

## EXPLORACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA LA INTERPRETACIÓN DE OBJETOS A PARTIR DE IMÁGENES APLICADOS AL RELEVAMIENTO DE MOSAICOS URBANOS

G. Viegas<sup>1</sup>, V. Artola<sup>2</sup>, C. Discoli<sup>3</sup>, G. San Juan<sup>3</sup>

Unidad de Investigación N° 2 del Instituto de Estudios del Hábitat (IDEHAB), [http://idehab\\_fau\\_unlp.tripod.com/ui2](http://idehab_fau_unlp.tripod.com/ui2);  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata.

Calle 47 N° 162, CC 478. Tel/fax +54-0221-4236587/90 int 254. La Plata (1900)

Laboratorio de Investigaciones de Informática (LIDI). Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata.  
Calle 50 y 120.

[gachiviegas@yahoo.com.ar](mailto:gachiviegas@yahoo.com.ar), [gustavosanjuan60@hotmail.com](mailto:gustavosanjuan60@hotmail.com), [discoli@rocketmail.com](mailto:discoli@rocketmail.com), [vartola@lidi.unlp.edu.ar](mailto:vartola@lidi.unlp.edu.ar)

**RESUMEN:** El estudio de sectores reducidos representativos de un área urbana homogénea- mosaicos urbanos- permite estimar la aplicación de sistemas energéticos alternativos e implementación de estrategias de uso eficiente de la energía. El presente trabajo tiene como objetivo explorar herramientas y procedimientos (manuales, automáticos y semi-automáticos) para facilitar el relevamiento de mosaicos urbanos. Las herramientas analizadas se basan en la interpretación de objetos a partir de imágenes. En función de la viabilidad instrumental y de los recursos disponibles, se seleccionaron las técnicas de segmentación de imágenes aéreas y satelitales para su aplicación sobre un mosaico “patrón”. La metodología profundiza en las siguientes variables: i. Área de disipación horizontal; ii. Sistema constructivo del área de disipación horizontal- Techos. iii. Perímetro de disipación vertical. iv. Altura del área edificada. Los resultados obtenidos permitieron reducir el tiempo de relevamiento a partir de un procedimiento denominado “automático parametrizado” con participación del operador.

**Palabras clave:** relevamiento urbano- mosaicos urbanos- segmentación de imágenes- potencial energético

### 1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es parte de un proyecto de investigación cuyo objetivo general busca elaborar una metodología de análisis, aplicada a sectores urbanos reducidos, que permita visualizar y realizar estimaciones orientadas a la sustitución de vectores energéticos tradicionales por renovables y a la implementación de estrategias de uso eficiente de la energía. Esta información permite evaluar el potencial energético disponible en cada mosaico, a partir de valorar la demanda y su capacidad de sustitución (ganancia solar térmica, minimización de pérdidas por envolvente).

La unidad de análisis está constituida por sectores urbanos reducidos definidos como “*mosaicos urbanos*”. Los mismos son representativos de áreas homogéneas del Partido de La Plata respecto a: la *consolidación urbana* (ocupación y uso del suelo, cobertura de redes de servicios); el uso predominante del suelo (residencial, terciario, etc.); y las combinaciones tipológicas edilicias características. El estudio de mosaicos urbanos (MU) permite obtener indicadores que posibilitan diagnosticar la situación existente y el potencial del mismo para la aplicación de fuentes sustitutas y medidas correctivas de uso eficiente de la energía, minimizando los impactos negativos detectados. La representatividad de cada mosaico permitiría la aplicación de las medidas potenciales a las demás áreas urbanas.

La metodología de análisis se desarrolló en trabajos previos (Viegas et al., 2006) en función de las siguientes etapas: i. Definición y procesamiento de la unidad de análisis (MU); ii. Identificación de los impactos actuales de la unidad de análisis y propuestas de mejoramiento; iii. Valoración de los impactos energéticos ambientales; iv. Comunicación de los resultados.

El objetivo de este trabajo es profundizar en la etapa de definición y procesamiento de la unidad de análisis a partir de explorar las herramientas y procedimientos existentes para la interpretación de objetos en forma manual, semi-automática y automática en búsqueda de facilitar el relevamiento de áreas urbanas representativas (mosaicos urbanos). En función de la viabilidad instrumental y de los recursos disponibles seleccionar una de estas herramientas y aplicarla en el mosaico *patrón* previamente relevado para verificar la utilidad y consistencia de estos métodos.

En esta etapa se plantearon los requerimientos para realizar el relevamiento del mosaico: determinar el área construida en función del área vacante y su posición en la manzana; la altura del área construida; y las características físicas de los cerramientos del mismo. Con esta información se continuó con la etapa siguiente donde se determina el comportamiento energético actual y las potencialidades de aplicar propuestas de mejoramiento. Hasta el momento se han cuantificado las siguientes medidas: mejoramiento de la calidad térmica de los cerramientos (muros y techos); y ganancia de energía solar pasiva por fuentes renovables.

<sup>1</sup> Becaria Postgrado Tipo I - CONICET – (FAU-UNLP)

<sup>2</sup> Analista Programador Universitario. Pasante LIDI.

<sup>3</sup> Investigador CONICET (FAU-UNLP)

Para el relevamiento de los mosaicos se parte de analizar imágenes aéreas o satelitales. Los procedimientos de análisis a partir de imágenes pueden clasificarse en manuales, semi-automático o automáticos. En el primero, un operador calificado realiza el relevamiento por observación de la imagen, y sintetiza la información manualmente en programas de Diseño Asistido por Computadora (CAD), planillas de cálculo y/o Sistemas de Información Geográfica (SIG). En el segundo, también denominado interactivo, la computadora realiza el proceso, pero el usuario interviene en determinados momentos sobre el mismo para definir parámetros o corregir resultados. Este es el método más difundido por el momento. En el tercero la computadora realiza todo el proceso de forma automática, aunque los resultados obtenidos son limitados.

Como antecedente se han desarrollado los resultados del relevamiento de mosaicos urbanos realizados en forma manual, en investigaciones previas (Viegas et. al., 2007) y cuantificado su potencial energético. Estos resultados son considerados como “patrón” de comparación con nuevos procedimientos.

La práctica del *relevamiento manual* ha presentado las mayores dificultades en la metodología debido al tiempo de trabajo requerido y a la necesidad de realizar verificaciones in situ en el sector analizado. La bibliografía ha corroborado que esta tarea consume la mayoría del tiempo al operador (Vosselman, 1998). La adquisición *semi-automática*, apoyada en la aplicación de “algoritmos” de computadoras contribuye significativamente al mejoramiento de la eficiencia de la interpretación de imágenes, combinando la velocidad de medición de las computadoras y la habilidad de interpretación del operador. La adquisición *automática* de información es un procedimiento muy dificultoso requiriendo gran cantidad de información.

## 2 HERRAMIENTAS PARA LA INTERPRETACIÓN DE OBJETOS A PARTIR DE IMÁGENES URBANAS

### 2.1. Procedimientos de interpretación manuales:

i. El procedimiento de interpretación de imágenes urbanas en forma manual requiere previamente de la extracción de información a partir de indicadores urbano-morfológicos, como el *Factor de Ocupación del Suelo* (FOS) y *Factor de Ocupación Total* (FOT). Los mismos se presentan en forma de bases de datos SIG con información para cada manzana de la ciudad, y están disponibles en los organismos de catastro de los municipios. Este análisis permite obtener información global sobre la superficie construida en la manzana y su volumen, pero no proporciona información de cómo se ubica ese volumen en la manzana (retiros de la línea municipal o los ejes medianeros). Tampoco brinda información sobre las características físicas de los cerramientos de las tipologías edilicias. Para avanzar en estos interrogantes se realiza la observación de las imágenes aéreas y satelitales por un observador calificado, así como también relevamientos “in situ” de los sectores.

Este procedimiento consiste en graficar los datos obtenidos de la observación con programas de dibujo asistido por computadora para calcular el tamaño (área, perímetro, volumen, etc.), la forma (relaciones alto-ancho), etc., de los edificios. Como resultado se obtiene un gráfico en tres dimensiones, representación simplificada de la volumetría real (figura 1). El paso siguiente es determinar por observación, cuáles son las tipologías edilicias existentes asimilándolas a un catálogo de tipologías del área de estudio (Rosenfeld et al, 1987; Rosenfeld y Czajcowski, 1992). Las tipologías determinan las características físicas de los cerramientos (coeficiente de transmitancia térmica “K” en  $\text{kW/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). La información se carga manualmente en planillas de cálculo y finalmente se integra junto a la base gráfica (CAD), en un sistema de información geográfica (SIG).

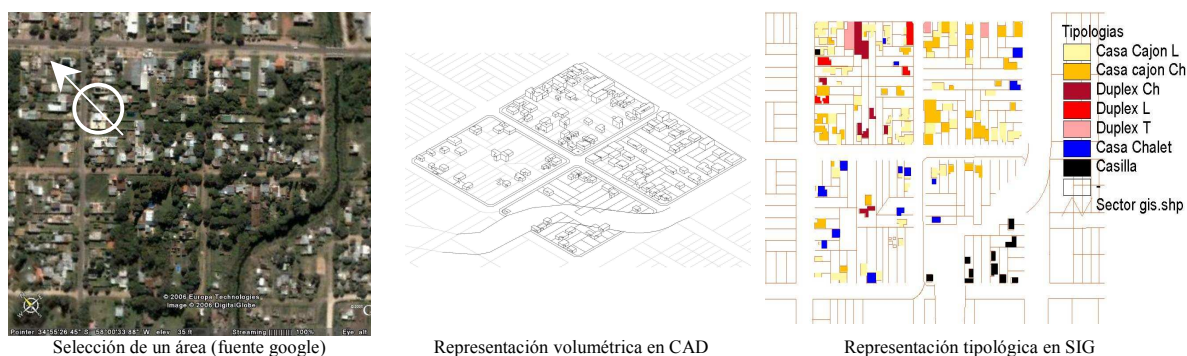


Figura 1: Selección del área de estudio, representación volumétrica, representatividad de las tipologías constructivas.

Como se puede observar, estos procedimientos requieren de un gran esfuerzo del operador para obtener los resultados esperados y de información adicional (catálogo de tipologías, bases FOT y FOS).

### 2.2 Procedimientos de interpretación semi-automáticos:

Estos procedimientos implican la participación del operador y de la computadora y entre ellos podemos mencionar:

ii. La *Extracción de Características Cartográficas* (puntos, líneas, áreas u objetos complejos en tres dimensiones) en forma semi-automática consisten en que un operador “aproxime” el objeto a detectar y la aplicación de un algoritmo lo “marque” (Vosselman, 1998). Se utilizan distintas fuentes de imágenes. Para detectar puntos se indica la localización de una esquina del objeto (cuyos bordes contienen valores gradientes de grises) y se aplica un algoritmo para detectar el resto de las

esquinas. Puede ser utilizado para la medición de esquinas de techos de edificios. La detección de áreas consiste en clicar un punto sobre el objeto y aplicar algoritmos que extraen áreas con valores de grises homogéneos. Se aplica para reconocer, por ejemplo, techos de casas. La detección de objetos complejos consiste en que el operador localice el objeto a relevar con un “objeto modelo apropiado” y que el algoritmo lo ajuste. Se aplica para definir volúmenes de edificios. Los resultados del procedimiento no informan sobre las características físicas de los cerramientos.

iii. Los procedimientos de interpretación de imágenes urbanas aplicando *técnicas de segmentación* se sitúan dentro de los semi-automáticos avanzados pudiendo ser considerados como “automáticos parametrizados”. Esto se debe a que el usuario aporta datos previos y/o posteriores a la segmentación, realizándose esta última automáticamente. Utilizan tanto imágenes aéreas como satelitales dependiendo del propósito de la aplicación. El procedimiento consiste en dividir las imágenes en regiones con el propósito de separar las partes de interés del resto, simplificándola para facilitar la tarea del operador. En primer lugar la imagen es segmentada y luego se extraen las características de los objetos (área, perímetro, etc.). Se aplican a la determinación de superficies y volúmenes, la reconstrucción tridimensional, el diagnóstico automático y la reducción de información en transmisión y almacenamiento (Departamento de Física y Matemática de fluidos, 2008). Según la calidad y tipo de las imágenes urbanas, los resultados pueden dar información sobre las características físicas de los cerramientos horizontales (techos).

Como se puede observar, estos procedimientos mejoran la velocidad de la adquisición de los datos y minimizan la intervención del operador, obteniéndose prácticamente la totalidad de la información requerida para el relevamiento.

### 2.3 Procedimientos de interpretación automáticos:

iv. El *procedimiento automático para identificar volúmenes en función de las sombras arrojadas* por los mismos requiere imágenes digitales de alta resolución espacial en escala 1:8000 (Rodríguez dos Santos, 2007). Consiste en que un filtro realice un barrido de la imagen identificando los píxeles que pertenecen al objeto de sombra, separando las sombras regulares (edificaciones) de las irregulares (vegetación). Se aplica a la detección de edificios. Esta herramienta necesita complementarse con diferentes sensores como el *láser scanner*, para obtener más información de las alturas de los objetos y tiene la desventaja de no informar sobre las características físicas de los cerramientos.

v. Otro procedimiento automático de mayor potencial fusiona imágenes aéreas de muy alta resolución espacial, convencionalmente de tres bandas visibles o más, con otras fuentes de información, como por ejemplo el LiDAR<sup>4</sup>. De esta forma es posible obtener *Modelos Digitales de Terreno* (MDT), *Modelos de Altura Digital*, y *Modelos de Superficie Digital* (MSD). El procedimiento involucra varias etapas las cuáles están automatizadas: en primer lugar se interpola la imagen hacia un grid, cuyo valor es la altura. En segundo lugar, se separa el suelo de los edificios. En tercer lugar se clarifica y remueven objetos razonablemente grandes. Finalmente se construye un modelo de altura digital a partir del grupo de puntos del terreno (Thuy Vu et al., 2006).

Como se puede observar, los procedimientos automáticos requieren de un tipo especial de imágenes satelitales, de muy alta resolución, o de la combinación con otras fuentes de información. El resultado es un máximo de precisión y mayor cantidad de información, así como también una significativa reducción del tiempo requerido para el relevamiento. Pero los recursos necesarios no son de libre acceso.

En función de las ventajas y dificultades de cada uno de los procedimientos mencionados anteriormente se desarrolló una metodología basada en las técnicas de *segmentación semi-automáticas*. La misma permitiría superar a los procedimientos manuales, y puede ser aplicada con los recursos disponibles: imágenes aéreas en escala 1:20000 (fuente organismos públicos como Ministerio de Geodesia- Dpto. fotogramétrico, año 1998); imágenes digitales de fácil acceso (fuente Googleearth, año 2007); entorno tipo MATLAB<sup>5</sup> como herramienta eficiente para las etapas de prueba.

## 3 METODOLOGÍA PARA RELEVAR UN MOSAICO URBANO CON SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES

La aplicación de *técnicas de segmentación* permite “extraer características” de los objetos detectados y el tipo de características extraídas depende las técnicas de segmentación aplicadas, las cuáles pueden ser: Umbralización; Detección de bordes; Detección de regiones; Clustering; Segmentación de texturas; Morfología matemática; Redes neuronales, etc. Por un lado se pueden obtener características geométricas de los objetos de la imagen (forma y tamaño) y su localización (altura, ancho, área, perímetro, factor de forma, etc.). Por el otro, características de intensidad y brillo de la región y su vecindario (valor medio de gris, gradiente medio, características de texturas, contraste, etc.).

En función del tipo de características que pueden ser extraídas con segmentación y de las necesidades que plantea el relevamiento del mosaico urbano orientado a diagnosticar su potencial energético, se establecieron los siguientes requerimientos para la metodología:

- i. Delimitar y medir el área edificada y el área vacante del mosaico urbano obteniendo el “Área de disipación horizontal”. El producto del área de disipación horizontal por un coeficiente de transmitancia térmica promedio de los cerramientos que componen dicha superficie ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ) permitiría obtener las pérdidas de energía por los cerramientos horizontales (pisos o techos).

<sup>4</sup> LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging): tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Los productos estándar fotogramétricos derivados de los datos lidar incluyen modelos de contorno y elevación para ortofotos.

<sup>5</sup> MATLAB® es un producto de The MathWorks. URL: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

- ii. Clasificar el Área de disipación horizontal según su color obteniendo el “Sistema constructivo del área de disipación horizontal- Techos” (tejas, losa H<sup>o</sup> A<sup>o</sup>, chapa metálica). Con esta información podemos obtener mayor precisión respecto a las pérdidas de energía por el cerramiento “techo”.
- iii. Delimitar y medir el contorno del área edificada, obteniéndose el “Perímetro de disipación vertical”. Con esta información podemos inferir el grado de exposición del área edificada (a mayor grado de exposición, mayores pérdidas térmicas).
- iv. Delimitar las sombras de los edificios para conocer la “Altura del área edificada”. El producto de la altura del área edificada por el perímetro de disipación vertical es el área de disipación vertical, la cuál multiplicada por un coeficiente de transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup> °C) promedio de los elementos que componen dicha superficie permitirá obtener las pérdidas de energía por los cerramientos verticales.

Finalmente la información obtenida a partir de los requerimientos planteados, debe sistematizarse como archivo vectorial (dwg, dxf, etc.), para poder exportarla a programas de dibujo asistido por computadora (CAD) o Sistemas de Información Geográfica (SIG). De esta forma se puede generar una base de datos con las características urbano-morfológicas de un sector de la ciudad.

Como ejemplo de aplicación implementamos la metodología semi-automática de segmentación de imágenes en el mosaico urbano analizado previamente por el método manual. En una primera etapa se analizan los cuatro requerimientos establecidos y luego se los compara con el relevamiento manual “patrón” el cuál tiene como resultado de referencia la información sintetizada en la tabla 1.

Procedimiento manual-Imagen aérea- Variable	Total Mosaico	Transmitancia térmica	Aclaraciones	
Área disipación horizontal (m <sup>2</sup> )	Área construida	8646.6 m <sup>2</sup>		
	Área vacante	56850.0 m <sup>2</sup>		
	Área total manzana	65194.0 m <sup>2</sup>		
Sistema constructivo del área de disipación horizontal (m <sup>2</sup> )	Losa H A	41.7 %	K= 3.82 W/m <sup>2</sup> (con aislación mínima)	
	Chapa metálica	38 %	K=entre 0.61 a 0.92 W/m <sup>2</sup> (con o sin aislación térmica)	
	Teja	14.2 %	K= 1.05 W/m <sup>2</sup> (con aislación)	
Perímetro de disipación vertical (m)	Muros de bloque cerámico hueco 0.2 m esp., o de 0.15 m esp.; o de ladrillo común 0.3 m esp.	3590.2 m	K= 1.84 W/m <sup>2</sup> , 2.21 W/m <sup>2</sup> , 1.88 W/m <sup>2</sup> respectivamente	El 100 % de las aberturas con vidrio simple (K= 5.88 W/m <sup>2</sup> ). Pisos de baldosas calcáreas o entablado con cámara de aire (K= 1.57 W/m <sup>2</sup> , 1.07 W/m <sup>2</sup> respectivamente).
Altura del área edificada	1 nivel (≈ 3.5 m altura)	6193.4 m <sup>2</sup>		
	2 niveles (≈ 7 m altura)	2453.2 m <sup>2</sup>		

Tabla 1: Resultados de los cuatro requerimientos obtenidos mediante relevamiento manual. “Patrón” de comparación.

*i. Cuantificación del Área de disipación horizontal*

Para delimitarla se aplicó la técnica de *segmentación por umbralización* sobre imágenes aéreas en blanco y negro. Consiste en segmentar la imagen en función de un histograma que indica en el eje vertical las frecuencias y en el eje horizontal los valores de intensidad del color de los píxeles (nivel de gris). Los distintos objetos que se pueden encontrar en la imagen presentan niveles de gris diferentes. A partir del histograma se elige un “umbral” que es el punto cuya intensidad separa en este caso, los píxeles pertenecientes a los edificios, del fondo (vegetación). En la figura 2 se observa la sucesión con la imagen aérea original de una manzana del mosaico, el histograma con un valor de umbral 200, la imagen resultante luego de realizar la umbralización, y la misma superpuesta sobre la imagen original.

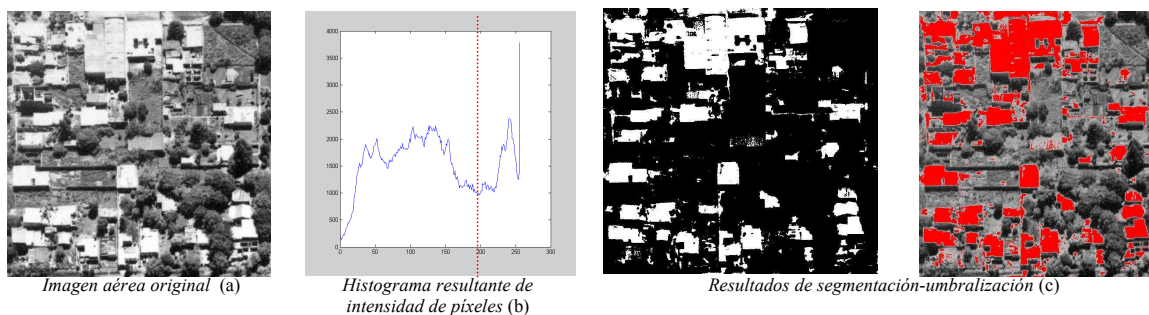


Figura 2: Procedimiento de segmentación de imagen aérea por umbralización

En la imagen resultante (c) se puede observar que las regiones detectadas son muy irregulares; en algunos casos se observan regiones abiertas y detecciones pequeñas aisladas que se pueden suponer erróneas porque no corresponden a un edificio. El paso siguiente es cerrar las regiones y simplificar la estructura de los objetos con *gradientes morfológicos* (dilatación y erosión). Para ello se realiza un barrido de la imagen con un *elemento estructurante* de forma tal de cuantificar el modo en que está contenido dentro de la misma. Un elemento estructurante es un objeto con una forma geométrica predeterminada. Marcando las ubicaciones en que está contenido en la imagen obtenemos la simplificación de los objetos que componen el área hacia formas regulares.

En la figura 3 se puede observar la sucesión de imágenes con el resultado del cerramiento de regiones a partir de un elemento estructurante cuadrado de 9x9 píxeles. A pesar de que las detecciones están más definidas, persisten áreas pequeñas que

deben ser eliminadas porque no corresponden a edificios. Para ello se realizó un “etiquetado” de cada región y se eliminaron aquellas que tenían un tamaño menor a 20% del tamaño promedio.

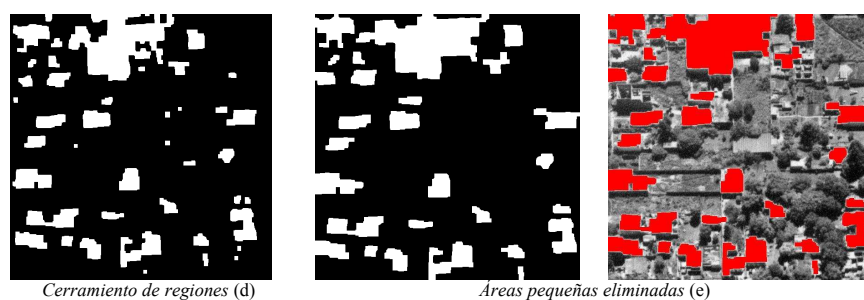


Figura.3: Procedimiento para cerrar regiones y eliminar detecciones pequeñas

El último paso de este requerimiento es “medir” los objetos binarios (edificios- fondo). Para medir el área de disipación horizontal (blanco) se cuentan la cantidad de píxeles que la componen. Luego se transforman a una escala en metros. En la tabla 2 se observan los resultados obtenidos para cada manzana: área construida, área vacante y área total de manzana, en píxeles y en  $m^2$ .

Segmentación- Imagen aérea- Variable		M1		M2		M3		M4	
		Píxeles	$m^2$	Píxeles	$m^2$	Píxeles	$m^2$	Píxeles	$m^2$
Área disipación horizontal ( $m^2$ )	Área construida	66170	2877	43545	2093	30047	1444	24647	1185
	Área vacante	260436	12826	262183	12606	268069	12889	308769	14846
	Área total manzana	326606	15703	305728	14699	298116	14333	333416	16031

Tabla 2: Resultados numéricos obtenidos de la segmentación para las cuatro manzanas indicando el Área de disipación horizontal: área construida, área vacante y área total de la manzana en píxeles y en  $m^2$ .

### ii. Clasificación del Sistema constructivo del área de disipación horizontal- Techos

En este caso también se utiliza la técnica de segmentación por umbralización pero a partir de imágenes satelitales a color que permiten conocer las texturas que presenta la superficie horizontal (fuente google earth). Los umbrales se eligen en los puntos que dividen los distintos colores de techos. En forma global se establecen tres clases de sistemas constructivos: de losa de hormigón (colores blancos, poseen más brillo), de chapa metálica (grises) y de tejas (mayormente rojos). A estas tres clases le corresponden dos umbrales, uno para dividir los blancos de la imagen del resto, y otro para dividir los rojos del resto.

En la figura 4 se observa la imagen satelital original, la segmentación por umbralización sobre imagen satelital separando los colores rojos del resto, y el resultado de la segmentación previamente realizada sobre imagen aérea, para su comparación.

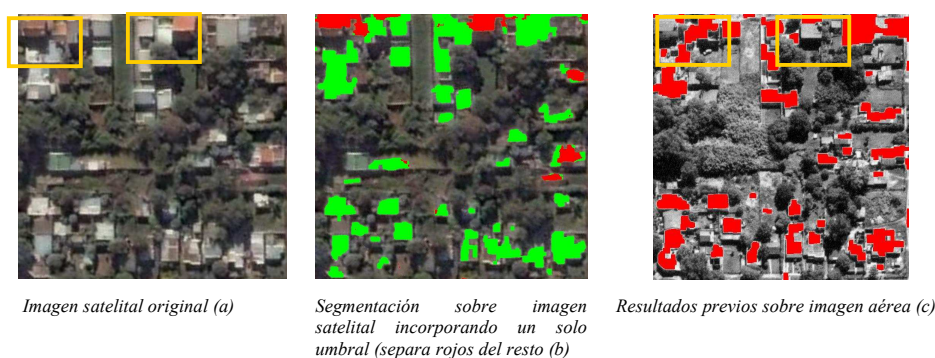


Figura 4: Procedimiento para determinar el sistema constructivo del área horizontal

La segmentación sobre imagen satelital ha arrojado mayor información que la aérea. Se ha podido incorporar un umbral, que separó los edificios con techos de tejas (rojos) del resto. No se ha podido incorporar el umbral divisor entre colores grises (chapa) y blancos (losa). Esto se debe a que allí la imagen satelital pierde definición, o presenta errores. Comparando con los resultados en imagen aérea, podemos observar que allí no han sido detectados los edificios con techos de tejas.

### iii. Cuantificar Perímetro de disipación vertical

Para delimitar y medir el perímetro la técnica utilizada es *detección de bordes* a partir de las imágenes resultantes del área de disipación horizontal. Los bordes de una imagen se pueden definir como transiciones entre dos regiones de niveles de gris significativamente distintos. Para detectarlos se utilizaron funciones de “Toolbox de imágenes” de entorno tipo MATLAB.

En la figura 5 se puede observar la imagen segmentada previamente, el perímetro obtenido a partir de imagen aérea y el perímetro obtenido a partir de imagen satelital, para su comparación.



Figura 5: Procedimiento para cuantificar el perímetro

Como conclusión podemos enunciar que los resultados a partir de imagen aérea presentan mayor regularidad en los bordes que a partir de imagen satelital. En la tabla 3 se muestran los resultados del perímetro de disipación vertical obtenidos por imagen aérea para cada manzana en píxeles y en metros lineales.

Segmentación- Imagen aérea- Variable	M1		M2		M3		M4	
	Píxeles	m	Píxeles	m	Píxeles	m	Píxeles	m
Perímetro de disipación vertical (m)	5635	1290 m	4788	1096 m	3921	897 m	2808	643 m

Tabla 3: Resultados numéricos obtenidos a partir de detección de bordes en imágenes aéreas para las cuatro manzanas indicando el Perímetro de disipación horizontal en píxeles y en m.

#### iv. Altura del área edificada

En este caso se utiliza técnica de *segmentación por umbralización y gradiente morfológico* sobre imágenes aéreas para la detección de las sombras arrojadas por los edificios. A partir de la sombra podemos obtener información sobre la altura. Una primera umbralización con valor de umbral 67 permite obtener una imagen binaria con todos los tipos de sombras arrojadas (de edificios, vegetación, medianeras, u otros objetos oscuros mal clasificados).

El paso siguiente es eliminar las sombras sin utilidad a nuestro análisis, aplicando operaciones morfológicas. Para ello es necesario contar con la siguiente información adicional: las imágenes binarias resultantes de la delimitación del área de disipación horizontal; y la ubicación del sol determinada por el usuario. Luego se seleccionan todas aquellas áreas de sombra que son arrojadas por las áreas construidas. Para el caso de la imagen tratada son todas aquellas (graficadas en color azul) que se encuentran por debajo de las superficies construidas (color rojo). Luego se eliminan todas aquellas superficies que no corresponden con este patrón.

Por ejemplo, las sombras verticales se eliminan *erosionando* la imagen resultante con un *elemento estructurante* rectangular de 10x1. Este elemento varía de acuerdo a la posición del sol. Luego se cierran las sombras abiertas con un elemento estructurante de tamaño 5x5, con una *operación de dilatación*. Finalmente se realiza un recorrido (que varía según la posición de la edificación respecto de la sombra) en el cual se eliminan sombras que no corresponden a ninguna edificación detectada.

En la figura 6 podemos observar la sucesión de imágenes con la imagen aérea original con la posición del sol y la definición de los tipos de sombras existentes (en azul la sombra de edificios, en verde las sombras sin utilidad). A su lado el histograma que permite dividir las sombras arrojadas del resto y la imagen resultante. Finalmente se presenta una imagen binaria que combina el *Área de disipación horizontal* con su sombra arrojada, donde se han eliminado las sombras que no son de interés.

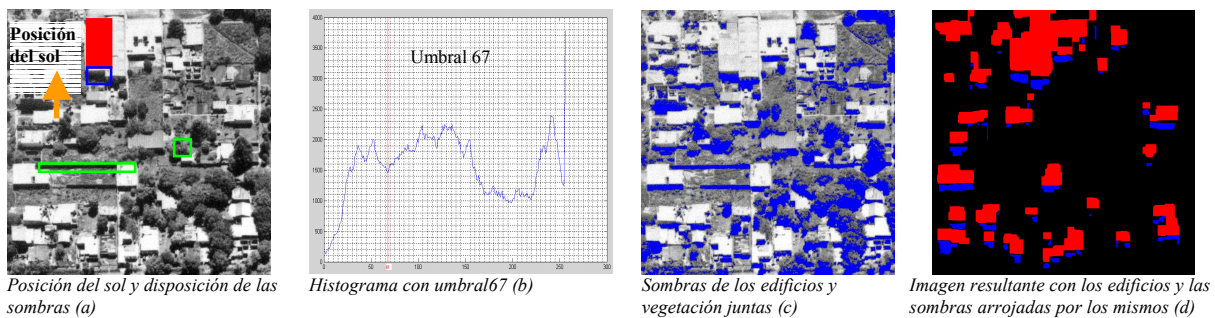


Figura 6: Procedimiento para determinar la altura de la edificación

La altura de la edificación se deduce a partir de contar con la información de ángulo de altura solar y el largo de la sombra arrojada. De no contar con esta información se podría determinar en función de una situación real tomada como referencia en forma manual.

Los desarrollos expuestos demuestran que los métodos semi-automáticos avanzados han permitido simplificar el relevamiento urbano, minimizando el trabajo de campo reduciendo el tiempo del operador. A continuación se plantea contrastar los resultados numéricos de este relevamiento con el relevamiento manual (patrón) con el objeto de estimar el grado de error de la metodología propuesta y sus causales (las imágenes o el operador).

#### 4 ESTIMACIÓN DEL ERROR

En primer lugar se estima el error en el *Área de disipación horizontal* como se observa en la figura 7. Para ello se emplea una matriz de confusión cuyos coeficientes permiten por un lado medir la calidad de los resultados al compararlos con la “verdad de la manzana”, que son los datos relevados de manera manual. Por otro lado permite comprender en forma gráfica y numérica el contraste de ambos resultados. En segundo lugar se estima el error en el *Perímetro de disipación vertical* como se observa en la figura 8. Para ello se cuenta la cantidad de píxeles encontrados tanto en el relevamiento manual como en el relevamiento semi-automático avanzado. Con respecto a la detección del *Sistema Constructivo del área horizontal- Techos*, y de la *Altura del área edificada* se requiere de un mayor desarrollo futuro para evaluar su grado de error.

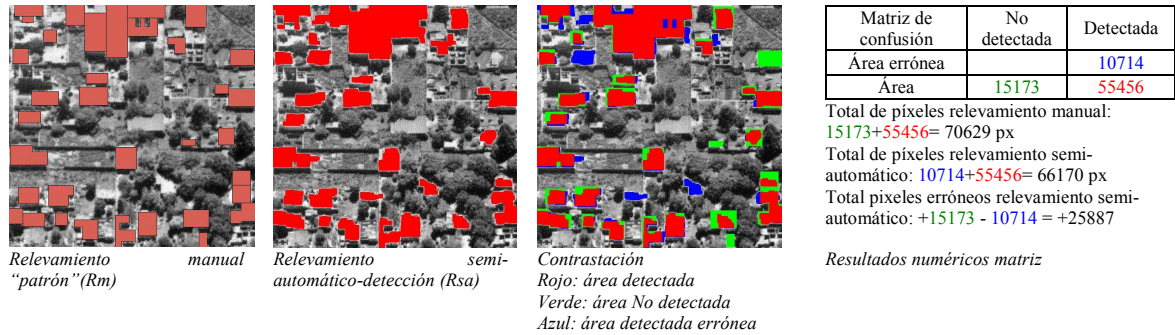


Figura 7: Ejemplo de matriz de estimación de errores en forma automática. Contraste de los dos relevamientos.

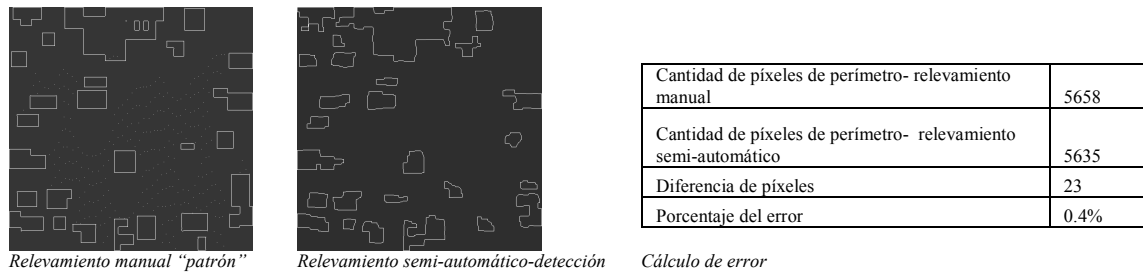


Figura 8: Ejemplo de comparación del perímetro obtenido por ambos relevamientos.

En la tabla 4 se observa el resumen de los datos obtenidos mediante los dos procedimientos para el *Área de disipación horizontal* y el *Perímetro de disipación vertical*. La diferencia entre ambos se muestra en forma porcentual (error relativo).

Variable	Manzana 1			Manzana 2			Manzana 3			Manzana 4		
	Rm (px)	Rsa (px)	E%	Rm (px)	Rsa (px)	E%	Rm (px)	Rsa (px)	E%	Rm (px)	Rsa (px)	E%
Área de disipación horizontal (m <sup>2</sup> )	Área Errónea detectada	-	+10714	-	+7496	-	-	+14380	-	-	+13078	-
	Área No detectada	-	-15173	-	-22702	-	-	-12863	-	-	-10342	-
	Diferencia	-	-4459	-	-15206	-	-	+1517	-	-	+2736	-
	Área detectada	70629	66170	+7	58751	43545	+26	28530	30047	-5	21911	24647
Perímetro de disipación vertical	5658	5635	+0.4	5064	4788	+5.4	2643	3921	-48	2311	2808	-21

Tabla 4: Comparación de los resultados obtenidos por relevamiento en forma manual (Rm) con los obtenidos por relevamiento a partir de segmentación en forma semi-automática (Rsa).

El cálculo del *área de disipación horizontal* semi-automática tiene un error máximo que varía entre +26 % y - 12%. Este error está causado porque los objetos no cuentan con una iluminación uniforme (heterogeneidad), o por la baja calidad o mala adquisición de la imagen, la cuál presenta “ruido”. Como el procedimiento es indirecto a partir de imágenes que son representaciones en dos dimensiones de objetos en tres dimensiones, podemos encontrar la detección de información que no es propia del plano estudiado.

El error encontrado en el *área No detectada* se debe en este caso a que las imágenes utilizadas para este cálculo son las aéreas en blanco y negro. En ellas las áreas no detectadas poseen una tonalidad oscura (techos de tejas) que la herramienta no detecta. Este es el caso de la manzana 2 que presenta un 52 % de áreas construidas no detectadas respecto del total. Este error puede solucionarse utilizando imágenes satelitales color. El error encontrado en el *área Errónea detectada* como construida se debe a que la misma está compuesta por zonas confusas de la imagen con excesivo brillo debido al reflejo del suelo, las cuáles son despreciadas por operador manual y no por la herramienta. El operador posee un conocimiento previo sobre el sector en estudio que no es sencillo automatizar. Este es el caso de las manzanas 3 y 4 donde encontramos valores muy altos de esta variable (aprox. 50 % del total detectado).

El cálculo del *perímetro de disipación vertical* semi-automático presenta un error que oscila entre +5.4 % y -48 %. El máximo error se encontró en las manzanas 3 y 4 donde se registran valores muy altos de *área Errónea detectada* lo que deviene en un elevado valor de píxeles de perímetro detectados.

## 5 CONCLUSIONES

A modo de conclusión se ha podido verificar que los procedimientos de relevamiento en forma manual requieren de un gran esfuerzo por parte del operador para obtener los resultados esperados. Los procedimientos semi-automáticos mejoran la velocidad de la adquisición de los datos y reducen la fatiga del operador, obteniéndose casi la totalidad de la información requerida. Los procedimientos automáticos reducen en forma significativa el tiempo de adquisición y brindan un máximo de precisión e información, pero los recursos necesarios no son de libre acceso.

La metodología planteada en este trabajo, la cuál podríamos definir como “automática parametrizada” a partir del uso de técnicas de segmentación de imágenes aéreas y satelitales de libre acceso, ha permitido avanzar en el relevamiento de mosaicos urbanos con un significativo grado de aproximación. Los errores detectados pueden ser reducidos a partir de la combinación de las técnicas desarrolladas en este trabajo y de la interacción entre imágenes aéreas, satelitales y las resultantes de los procesos de segmentación. Asimismo es posible incorporar una etapa final donde el operador intervenga eliminando objetos clasificados en forma errónea. Es necesario corregir y aplicar la metodología en otros sectores para verificar su efectividad.

Con respecto a los cuatro requerimientos específicos planteados a la metodología podemos concluir que:

- En la detección del “área de disipación horizontal” y del “perímetro de disipación vertical” se han obtenido los resultados esperados, los cuáles deberán ajustarse en aplicaciones futuras.
- En cuanto a la detección del “sistema Constructivo del área de disipación horizontal” y la determinación de la “altura del área edificada” es necesario ampliar las investigaciones. En el primer caso se verifica la necesidad de utilizar ambos tipos de imágenes (aéreas y satelitales) para determinar la materialidad de la superficie horizontal. Se debe tener en cuenta que ambas imágenes hayan sido tomadas en la misma época. En el segundo caso se debe avanzar en la automatización del procedimiento en función de parametrizar al máximo la información que la computadora no puede conocer.

Dentro de las actividades futuras se plantea la búsqueda de herramientas que permitan obtener la información en archivo vectorial. Por otro lado, el paso siguiente se centrará en la búsqueda de sectores de similares características al analizado (entendidos como patrones urbano-morfológicos), expandiendo los resultados al área urbana mayor. Esta tarea consiste en la asignación de las características a diferentes clases (clasificación), para lo cuál es necesario diseñar un clasificador, “entrenarlo” y evaluar su rendimiento.

## 6 REFERENCIAS

- Departamento de Física Matemática y Fluidos. Facultad de Cs Universidad Nacional de Educación a Distancia  
“Segmentación 1” y “Segmentación 3”. En [www.dfmf.uned.es/actividades/no\\_reglada/laboratorio/Segmentacion1](http://www.dfmf.uned.es/actividades/no_reglada/laboratorio/Segmentacion1).  
(10/08/08)
- Rodríguez dos Santos D. y Basso M. A. (2007). Deteccao automatica de sombras e hipótesis de edificacoes em imagens digitais. Publicación de las *XV jornadas de jóvenes investigadores de la AUGM. Investigación, integración y desarrollo*. 11 páginas, Asunción del Paraguay, Paraguay.
- Rosenfeld, E. Ias, Fipe (1987) Proyecto Audibaires: Plan piloto de evaluación energética en Capital Federal y Gran Buenos Aires. Informe final del proyecto, Biblioteca de la Comisión de Investigaciones Científicas de BA, La Plata, Argentina.
- Rosenfeld E. y Czajkowski J. (1992). *Catálogo de tipologías de viviendas urbanas en el área metropolitana de Buenos Aires. Su funcionamiento energético y bioclimático*, 1º edición, Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP.
- Tuy Vu T., Yamazaki F. y Matsuoka M. (2006) Objet-based extraction of building features from LiDAR and aerial photograph- MORPHOSCALE method. En *4<sup>th</sup> International workshop on remote sensing for post-disaster response*, 6 páginas, Cambridge UK. Consultar en [http://www.arct.cam.ac.uk/curve/4thInt\\_workshop.html](http://www.arct.cam.ac.uk/curve/4thInt_workshop.html).
- The MathWorks, Inc. *Image Processing Toolbox 4.2. User's guide*. 2007. URL:  
[www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/fp754.html](http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/fuzzy/fp754.html) Accessed: 1-8-2008.
- Viegas G., Melchiori M., San Juan G., Rosenfeld E. y Discoli C. (2006). Análisis de impacto ambiental urbano a partir de la aplicación de medidas correctoras en el consumo energético. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Volumen 10, pp. 01.97 a 01.104.
- Viegas G., San Juan G., Discoli C. (2007). Comportamiento térmico energético de Tipologías representativas pertenecientes a Mosaicos urbanos de la ciudad de La Plata. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Volumen 11, pp. 01.41 a 01.48.
- Vosselman G. “Cartographic Feature Extraction”. 1998. [www.itc.nl/personal/vosselman.1998/bonn](http://www.itc.nl/personal/vosselman.1998/bonn). (10/08/08)

**ABSTRACT:** The study of reduced sectors representatives of homogeneous urban areas- urban mosaics- allows estimating the application of alternative energy systems and the implementation of energy efficiency use strategies. The purpose of this work is to explore tools and processes (manual, automatic, and semi-automatic) to improve the urban mosaics survey. The analyzed tools are based on the object interpretation of urban images. According to the instrumental viability and available resources, the image segmentation techniques to aeriels and satelital images were selected for its application on a “pattern” urban mosaic. The methodology deepens on the following variables: i. horizontal dissipation area; ii. Building system of the horizontal dissipation area- Roofs; iii. Vertical dissipation perimeter; iv. Building height area. The obtained results allowed us making more efficient surveys by a process designated as “automatic with parameters” with the operator participation.

**Keywords:** Urban survey- Urban mosaics - Image segmentation- Energy potential.