

# DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE EDIFICIOS COMBINANDO IMÁGENES DE SATÉLITE Y DATOS LIDAR

Txomin Hermosilla; Luis Ángel Ruiz,  
Grupo de Cartografía GeoAmbiental y Teledetección  
Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría  
Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n 46022 Valencia  
txohergo@topo.upv.es

**Palabras clave:** Detección de edificios; Teledetección; Lidar; QuickBird.

## Resumen

En este trabajo se comparan dos metodologías de automatización para la detección y localización de edificios en las que se combina información espectral proveniente de imágenes *QuickBird* y datos altimétricos obtenidos a partir de tecnología Lidar aerotransportado. Las metodologías analizadas son las que más comúnmente se emplean al trabajar con estos datos: la clasificación orientada a objetos y el establecimiento de umbrales simples. La primera consta de cuatro partes diferenciadas: (1) segmentación del modelo digital de superficies normalizado, (2) extracción de parámetros que caractericen los objetos resultantes de la clasificación, (3) clasificación, y (4) refinado de los objetos clasificados como edificios. La metodología de establecimiento de umbrales simples consiste en la definición de valores de alturas y de presencia de vegetación a partir de los cuales se crean máscaras con las que se obtienen los edificios. Para completar el estudio se ha analizado la influencia del empleo de las relaciones contextuales con las sombras sobre la calidad de la detección. Los procedimientos se han aplicado en tres entornos diferentes: urbano, periurbano e industrial, y su evaluación estadística se ha realizado utilizando dos enfoques: por un lado, evaluando la calidad en la detección de las zonas que contienen edificios (evaluación por área ó por píxel) y, por el otro, comprobando la eficacia en la identificación de los edificios como unidades independientes (evaluación por objeto).

## 1 Introducción

La actualización de la información contenida en las bases de datos cartográficas es una tarea fundamental para una correcta gestión del territorio. El alto grado de dinamismo que caracteriza a nuestro territorio hace que, principalmente, las zonas periurbanas se hallen sometidas a una fuerte presión debida a la construcción de nuevas viviendas y edificaciones que deriva en una constante alteración de sus paisajes y usos característicos. Por ello, es necesario emplear una metodología rápida, eficiente y sistemática para el permanente mantenimiento y actualización de la información sobre nuevas edificaciones, ya que en la actualidad estos procedimientos requieren de un gran esfuerzo económico y de recursos humanos.

La utilización de información obtenida a través de técnicas de teledetección y el tratamiento digital de estas imágenes facilita la actualización cartográfica. La detección y localización automática de edificios, así como de otros elementos propios de entornos urbanos y periurbanos, es una tarea compleja de realizar mediante técnicas de procesado digital de imágenes. Es por ello por lo que un gran número de autores ha realizado investigaciones en esta área, proponiendo diferentes metodologías que no han llegado a ofrecer una solución completamente satisfactoria.

En [1] se distingue, en función de las fuentes de información utilizadas, dos tipologías principales de métodos para la detección y localización de edificios. La primera se basa únicamente en imágenes aéreas o de satélite, combinando algoritmos de procesado de imágenes con distintos métodos de reconocimiento de formas o de clasificación. Estos métodos tienen una serie de dificultades técnicas que deben solucionarse, principalmente la ausencia de una tridimensionalidad explícita. La segunda tipología de métodos realiza la detección de los edificios combinando información de la imagen con información altimétrica, derivada por técnicas de estereoscopia ó utilizando otras fuentes más modernas, como los sistemas de láser escáner.

Durante décadas, se han utilizado imágenes aéreas de alta resolución para la extracción de edificios con finalidades cartográficas. Con el sucesivo auge de los satélites comerciales dotados de sensores de mayor resolución, las imágenes de satélite se han presentado como una buena alternativa al coste de las fotografías aéreas para ciertas aplicaciones [2]. La detección de edificios utilizando metodologías basadas en imágenes aéreas o de satélite supone, aún hoy en día, una tarea difícil, puesto que los edificios pueden mostrarse como estructuras complejas con muchos detalles arquitectónicos, o estar rodeados por objetos que ocluyan o disturben su detección [3]. Además, las respuestas espectrales de los tejados son muy diferentes debido a la versatilidad de materiales empleados en su construcción. Esta problemática requiere, por tanto, la utilización no sólo de técnicas de visión de

bajo nivel (*low-level vision*), como extracción de bordes o detección de alineaciones, sino también de técnicas de visión de nivel medio o alto (*high-level vision*), como son el reconocimiento de formas o la clasificación [3]. Pese a las carencias que suponen la utilización únicamente de información bidimensional, cabe destacar cómo muchos de los trabajos realizados suplen la ausencia de información de altitud mediante la utilización de las sombras como elemento implícito de la tridimensionalidad e indicio de la presencia de edificios y otras construcciones. Así, en función de las metodologías utilizadas, las técnicas de localización de edificios empleando únicamente imágenes pueden dividirse en dos grandes grupos: de bajo nivel y de alto nivel. Las técnicas de bajo nivel consisten, fundamentalmente, en la detección y extracción de bordes y líneas de las imágenes y la posterior construcción de una serie de reglas o hipótesis que éstas han de cumplir para ser definidas como pertenecientes a edificios. Destacan dentro de este conjunto de técnicas los trabajos descritos en [4], [5], [6], [3], [7] y [8]. Por su parte, las técnicas de procesamiento digital de imágenes de alto nivel están basadas en el conocimiento y las metodologías necesarias para la consecución de estos objetivos. Estas técnicas tratan de imitar la cognición humana y la habilidad de tomar decisiones en función de la información contenida en la imagen. Así, metodologías propias de estas técnicas son la detección de objetos, el reconocimiento de formas y patrones, y la clasificación de imágenes. Cabe citar a este respecto los trabajos desarrollados por [2], [9], [1], [10] y [11].

La detección de edificios utilizando, además de las imágenes de satélite, información altimétrica, conlleva una menor dificultad y proporciona mejores resultados que los obtenidos empleando únicamente imágenes. La información altimétrica procede de dos fuentes diferentes: de técnicas fotogramétricas o a partir de datos tomados con escáneres láser aerotransportados. La mayor parte de los autores recurre a la clasificación a nivel de objetos generados por segmentación automática basados en criterios de homogeneidad. Los objetos son caracterizados, además de por sus respuestas espectrales, de textura, tamaño y de forma, a través de la información tridimensional. ([12], [13], [14], [15], [16], [17]). Otros autores se decantan por obtener unos primeros edificios candidatos a partir de umbralizaciones del modelo de superficies normalizado (nDSM) y el enmascaramiento de la vegetación utilizando la información multispectral, principalmente el índice de vegetación NDVI. Para concluir, los objetos candidatos son aceptados o rechazados en función de su rugosidad ([18], [19]) o tamaño ([20], [21]).

En este documento se presenta un estudio sobre la detección de edificios combinando información espectral y altimétrica, de forma que se realiza una comparación de las dos principales metodologías empleadas al trabajar con estas fuentes de información: la clasificación orientada a objetos y el establecimiento de umbrales. Para ello, se han aplicado ambas metodologías sobre una zona en la que existe una diversidad de tipologías de edificación, de la cual se cuenta con datos Lidar e imágenes de satélite de alta resolución. Se incluye además información referente a las relaciones contextuales con las sombras presentes en la imagen con el fin valorar su impacto en la detección de edificios.

## 2 Zona de estudio y datos empleados

El estudio ha sido llevado a cabo en el término municipal de Moncada, en la provincia de Valencia (España). Se trata de un municipio próximo a la ciudad de Valencia, que contiene un área urbana densa consolidada, con grandes extensiones de viviendas unifamiliares y con varias zonas industriales.

La imagen de empleada proviene del satélite *QuickBird* y fue capturada en febrero de 2004, con una resolución espacial de 0,6 metros/píxel en las cuatro bandas (infrarrojo, rojo, verde y azul) obtenida al realizar un procedimiento de fusión por el método de componentes principales, que consiste en la sustitución del primer componente principal por la imagen pancromática. Su resolución radiométrica es de 11 bits y las bandas multispectrales tienen los siguientes intervalos de longitud de onda: 0.45 - 0.52  $\mu\text{m}$  (B), 0.52 - 0.60  $\mu\text{m}$  (G), 0.63 - 0.69  $\mu\text{m}$  (R), y 0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$  (IR).

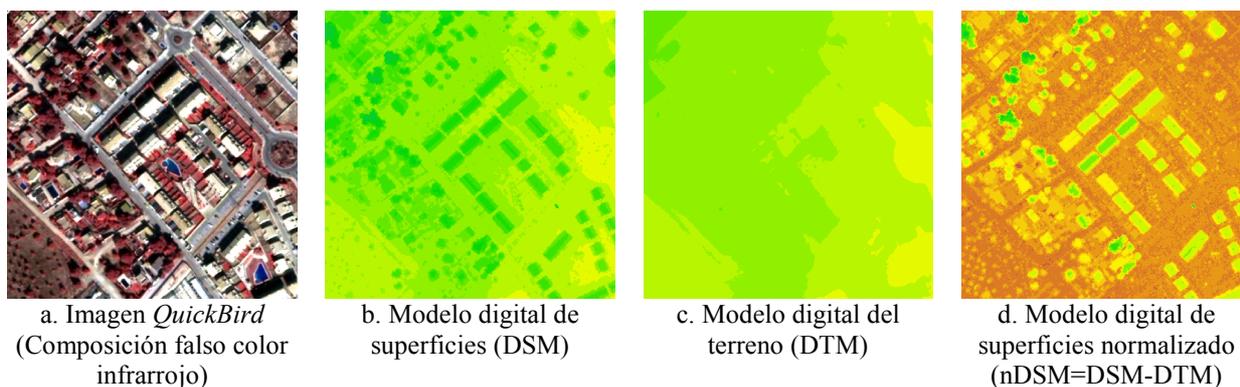


Figura 1: Datos empleados.

Los datos Lidar fueron tomados en diciembre de 2003 desde un escáner láser aerotransportado modelo Optech's ALTM 2033. El sistema ALTM (*Airborne Laserscanner Terrain Mapper*) dispone de un escáner láser de pulsos de longitud de onda 1064 nm, un GPS diferencial para medir la posición del avión y sistema inercial para definir su orientación. La frecuencia de los pulsos láser es de 33Khz permitiendo, por lo tanto, registrar 33000 puntos por segundo. Los datos facilitados y empleados para el estudio son el modelo digital de superficies (DSM) y el modelo digital del terreno (DTM) obtenidos ambos a partir de los puntos Lidar con una resolución de un metro: Con ambos modelos que se ha calculado el nDSM.

### 3 Metodologías analizadas

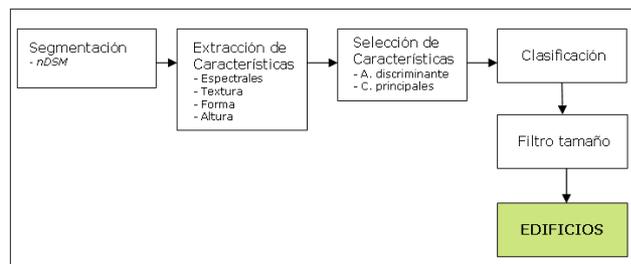


Figura 2: Esquema del algoritmo de detección de edificios basado en clasificación orientada a objetos.

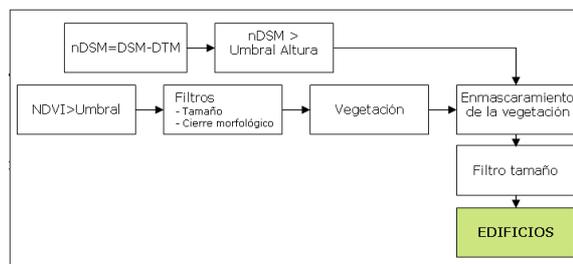


Figura 3: Esquema del algoritmo de detección de edificios basado en establecimiento de umbrales.

#### 3.1 Método de clasificación orientada a objetos

En la figura 2 se muestra el esquema del método de detección de edificios aplicando la clasificación orientada a objetos. El primer paso de esta metodología consiste en la **segmentación** de la imagen para generar los objetos que serán posteriormente clasificados. Se utilizará únicamente información altimétrica para realizar la segmentación, más específicamente el nDSM. Se rechaza el empleo de información espectral para segmentar debido a que las respuestas espectrales presentes en un mismo edificio pueden llegar a ser muy diferentes entre sí, lo cuál produciría una sobresegmentación del área de estudio, dificultando así la clasificación. El algoritmo utilizado para segmentar el nDSM ha sido el de crecimiento por regiones, que comienza con objetos de un único píxel que, en pasos sucesivos, se mezclan con otros generando agrupaciones mayores, a la vez que se calcula cómo varía la heterogeneidad de estos. Se unirán aquellos objetos adyacentes que minimicen esta modificación de la heterogeneidad en función del factor de escala, que es una medida especificada por el usuario que representa el máximo cambio en heterogeneidad aceptado cuando dos objetos son unidos. La definición de este factor conlleva la definición indirecta del tamaño de los objetos resultantes de la segmentación, puesto que cuanto mayor sea el cambio permitido, mayores serán los objetos resultantes. La selección del factor de escala se ha efectuado empíricamente, buscando aquel valor que permitiera aislar en un único objeto a los edificios de menor tamaño, y no causara una excesiva división de los edificios mayores.

Una vez definidos los objetos, el siguiente paso es la **extracción de características** descriptoras que permitan su clasificación. Se han definido características de cinco tipos diferentes: espectrales, de textura, de forma, de altura y de contexto. Las características espectrales proporcionan información sobre la respuesta espectral de los objetos, que depende de los tipos de cobertura, estados fisiológicos de la vegetación, composición del suelo, materiales de construcción, etc. Se ha calculado los valores de media y desviación típica del valor de intensidad para las bandas espectrales, así como para el índice NDVI. Las características de textura aportan información acerca de la distribución espacial de los valores de intensidad en la imagen. Se obtuvieron las características de textura de la matriz de co-ocurrencias de los niveles de gris e intensidad de bordes. Las características de forma describen la complejidad del contorno de los objetos. Se utilizaron, además del área, índices basados en ratios entre el área y el perímetro como la compacidad [22], el índice de forma y la dimensión fractal [23]. Las características de altura son aquellas derivadas de los datos Lidar, más concretamente del nDSM. Así, se calcularon descriptores referentes a la media y la desviación de la altura de cada objeto, la rugosidad y otros derivados del histograma de cotas de cada objeto. Por último, se han incluido unas características de contexto que introducen información sobre los objetos contiguos al analizado. Estas características son referentes a la media y la desviación típica de los valores de NDVI y a la media y desviación de los valores de altura de los objetos vecinos al estudiado.

Debido al alto número de características calculadas, algunas de ellas probablemente presenten información redundante. La inclusión de estas puede actuar como ruido y dificultar una eficiente clasificación de los objetos. Se ha aplicado el método de análisis de componentes principales para agrupar e interpretar las redundancias en la información proporcionada por los parámetros analizados. Además, se han calculado e interpretado las correlaciones entre todas las características extraídas. El proceso de **selección** de variables descriptoras se ha

completado mediante un análisis discriminante paso a paso en el que se han estudiado las relaciones entre las características y su contribución a la fiabilidad global de la clasificación.

La **clasificación** de los objetos se ha realizado mediante la técnica de árboles de decisión. Un árbol de decisión es un conjunto de condiciones organizadas en una estructura jerárquica, de tal manera que la clase a asignar a un objeto se puede determinar siguiendo las condiciones que se cumplen desde la raíz del árbol hasta alguna de sus hojas. El algoritmo utilizado para la creación de los árboles de clasificación es el C5. Para crear un árbol de decisión se ha de proporcionar al algoritmo un conjunto de muestras de las que se dispongan tanto sus características descriptoras como la clase a la que pertenecen. Este conjunto de muestras se va dividiendo utilizando condiciones excluyentes entre sí, hasta llegar a generar subgrupos donde todos los elementos pertenecen a la misma clase. Las condiciones o reglas deducidas para el conjunto de muestras de entrenamiento se utilizan para clasificar el conjunto de objetos. En la clasificación de los objetos de la imagen se han utilizado diez árboles de clasificación, aplicando el método multclasificador *boosting*, que permite aumentar la precisión de las clasificaciones [24]. Según este método, la clase asignada a cada objeto es la más frecuente entre las predicciones de los diez árboles de decisión.

Las clases seleccionadas para realizar la clasificación se encuentran especialmente enfocadas a la discriminación de la mayor variedad de edificios, por lo que se definieron clases correspondientes a las distintas tipologías de edificios presentes en el área de estudio, como son la tipología de edificio urbano, industrial y unifamiliar, además de clases referentes a zonas con vegetación, arbóreas, suelo y vías de comunicación.

El paso final para la definición de los edificios detectados es la selección y el agrupamiento de aquellos objetos que han sido clasificados en cualquiera de las clases de edificios definidas. A estos se les aplica un cierre morfológico que permita simplificar sus formas, así como un filtrado en función del tamaño con el fin de eliminar objetos muy pequeños.

### *3.2 Método basado en el establecimiento de umbrales*

Este método de detección de edificios consiste fundamentalmente en la definición de dos valores de umbralización, uno en altura y otro con respecto a la presencia o densidad de vegetación, tal y como se muestra en el esquema de la figura 3. El umbral con respecto a las alturas de los edificios se establece sobre el nDSM. Para aislar y enmascarar la vegetación se establece un umbral sobre la imagen del NDVI. El procedimiento es similar en ambos casos, tomándose muestras de entrenamiento de las áreas que se desea diferenciar: el suelo de las zonas con edificios, y las áreas sin vegetación de las zonas arboladas. Una vez tomadas las muestras se calculan ambos histogramas y se aproximan posteriormente a curvas gaussianas con el fin de simplificar su forma. El valor umbral es el correspondiente a la intersección de ambas curvas. A la máscara resultante de la umbralización de la vegetación se le aplica un filtro de cierre morfológico, descartando los objetos muy pequeños. El último paso es la combinación de ambas máscaras obteniéndose objetos que, una vez refinadas sus formas y eliminados los de menor tamaño, representarán los edificios detectados.

### *3.3 Detección de las sombras y estudio de las relaciones contextuales con los edificios*

La gran densidad de objetos y, especialmente, la alta proporción de zonas cubiertas por sombras son los principales problemas que se presentan al detectar edificios utilizando imágenes de alta resolución [25]. Pese a ello, muchas de las metodologías propuestas se benefician de la presencia de sombras para realizar la detección de edificios. Igualmente, se cuenta con la ventaja de que las sombras proyectadas por los objetos construidos por el hombre son generalmente homogéneas [26], lo cual facilita su estudio y análisis.

En este trabajo se ha seguido la metodología descrita en [11]. Según ella, las sombras se detectan trabajando sobre el primer componente principal de las bandas de la imagen de satélite, en el que se busca el valor de intensidad que permite aislar mejor las sombras mediante una umbralización de la imagen. Para encontrar el valor umbral, se seleccionan regiones pertenecientes tanto a zonas con sombras como a zonas libres de éstas. Una vez obtenidas las muestras, se calculan los histogramas de ambos grupos, que son posteriormente parametrizados mediante curvas gaussianas a efectos de simplificación. La intersección de ambas curvas define el valor que permite separar las zonas que se encuentran en sombra. Con el propósito de suavizar las formas detectadas y eliminar ruido se aplica un filtro de cierre morfológico y descartan los objetos demasiado pequeños.

Una vez detectadas y refinadas las sombras, se establece como criterio la necesidad de que los objetos detectados como edificios en cualquiera de las metodologías descritas deben ser contiguos a una sombra proyectada siguiendo la dirección del ángulo de incidencia solar. Las figuras 4 y 5 muestran el aspecto final de los esquemas de los algoritmos de detección de edificios al añadirse las relaciones contextuales con las sombras.

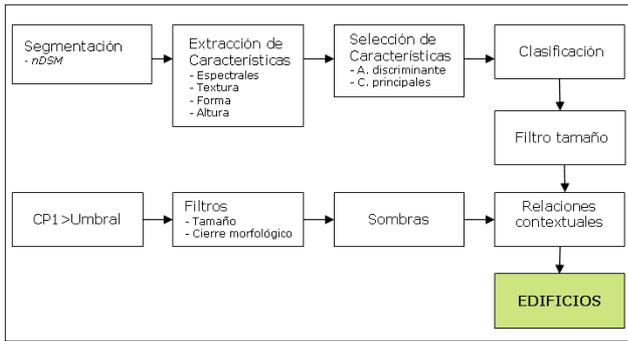


Figura 4: Esquema del algoritmo de detección de edificios basado en clasificación orientada a objetos y en relaciones contextuales con las sombras.

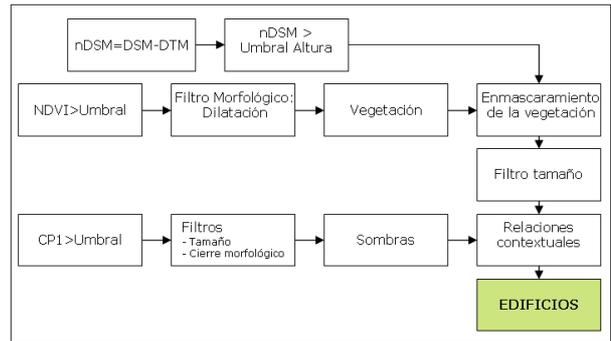


Figura 5: Esquema del algoritmo de detección de edificios basado en el establecimiento de umbrales y en relaciones contextuales con las sombras.

### 3.4 Metodología de evaluación

La evaluación del rendimiento de una metodología de detección desde un punto estadístico es necesaria y fundamental para el conocimiento preciso de su funcionamiento y capacidades. Por ello, además de la evaluación visual de los resultados, se ha efectuado una evaluación estadística de los métodos de detección de edificios atendiendo a dos niveles diferentes: a nivel de área o píxel, y a nivel de objeto. Para poder llevar a cabo la evaluación todos los edificios presentes en las zonas de ensayo fueron identificados y delineados manualmente, empleándose utilizados como referencia para la estimación de la eficiencia de la metodología analizada.

La evaluación por área, se ha efectuado utilizando el conjunto de parámetros estadísticos definidos en [27]. Los edificios detectados y los de referencia se comparan geográficamente, de forma que las áreas quedan categorizadas en cuatro tipologías distintas: (1) Positivo Verdadero (*True Positive*, TP). áreas que contienen edificios automáticamente detectados y de referencia. (2) Negativo Verdadero (*True Negative*, TN). áreas que no contienen edificios automáticamente detectados ni de referencia. (3) Falso Positivo (*False Positive*, FP): áreas automáticamente detectadas como edificios pero que no lo son. (4) Falso Negativo (*False Negative*, FN): áreas que no son automáticamente detectadas como edificios pero que sí lo son.

A partir de valores se aplican los parámetros de evaluación mostrados en la tabla 1: se determinan los parámetros estadísticos de evaluación: (a) Factor de exceso (*Branching Factor*) que constituye una medida del error por exceso, en el que el sistema detecta incorrectamente como edificios elementos que no lo son. (b) Factor de defecto (*Miss Factor*) que indica el error de omisión cometido, esto es, edificios reales que no se detectan automáticamente como tales. (c) El porcentaje de detección denota el porcentaje de superficie de edificios reales correctamente detectado mediante el proceso automático y es análogo al factor de defecto. (d) El porcentaje de calidad informa sobre la calidad absoluta de la detección y localización de edificios. Esta última es la medida más estricta, puesto que para la obtención de un 100% de calidad, el algoritmo debería detectar correctamente toda superficie edificada (FN = 0), sin incluir ningún elemento que no lo sea (FP = 0).

$\frac{FP}{TP}$	$\frac{FN}{TP}$	$100 \cdot \frac{TP}{TP + FN}$	$100 \cdot \frac{TP}{TP + FP + FN}$
a. Factor de exceso	b. Factor de defecto	c. Porcentaje de detección	d. Porcentaje de calidad

Tabla 1: Parámetros estadísticos de evaluación a nivel de áreas

Para realizar la evaluación a nivel de objeto de la detección se emplean los índices de corrección y completión, que hacen referencia al exceso y defecto en la detección de los edificios, respectivamente. El índice de corrección (*correctness*) es un factor del exceso de detección e indica el porcentaje del número de edificios detectados que se solapan, al menos en parte, con la posición de un edificio real presente en la imagen. El índice de completión (*completeness*) hace referencia al factor de defecto de la detección y explica el porcentaje de edificios reales que se solapan por edificios automáticamente detectados.

La eficiencia de los métodos propuestos se ha evaluado en tres entornos diferentes dentro del municipio: urbano, periurbano y zonas industriales.

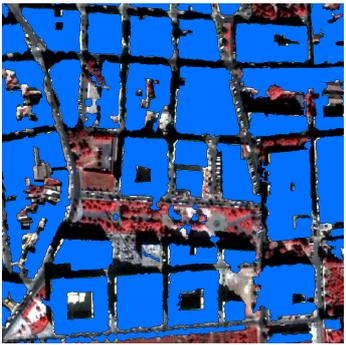
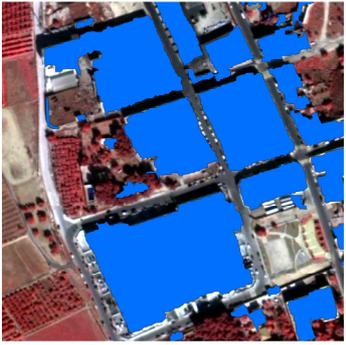
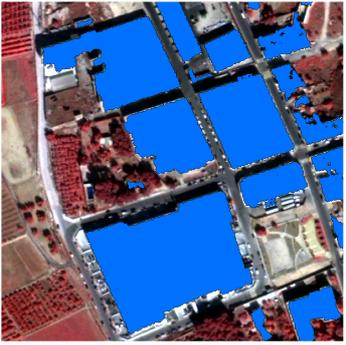
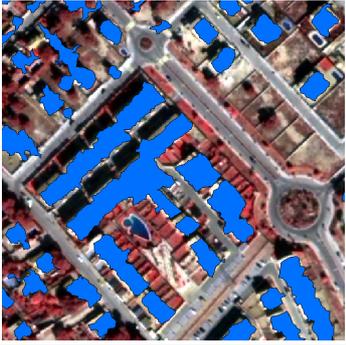
Zona	Imagen <i>QuickBird</i> (Color Infrarrojo)	Método de clasificación	Método de umbrales
Urbana			
Industrial			
Periurbana			

Figura 6. Detalles de la detección de edificios (en azul) por los dos métodos ensayados en las tres zonas evaluadas y utilizando las relaciones contextuales con las sombras.

#### 4 Resultados

La figura 6 muestra tres detalles comparativos de los resultados obtenidos empleando los dos métodos descritos para la detección de edificios, junto con las relaciones contextuales con las sombras. En entornos urbanos e industriales, el resultado obtenido empleando ambos métodos es similar si bien, al utilizar la clasificación, se produce una sobredetección de edificios en zonas abiertas, tales como parques, etc. Esto es corroborado por los resultados numéricos que se recogen en las tablas 2 y 3, dónde los valores que presenta el factor de exceso, aunque de baja magnitud, son siempre mayores al aplicar el método de clasificación. Los porcentajes de detección conseguidos con ambas metodologías son muy elevados.

En zonas periurbanas, el factor de exceso que produce el método de clasificación triplica prácticamente el obtenido con el método de umbralización. La figura 6 muestra cómo los edificios detectados con el método de clasificación contienen en un mismo objeto varios edificios reales, mientras que al utilizar umbralización aparecen independientes y aislados. Los porcentajes de detección de las áreas periurbanas son notablemente menores a los obtenidos en las zonas urbanas e industriales, aunque muestran altos valores, superiores al 80% en todos los casos.

La aplicación de las relaciones contextuales con las sombras tiene un efecto restrictivo, como se muestra en la figura 7, por lo que la aplicación de éstas implica, a nivel estadístico, una ligera reducción del factor de exceso y un pequeño aumento del factor de defecto. Con el método de clasificación, los resultados en las zonas urbanas son iguales cuando se utilizan las sombras que cuando no, al igual que en la zona periurbana. Esto es debido al gran tamaño de los objetos definidos en la detección que contienen en un mismo objeto varios edificios, por lo que al

aplicar las condiciones contextuales no se produce una eliminación sustancial de objetos. Analizando los resultados estadísticos a nivel de objetos se aprecia que la utilización de las sombras tampoco afecta. Los resultados son, por lo general, peores o equiparables a los obtenidos con el método de umbralización

Evaluación	Parámetro	Urbano		Industrial		Periurbano	
		Clasificación	Umbralización	Clasificación	Umbralización	Clasificación	Umbralización
Por áreas	Factor de exceso	0.17	0.11	0.08	0.06	0.70	0.27
	Factor de defecto	0.05	0.04	0.04	0.03	0.17	0.20
	Porcentaje de detección	95.07 %	96.18 %	96.54 %	97.45 %	85.61 %	83.66 %
	Porcentaje de calidad	81.70 %	87.08 %	89.64 %	92.46 %	53.64 %	68.13 %
Por objetos	Corrección	59.52 %	68.42 %	59.46 %	63.64 %	86.61 %	83.83 %
	Compleción	96.30 %	100 %	100 %	100 %	93.01 %	97.31 %

Tabla 2: Resultados estadísticos de la detección de edificios sin emplear las relaciones contextuales con sombras.

Evaluación	Parámetro	Urbano		Industrial		Periurbano	
		Clasificación	Umbralización	Clasificación	Umbralización	Clasificación	Umbralización
Por áreas	Factor de exceso	0.17	0.08	0.08	0.04	0.69	0.25
	Factor de defecto	0.05	0.05	0.04	0.03	0.17	0.24
	Porcentaje de detección	95.07 %	95.46 %	96.54 %	96.99 %	85.61 %	80.85 %
	Porcentaje de calidad	81.70 %	88.86 %	89.64 %	93.03 %	53.76 %	67.53 %
Por objetos	Corrección	59.52 %	76.47 %	59.46 %	76.67 %	87.30 %	94.23 %
	Compleción	96.30 %	100 %	100 %	100 %	93.01 %	92.47 %

Tabla 3: Resultados estadísticos de la detección de edificios empleando las relaciones contextuales con sombras.

El empleo de las sombras en el método de umbralización consigue prácticamente la equiparación de los factores de exceso y de defecto, lo que se traduce por lo general en un aumento del porcentaje de calidad, salvo en el caso de los edificios de las zonas periurbanas. A nivel de objeto se mejora la corrección (errores por exceso) en todos los casos, y se mantiene la completión (errores por defecto) en las zonas urbana e industrial, aumentando ligeramente los errores en las zonas periurbanas.

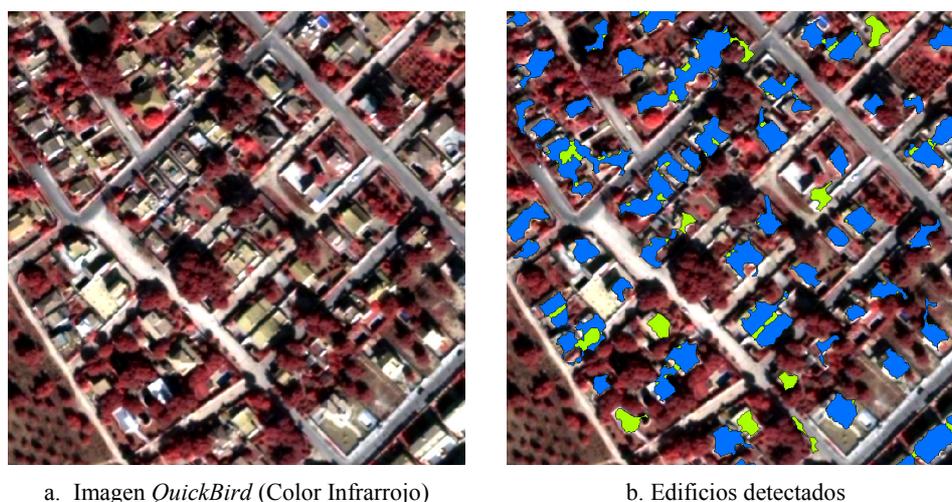


Figura 7. Resultados de la detección de edificios con el método de umbralización comparando la presencia (color azul) o ausencia (color verde y azul) de relaciones contextuales con las sombras.

## 5 Conclusiones

En este trabajo se proponen y comparan dos métodos de detección de edificios basados en la clasificación orientada a objetos y en el establecimiento de umbrales. Además, se ha probado el efecto que la inclusión de las relaciones contextuales de las sombras tiene en la detección de edificios. Los resultados muestran que el establecimiento de umbrales sencillos (altura y vegetación) proporciona, por lo general, mayor fiabilidad tanto a nivel de áreas como de objetos, que el empleo del método más complejo basado en clasificación, el cual requiere la selección de los datos con los que realizar la segmentación, la selección del método de segmentación, la extracción y selección de características descriptivas y la selección de un algoritmo de clasificación.

El empleo de las relaciones contextuales de los edificios detectados mediante el método de umbralización con las sombras supone una mejora significativa del parámetro de corrección a nivel de objeto en los tres entornos ensayados. A nivel de áreas, su utilización implica una ligera reducción del factor de exceso a la vez que un ligero aumento del factor de defecto. Estas variaciones apenas tienen una mejora en los valores del porcentaje de calidad antes y después de emplear las sombras.

Con este estudio se pone de manifiesto el gran potencial de las técnicas de teledetección en la detección automática de edificios, con el que se facilitaría la confección y actualización de bases de datos cartográficas de forma rápida y precisa.

## Referencias

- [1] Liu, Z.J., Wang, J., Liu, W.P., 2005. Building extraction from high resolution imagery based on multi-scale object oriented classification and probabilistic Hough transform. In: Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium 4, 2250- 2253
- [2] Wei, Y., Zhao, Z., Song, J., 2004. Urban building extraction from high-resolution satellite panchromatic image using clustering and edge detection. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium 3, 2008-2010.
- [3] Kim, T., Muller, J., 1999. Development of a graph based approach for building detection. Image and Vision Computing 17, 3-14.
- [4] Irvin, R.B., McKeown, D.M.Jr., 1989. Methods for exploiting the relationship between buildings and their shadows in aerial imagery, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 19, 1564-1575.
- [5] Lin, C., Huertas, A., Navatia, R., 1994. Detection of buildings using perceptual grouping and shadows. IEEE Computer Vision Pattern Recognition, 62-69.
- [6] Lin, C., Nevatia, R., 1998. Building detection and description from a single intensity image. Computer Vision and Image Understanding 72, 101-121.
- [7] Sohn, G., Dowman, I., 2001. Extraction of buildings from high resolution satellite data. In: Baltsavias, E., Gruen, A., Van Gool, L. (Eds.), Automated Extraction of Man-Made Object from Aerial and Space Images (III). Balkema Publishers, Lisse, pp.345- 355.
- [8] Kim, T., Lee, T.Y., Lim, Y.J., Kim, K.O., 2005. The use of voting strategy for building extraction from high resolution satellite images. In: Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2, 1269- 1272.
- [9] Duan J., Prinnet, V., Lu H., 2004. Building extraction in urban areas from satellite images using GIS data as prior information. In: Geosciences and Remote Sensing Symposium 7, 4762- 4764.
- [10] Li, H.Y., Wang, H.Q., Ding, C.B., 2006. A New Solution of Automatic Building Extraction in Remote Sensing Images, In: IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006., pp.3790-3793.
- [11] Hermosilla, T., Ruiz, L.A., Fdez. Sarriá, A., Recio, J.A., 2008. Detección automática de edificios en imágenes aéreas mediante técnicas de teledetección y análisis contextual. In: Congreso Internacional sobre Ingeniería Geomática y Topográfica, TOP-CART 2008. Febrero 2008, Valencia.
- [12] Kokubu, K., Kohiyama, M., Umemura F., Yamazaki, F., 2001. Automatic Detection of Building Properties from Aerial Photographs Using Color and 3D Configuration. Presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore.

- [13] Chen, L.C., Teo, T.A., Shao, Y.C., Lai, Y.C., and Rau, J.Y., 2004. Fusion of LIDAR Data and Optical Imagery for Building Modeling. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 35, 732-737.
- [14] Teo, T.A., Chen, L.C., 2004. Object-based building detection from LiDAR data and high resolution satellite imagery, In: *Proceedings of the 25th Asian Conference on Remote Sensing*. Chiang Mai, Thailand. 22 - 26 November.
- [15] Koc San, D., Turker, M., 2006. Automatic Building Detection and Delineation from High Resolution Space Images Using Model Based Approach. *Proceedings of the ISPRS Workshop on Topographic Mapping from Space (with Special Emphasis on Small Satellites)*, Ankara , Turkey , February 14-16.
- [16] Li, H., Gu, H., Han, Y., Yang, J., 2007. Fusion of High-Resolution Aerial Imagery and LIDAR Data for Object-oriented Urban Land-cover Classification Based on SVM. In: *ISPRS Workshop on Updating Geospatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs*. August 28-29. Urumchi, Xingjiang, China.
- [17] Oczipka, M., Bucher, T., Trosset, A., 2008. Mapping and updating maps in dense urban regions using high resolution digital airborne imagery, surface models and object-based classification. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008
- [18] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K., 2003. Building detection using LIDAR data and multispectral images. In: *Proceedings of DICTA*, Sydney, Australia, pp. 673–682.
- [19] Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K., 2004. Building Detection by Dempster-Shafer Fusion of LIDAR Data and Multispectral Aerial Imagery. *Proc. 17th International Conference on Pattern Recognition* 2, 339-342.
- [20] Vögtle, T., Steinle, E., 2000. 3D modelling of buildings using laser scanning and spectral information. In: *Geoinformation for all, XIXth Congress of the ISPRS, Amsterdam, The Netherlands, IAPRS*, vol. XXXII, Part B3, pp. 927–934.
- [21] Ferreira, J., Bernardino, A., 2006. Acquisition of 3D Regular Prismatic Models in Urban Environments from DSM and Orthoimages. In: *Symposium on Computational Modelling of Objects Represented in Images: Fundamentals, Methods and Applications*, Coimbra, Portugal.
- [22] Bogaert, J, R Rousseau, P V Hecke, I Impens, 2000, Alternative area-perimeter ratios for measurement of 2D shape compactness of habitats: *Applied Mathematics and Computation*, v. 11, p. 71-85.
- [23] Krummel, JR, R H Gardner, G Sugihara, V O'Neill, P R Coleman, 1987, Landscape patterns in a disturbed environment: *OIKOS*, v. 48, p. 321-324.
- [24] Freund, Y., 1995, Boosting a weak learning algorithm for majority. *Information and Computation*, 121, 256-285.
- [25] Madhavan, B.B., Tachibana, K., Sasagawa, T., Okada, H., Shimosuma, Y., 2004. Automatic Extraction of Shadow Regions in High-resolution Aerial Images. In: *XXth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, July 2004.
- [26] Tsai, J.D., 2003. Automatic Shadow Detection and Radiometric Restoration on Digital Aerial Images. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium: Learning From Earth's Shapes and Colours*, Toulouse, France, 2, pp. 732-733.
- [27] McGlone, J.C., Shufelt, J.A., 1994. Projective and object space geometry for monocular building extraction. In: *Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Seattle, Washington, 54-61.