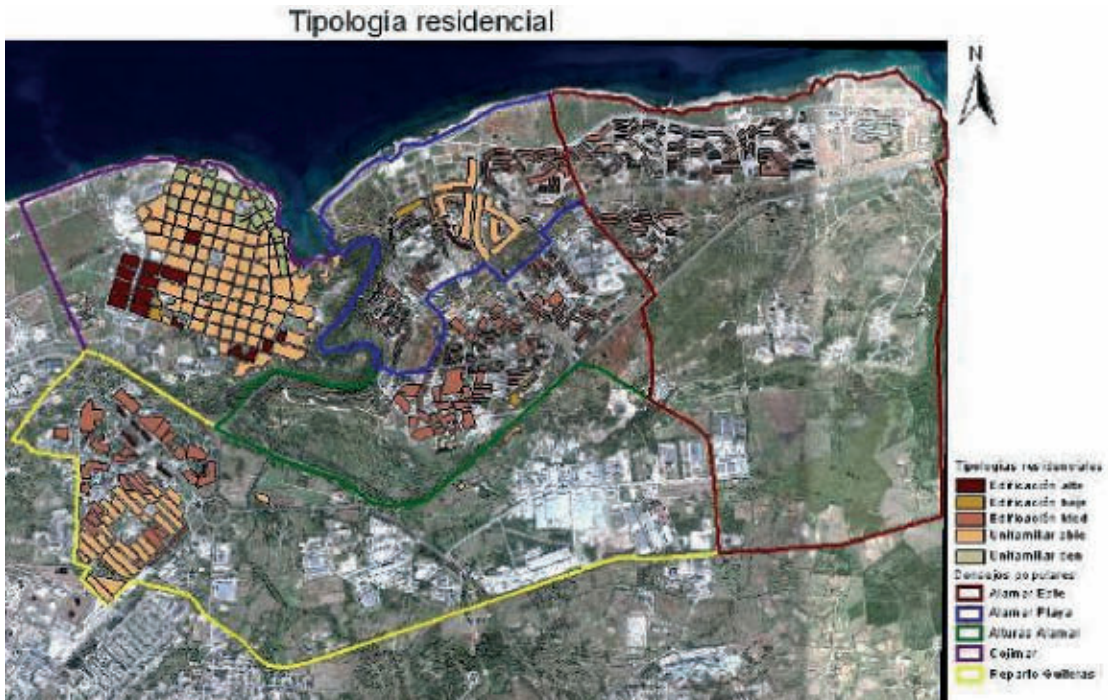


Figura 7. Clasificación visual de la tipología de la trama urbana. Consejos populares seleccionados.

ción Alta, Edificación Media, Edificación baja, Unifamiliar denso y Unifamiliar abierto (ver Figura 7).

### Análisis de las densidades de población de las unidades espaciales identificadas

En primera instancia, para determinar la densidad demográfica entre las diferentes tipologías edificatorias existentes en el área, hay que analizar la diferenciación presente en la zona urbana en cuestión. Con la descripción de los patrones anteriormente desarrollados podemos apreciar las diferentes características entre cada una de las tipologías.

En la aplicación de este procedimiento metodológico es esencial la evaluación de la capacidad de cada zona para albergar diferente volumen de población, ya que conforma la base del método definido para evaluar la probabilidad o peso de la desagregación relativa en cada trama urbana identificada. De manera general podemos considerar cada una de estas tipologías identificadas como homogéneas, desde el punto de vista de sus características

morfológicas como de su altura, por lo que podemos suponer que la densidad de población es similar, considerando un margen de error permisible. Teniendo en cuenta que no necesitamos calcular la densidad de población con exactitud, sino disponer de un índice capaz de medir o comparar las distintas tipologías existentes con respecto a la variable volumen de población. Para ello hemos seleccionado espacios de muestreo (ver Figura 8), en cada una de las unidades espaciales clasificadas; para comprobar en trabajo de campo y contar *in situ* la cantidad de viviendas construidas en estos espacios.



Figura 8. Espacios de muestreo correspondientes a cada tipología identificada.



**Tabla 1.** Densidad de viviendas por espacios de muestreos. Fuente: elaboración propia

<b>Trama Urbana</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Número de viviendas</b>	<b>Número de viviendas/(ha)</b>
<b>Reparto Antonio Guiteras</b>			
Edificación Alta	0.63	198	314.3
Edificación Media	1.20	105	87.5
Unifamiliar Abierto	1.40	20	14.3
<b>Cojimar</b>			
Edificación Media	1.67	94	287.4
Edificación baja	1.00	35	35
Unifamiliar Denso	1.16	24	20.7
Unifamiliar Abierto	1.07	15	14.01
<b>Alturas de Alamar</b>			
Edificación Alta	0.25	198	4
Edificación Media	0.65	120	184.6
Edificación baja	0.80	18	22.5
Unifamiliar Denso	0.45	8	17.8
Unifamiliar Abierto	0.55	3	5.5
<b>Alamar Playa</b>			
Edificación Alta	0.16	135	843.7
Edificación Media	0.39	120	307.7
Edificación baja	1.01	30	29.7
Unifamiliar Abierto	0.33	12	36.4
<b>Alamar Este</b>			
Edificación Media	0.42	90	214.3
Edificación baja	0.13	4	30.7
Unifamiliar Denso	0.19	7	36.8
Unifamiliar Abierto	0.67	3	4.5

Con ello se estimará la densidad de viviendas por unidad de superficie en cada zona, para aproximarnos a la potencialidad relativa de su capacidad de asimilación (Tabla 1).

### **Transferencia de la información desde las unidades censales a las áreas residenciales**

Para la transferencia de la distribución del volumen de población, no se realiza de forma proporcional a la superficie, sino de manera ponderada a la densidad demográfica de cada área, de acuerdo a la tipología edificatoria correspondiente.

A partir de la base espacial de cada trama urbana obtenida anteriormente, corresponde determinar la superficie total de cada una respectivamente, con ello se comprueba que la de-

finición de densidades de población obtenida es correcta. Por lo que verificamos que el volumen total de población de cada consejo popular es la suma de los productos parciales de la superficie de cada trama urbana por su densidad demográfica. Con este planteamiento tendríamos que evaluar las siguientes consideraciones:

- Teniendo un conjunto de categorías de tipologías de tramas urbanas llamadas A.
- Los valores de densidades de vivienda de cada trama urbana homogéneas; D.
- La superficie de cada tipología urbana identificada; S.

Los valores de las densidades de vivienda de cada tipología urbana (D) deberían satisfacer la ecuación lineal que muestre la correspondencia entre la población de cada unidad administrativa censal (P) y la suma de las poblaciones de cada categoría urbana que la

**Tabla 2.** Superficie total ocupada por cada tipología edificatoria. Densidad de habitantes por cada trama urbana Fuente: elaboración propia

Trama Urbana	Superficie (ha)	Número de habitantes/ha
<b>Antonio Guiteras</b>		
Edificación Alta	1.5	3406,69
Edificación Media	27	17072,18
Unifamiliar Abierto	28.8	2973,11
<b>Cojimar</b>		
Edificación Media	18.3	7595.10
Edificación Baja	1.5	387.11
Unifamiliar Denso	15.9	2425.61
Unifamiliar Abierto	97.2	10047.19
<b>Alturas de Alamar</b>		
Edificación Alta	0.2	722,11
Edificación Media	35.6	29961,62
Edificación Baja	14.4	1477,04
Unifamiliar Denso	1.2	97,25
Unifamiliar Abierto	0.2	4,97
<b>Alamar Playa</b>		
Edificación Alta	0.8	2366,85
Edificación Media	19.9	21470,27
Edificación Baja	1.5	156,22
Unifamiliar Abierto	19.4	2473,64
<b>Alamar Este</b>		
Edificación Media	28.7	34600,62
Edificación Baja	0.07	12,11
Unifamiliar Denso	0.3	62,18
Unifamiliar Abierto	0.4	10,07

integran, por lo que necesitamos suponer un coeficiente  $k$  para obtener el valor medio de habitantes por vivienda en cada trama de vivienda. Con ello podemos plantear la siguiente ecuación:

$$P_i = \sum_{j=i}^{j=n} [NDkS] \quad [1]$$

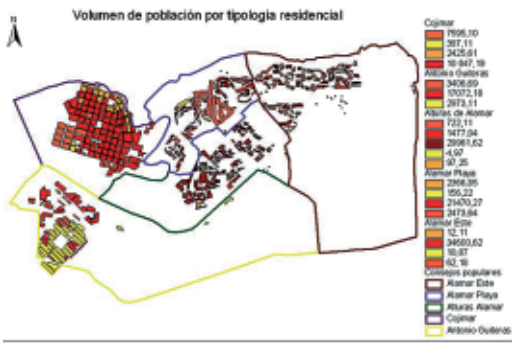
La ecuación aquí planteada de forma teórica es difícil de conseguir, debido a que supone la existencia de una solución única al sistema de ecuaciones lineales, pero si se considera la búsqueda de la solución por tanteo resultaría más operativo. Considerando la obtención de la sumatoria del total de viviendas de cada una de las tramas urbanas homogéneas (D); calculadas a partir de la superficie total de cada trama (S), y el número de viviendas contadas «in situ» (N) en las áreas de muestras (A), podemos determinar, de conjunto con la población total del consejo, el índice de población

por vivienda (k). Posteriormente sobre el supuesto de que  $k$  fuera establecida como constante en cada una de las tipologías edificatorias respectivamente, nos centraríamos en distribuirla por total de viviendas en cada trama obtenida (Tabla 2).

Y finalmente podemos observar la distribución del volumen de población por unidades edificatorias homogéneas en la trama urbana en la Figura 9.

## Conclusiones

El método aplicado confirma posibilidad de desagregar variables socio demográficas de la información censal, en este caso hemos tratado solamente el volumen de población pero puede generalizarse a otras variables, a partir del empleo de los usos del suelo y diferencia-



**Figura 9.** Distribución del volumen total de población por unidades edificatorias clasificadas.

ción de las tipologías edificatorias identificadas con técnicas de Procesamiento Digital de Imágenes y el manejo de los Sistemas de Información Geográfica.

La identificación de las áreas por tipologías edificatorias homogéneas es compleja pero puede llevarse a cabo mediante la interpretación de imágenes espaciales de alta resolución y el conocimiento histórico de la zona así como el necesario trabajo de campo para la comprobación.

El empleo del procedimiento de transferencia de la variable para su mayor precisión se debe considerar el margen de error que puede provocar la existencia en las zonas de estudio de; hacinamiento, transformaciones de la parcela (vivienda), entre otros, y la diferenciación del índice de población por viviendas al interior de cada trama urbana.

## Referencias

- BOCCO, G., & SÁNCHEZ, R. (1995): Cuantificación del crecimiento de la mancha urbana usando percepción remota y sistemas de información geográfica, el caso de la ciudad de Tijuana, México (1973-1993). *Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía UNAM*, Boletín n.º Especial 4: 122-129.
- CASAS, J., & CHUVIECO, E. (1987): Análisis visual de imágenes «thematic mapper» para el estudio urbano. El caso de la ciudad de Madrid. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*. Norteamérica, 7, ene. 1987: 399-412. Consulta: 30 mayo 2011. Disponible en: <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/AGUC8787110399A>.
- CORTÉS, A., & SANTOS, C. (1996): Integración de imágenes SPOT y fotografía aérea en estudios

urbanos. *Investigaciones Geográficas, Instituto de Geografía UNAM*, Boletín no. 32: 55-67.

- COCERO, D., GARCÍA, F. J., & SANTOS, J. M. (2006): Propuesta metodológica para la desagregación espacial de variables sociodemográficas con Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. *Cuadernos Geográficos*, número 39, Universidad de Granada, Granada, España: 7-22. Consulta: 7 septiembre 2011. Disponible en: <http://www.ugr.es/~cuadgeo/docs/revistas/039.pdf>.
- CHENG, F., & THIEL, K. (1995): Delimiting the building heights in a city from the shadow in a panchromatic SPOT image-Part 1. Test of forty-two buildings. En: *International Journal and Remote Sensing* (Memorias) vol. 16 (3), /s.e/, pp. 409-415.
- ESTORNEL, J., RUIZ, L., & DEL REY, A. (2004): Análisis metodológico para la detección de cambios urbanos en la ciudad de Valencia. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, vol. 22:55-66. Consulta: 24 octubre 2011. Disponible en: <http://www.aet.org.es/revistas/revista22/AET22-08.pdf>.
- HERRERA-GONZÁLEZ, V. (2001): Estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia (Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG y equipos de GPS. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, vol. 15:1-9. Consulta: 24 octubre 2011. Disponible en: [http://www.aet.org.es/revistas/revista15/AET15\\_8.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista15/AET15_8.pdf).
- LO, C. P. (1995): Automated population and dwelling unit estimation from high resolution satellite images, en a GIS approach. *International Journal Remote Sensing*, vol.16 (1):17-34.
- MOLINA-M, G. Z. (2005): Propuesta metodológica para estudios de dinámica de uso urbano utilizando la teledetección: Maracay, estado de Aragua, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, vol. 46 (2): 195-234. Consulta: 20 septiembre 2011. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24647/2/articulo2.pdf>.
- MOLINA, G. Z., & CHUVIECO, E. (1996): Evaluación de índices texturales para discriminar morfología urbana: análisis de la ciudad de Maracay (Venezuela). *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, vol. 7:1-8. Consulta 24 octubre 2011. Disponible en: [http://www.aet.org.es/revistas/revista7/AET7\\_5.pdf](http://www.aet.org.es/revistas/revista7/AET7_5.pdf).
- NASARRE, E., & BADIA, A. (2003): La fotografía aérea y los Sistemas de Información Geográfica en el análisis de la morfología urbana de Terrassa. *El acceso a la información espacial y las nuevas Tecnologías Geográficas*: 1695-1706. Universidad de Barcelona. Consulta: 30 abril 2012. Disponible en: [http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/XII\\_3/125%20-%20Nasarre%20y%20Badia.pdf](http://age.ieg.csic.es/metodos/docs/XII_3/125%20-%20Nasarre%20y%20Badia.pdf).

SALVATIERRA, H. C. (2006): Evaluación estadística de patrones radiométricos para la determinación del crecimiento urbano. Mendoza, Argentina. Ponencia. Mendoza, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Filosofía y Letras. Instituto de Geografía. Consulta: 30 abril 2012. Disponible en: <http://bdigital.uncu.edu.ar/1530>.

SOLÉ, L., & SERRA, P. (1991): Morfología urbana del área metropolitana de Barcelona en dos imágenes thematic mapper. *Estudios Territoriales. Instituto del Territorio y Urbanismo*, Barcelona, España, no. 36: 215-242.