

# APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LÍDAR AL ESTUDIO DE LA CUBIERTA VEGETAL

M. Coromines Munt <sup>1</sup>, E. Blanco Casellas <sup>1</sup> y A. Ruiz García <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Pujada del seminari s/n. 25280-SOLSONA (Lérida, España)

<sup>2</sup> Institut Cartogràfic de Catalunya. Parc de Montjuïc s/n. 08038-BARCELONA (España)

## Resumen

En este trabajo se ha estudiado la aplicación del lidar aerotransportado para el cálculo de parámetros forestales (altura del árbol, diámetro de copas, FCC). La aplicabilidad del sensor ha quedado demostrada en las parcelas propuestas (zonas de los ríos Foix i Ter) aunque se ha observado que las alturas máximas de la vegetación medidas mediante lidar son inferiores a las alturas reales y se produce una sobreestimación del número de pies y una reducción del diámetro medio de copa en estructuras complejas.

Palabras clave: *Teledetección, Escaner láser, Recursos forestales, Inventario forestal*

## INTRODUCCIÓN

Los datos que hemos empleado han sido capturados con un Optech ALTM 3025 propiedad del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC). Este instrumento emite un pulso láser que, tras rebotar en el terreno, regresa al detector. Mide la distancia a partir del tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción del pulso. Un sistema de barrido desvía el rayo láser perpendicularmente a la trayectoria del avión y barre el terreno bajo él. El equipo se orienta con GPS e INS y proporciona las coordenadas y la intensidad reflejada de cualquier objeto que se interponga en el camino del láser y que refleje una cantidad de energía suficiente. De cada pulso emitido mide 2 ecos, el primero y el último, que pueden ser coincidentes o no. En las zonas cubiertas por vegetación se obtienen puntos a cualquier altura sobre la cubierta vegetal, rebotados por las ramas, hojas o tronco y algunos alcanzan también el suelo. Mediante técnicas de clasificación es posible extraer de la nube de puntos aquellos

que corresponden a rebotes sobre el terreno y construir un modelo digital de elevaciones o DTM. Los puntos más altos corresponden a una superficie que pasa por encima de la vegetación y edificios que se suele denominar modelo digital de superficie o DSM. La diferencia entre el DSM y el DTM constituye el modelo de altura de la vegetación.

## MATERIAL Y METODOS

Para este estudio se han aprovechado los datos correspondientes a un estudio del riesgo de inundaciones de Cataluña sobre las cuencas de los ríos Ter y Foix. Los parámetros de configuración del sistema lidar y de vuelo se indican en tabla 1. Las densidades obtenidas con esta configuración fueron de 2 puntos/m<sup>2</sup> para la cuenca del Ter y de 1 punto/m<sup>2</sup> para la del Foix. Se aplicó la metodología de corrección de errores sistemáticos descrita en (KORNUS & RUIZ, 2003). La precisión de los modelos del terreno

	Ter	Foix
Fecha de vuelo	25/3/2002	10 y 13/4/2003
Velocidad (m/s)	61.7	61.7
Semiángulo de barrido (grados)	5	10
Frecuencia de barrido (Hz)	42	22
Frecuencia del pulso (Hz)	25,000	25,000
Altitud sobre el terreno(m)	2300	2300
Solapamiento entre pasadas (%)	50	50
Divergencia del rayo (mrad)	0.2	0.2
Diámetro de huella (cm)	46	46
Anchura de la pasada (m)	402	811

**Tabla 1.** Parámetros de vuelo

resultantes se comprobó con puntos medidos en campo con GPS/RTK para diferentes áreas planas con cobertura vegetal diversa. En cada área se midieron al menos 10 puntos. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos en la cuenca del Foix que son similares a los del Ter (KORNUS & RUIZ, 2003).

La precisión en planimetría fue de aproximadamente 1 m. Se clasificaron primero los puntos correspondientes al terreno mediante un procedimiento automático y posteriormente se realizó una edición manual de los resultados (RUIZ Y KORNUS, 2003). Con estos puntos se construyó un modelo del terreno de malla irregular de triángulos (TIN). Los puntos situados a menos de 20 cm de esta superficie se consideraron puntos del terreno y los situados a mayor distancia se consideraron como pertenecientes a la vegetación. Se midieron en campo una serie de descriptores de la estructura arbórea, como la altura total del árbol y el diámetro de la copa, adecuados para

calcular posteriormente valores de volumen y calidad de la madera siguiendo modelos matemáticos (RODRÍGUEZ Y BROTO, 2003).

### Estudio 1. Identificación de los árboles individuales

Se han tratado dos parcelas de muestra con una misma metodología y los resultados se han comparado con los obtenidos por interpretación de la ortofoto de escala 1:5000 color del ICC, con píxel de 0.5 m. Se ha comparado el número de árboles y su posición relativa identificados automáticamente a partir de los datos *líd*ar y estos mismos valores obtenidos por fotointerpretación. Como la toma de datos *líd*ar y de la ortofoto no fueron simultáneas y como la resolución de la ortofoto es pequeña, los únicos datos que se han comprobado han sido la densidad y la posición relativa de los pies.

*Parcela A, Quart (Gironès):* Coordenadas (UTM-31): 486855, 4645645. Se trata de un cul-

Área	Vegetación	Altura aprox. (m)	N	Media residuos (m)	Sigma (m)
11	Viña	1,1	21	-0,1	0,03
12	Avellanos	3,5	20	-0,09	0,04
22	Jardín acacias	3,5	11	-0,02	0,06
41	Matorral	1,5	21	-0,06	0,07
42	Hierba	0,05	21	-0,04	0,05
50	Carretera	0	15	-0,02	0,13
51	Viña	0,8	20	-0,06	0,06
52	Pinos	18	29	-0,04	0,07
Total			158	-0,06	0,06

**Tabla 2.** Comprobación de resultados en la cuenca del Foix

	Ortofoto	Lídar
Parcela A: Plátanos		
Número de pies aislados	306	337
% de pies detectados	100	110.13
Parcela B: Pinar de Pinus pinea		
Número de pies aislados	86	107
% de pies detectados	100	124.24

**Tabla 3.** Árboles detectados con lídar y sobre ortofoto

tivo de *Platanus x hispanica*, con una distribución de los árboles organizada en líneas paralelas. A pesar de no corresponder a una casuística propia de las masas forestales mediterráneas, se ha utilizado como caso más sencillo posible, por la homogeneidad de los individuos presentes, la distribución regular de los pies y la morfología suave del terreno.

*Parcela B, Pals (Baix Empordà):* Coordenadas 516603, 4647890. Es un área de *Pinus pinea*. Carece de sotobosque. Árboles de copa desplegada y de altura considerable. La identificación de los individuos a partir de la ortofoto es más sencilla que en el caso anterior.

Para identificar los árboles individuales a partir de los datos lídar se ha realizado un estudio morfológico del modelo de altura de la vegetación en el cual se ha detectado cada una de las copas. Los resultados dependen, en principio, de la parcela estudiada y de la densidad de puntos lídar. Como las densidades con las que hemos trabajado son algo bajas, sólo hemos realizado este análisis en parcelas sencillas con árboles fácilmente identificables.

El procedimiento que se ha seguido (NASSET, 1997; PYYSALO, 2000) ha sido el siguiente: 1) Determinación del modelo de altura de la vegetación mediante la substracción del DSM y el DTM. 2) Determinación de la dirección de flujo hidráulico en un modelo de altura de la vegetación invertido 3) Cálculo de la superficie de influencia de cada árbol mediante el estudio de las cuencas obtenidas con el cálculo

lo anterior y 4) Filtrado de resultados según la morfología típica de las estructuras forestales.

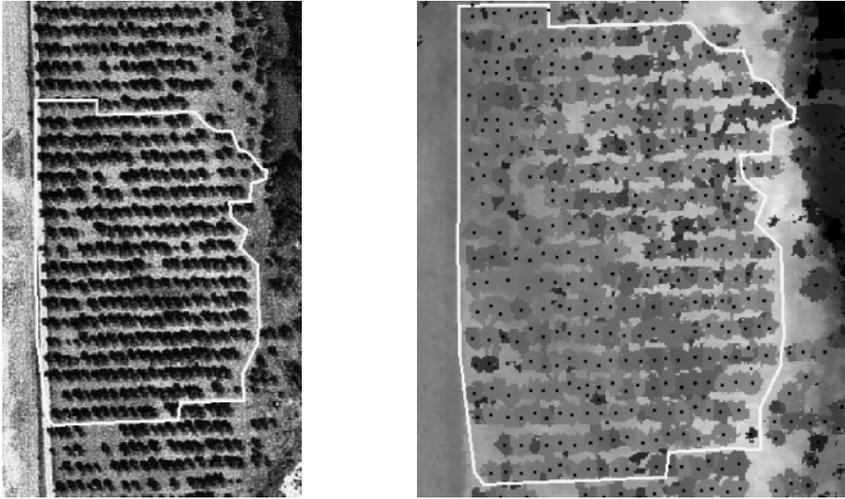
La aplicación de los cálculos anteriores, supone la sobreestimación de la superficie correspondiente a cada árbol, sobre todo en paisajes forestales con árboles aislados o una fracción de la superficie forestal escasamente cubierta de árboles, debido básicamente a que las zonas descubiertas, con valores de altura más pequeños, presentan una dirección del flujo que converge en las zonas arbóreas, con alturas más elevadas. Para evitar dicho defecto se ha impuesto que cada copa terminase al alcanzar 1/3 de la altura mediana de los árboles presentes en la parcela de estudio. Como posición de los árboles aislados se ha tomado la del centroide de su cuenca obtenida con el método anterior.

## Estudio 2. Medición de variables individuales

Para la medición de variables individuales se seleccionaron tres parcelas situadas a lo largo de la cuenca del río Foix. De los 33 árboles analizados en total se tomaron los siguientes datos: Especie; altura total del árbol, medida con un hipsómetro láser modelo Vertex II; diámetro de la copa, medida con cinta métrica según dos ejes perpendiculares; altura de la base de la copa, medida mediante hipsómetro láser; diámetro normal del árbol (DBH), con forcípula; FCC, 4 valores medidos bajo la copa del árbol y posición del pie del árbol medido con GPS. La FCC se obtuvo mediante 4 medidas distribuidas a lo largo de 2 ejes perpendiculares correspondientes

Parcela	X UTM (centro)	Y UTM (centro)	# árboles
1	386286	4568226	12
2	385167	4570077	10
3	383922	4571613	11

**Tabla 4.** Localización de las parcelas y nº de árboles analizados



**Figura 1.** Izquierda) Ortofotomapa correspondiente a la zona de estudio. Derecha) Árboles identificados mediante la metodología propuesta

a los diámetros máximos y mínimos de la copa. En general, se eligió un punto de muestreo situado entre el pie del árbol y los extremos de la copa pero no se tuvieron en cuenta las condiciones de luz ni la posición del Sol en el momento de realizar las medidas.

Únicamente se han analizado la altura total, el diámetro de la copa y la FCC. Estas tres variables se compararon con los parámetros supuestamente equivalentes derivados a partir de LiDAR: Altura máxima de la vegetación observada en el

área de influencia del individuo; diámetro máximo y mínimo de la copa calculada de forma automática; índice de penetración del LiDAR, definido como el porcentaje de puntos que alcanzaron el terreno sobre el número total de puntos y centroide de la copa calculada de forma automática.

El ALTM 3025 proporciona para cada pulso emitido dos medidas de la distancia correspondientes al primer y al último eco. Hay al menos 3 posibilidades para definir el índice de penetración del LiDAR: 1) utilizando sólo los datos de pri-

Árbol	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3	
	Lídar	Campo	Lídar	Campo	Lídar	Campo
1	8,83	9,5	11	12,3	8,4	8,24
2	10,02	10,3	8,75	10,5	11	8,95
3	11,33	11,9	11,3	11,7	13	10,81
4	11,82	12,2	8,43	9,5	8,2	9
5	11,22	13,1	8,55	9,3	8,4	9,77
6	12,55	13,1	9,6	9,9	9,8	9,57
7	11,15	12,5	7,1	8,3	9,9	10,04
8	13,9	12,8	13,2	11,2	10,6	9,66
9	8,35	9	11,6	13,1	9,7	8,51
10	9,2	10,6	12,8	14,6	12,7	11,76
11	10,89	11,5			10,5	9,76
12	11,22	11,4				

**Tabla 5.** Alturas medidas en campo y con lidar (m)

Árbol	Parcela 1		Parcela 2		Parcela 3	
	Campo	Lídar	Campo	Lídar	Campo	Lídar
1	6,45	6,95	6,45	6,9	4,15	3,985
2	5,65	4,85	5,25	5,35	5,7	6,01
3	4,5	4,7	3,45	4,2	5,1	5,435
4	4,8	4,35	2,75	3,55	3	3,65
5	4,675	5,5	3,85	3,575	3,1	5,125
6	5,5	6,85	3,9	3,3	4,75	4,51
7	9,05	7,6	2,875	2,1	4	4,68
8	5,15	6,1	2,7	3,575	4,95	4,805
9	5,35	5,7	5,3	4,6	3,45	3,65
10	6,05	3,9	4,55	5,25	5,025	4,255
11	5,65	5,6				
12	4,65	5,15				

Tabla 6. Diámetros medidos en campo y con lídar (m)

mer eco, 2) utilizando sólo los de último eco y 3) utilizando ambos ecos simultáneamente. La opción 1 se ha mostrado inadecuada porque la mayor parte de los primeros ecos se producen en contacto con las partes más elevadas de la vegetación y el número de puntos de primer eco que alcanzan el suelo es pequeño. Se presentan sólo los resultados de las opciones 2 y 3.

**RESULTADOS**

**Comparación lídar-ortofotomapa**

En ambos casos se produce una sobreestimación del número de pies mediante lídar respecto a los contados en la ortofoto, pero, esta última interpretación tampoco es perfecta. En algunos casos se produce error por subestimación porque

	Altura de los árboles		
	Regresión	R <sup>2</sup>	P
Parcela 1	y=0.7713x+3.1047	0.7793	<0.05
Parcela 2	y=0.7979x+2.8748	0.7132	<0.05
Parcela 3	y=1.189x-1.2653	0.5545	<0.05

	Diámetro de copa		
	Regresión	R <sup>2</sup>	P
Parcela 1	y=0.7811x+1.3331	0.478	<0.05
Parcela 2	y=0.8155x+0.6499	0.7575	<0.05
Parcela 3	y=0.7451x+0.8871	0.383	0.06

Tabla 7. Rectas de regresión para altura y diámetro

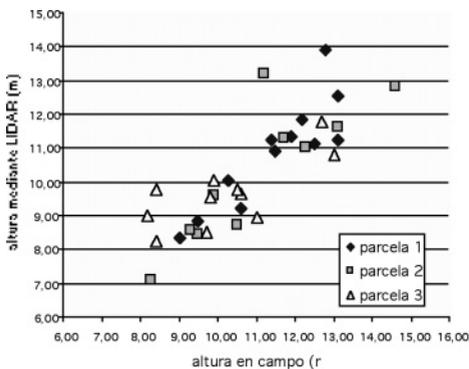


Figura 2. Altura de los árboles

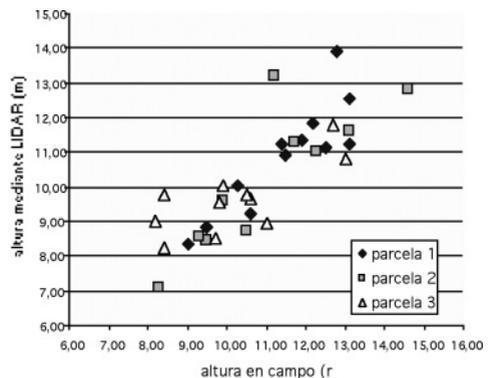


Figura 3. Diámetro de copas

	Regresión	R <sup>2</sup>	P
Parcela 1	$y=0,3037x+0.1601$	0,4232	<0,05
Parcela 2	$y=0,5966.x-0.0063$	0,5012	<0,05
Parcela 3	$y=0,3369x+0.2720$	0,2632	0,106

**Tabla 8.** Recta de regresión de la FCC y IP2

Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
FCC	IP2	IP3	FCC	IP2	IP3	FCC	IP2	IP3
0,55	0,32	0,18	0,63	0,33	0,17	0,37	0,57	0,29
0,53	0,31	0,19	0,52	0,37	0,21	0,41	0,31	0,17
0,60	0,33	0,18	0,36	0,39	0,21	0,91	0,58	0,29
0,48	0,35	0,17	0,36	0,12	0,07	0,86	0,45	0,22
0,39	0,26	0,15	0,23	0,13	0,08	0,33	0,18	0,09
0,38	0,19	0,09	0,20	0,13	0,07	0,53	0,63	0,36
0,23	0,26	0,13	0,39	0,20	0,10	0,43	0,50	0,24
0,30	0,16	0,08	0,41	0,17	0,11	0,45	0,55	0,28
0,16	0,19	0,10	0,23	0,09	0,05	0,16	0,30	0,15
0,45	0,38	0,18	0,41	0,24	0,13	0,35	0,36	0,17
0,27	0,30	0,14				0,38	0,30	0,16
0,20	0,25	0,12						

**Tabla 9.** Medias por árbol de FCC e índice de penetración lidar (IP) en tanto por 1

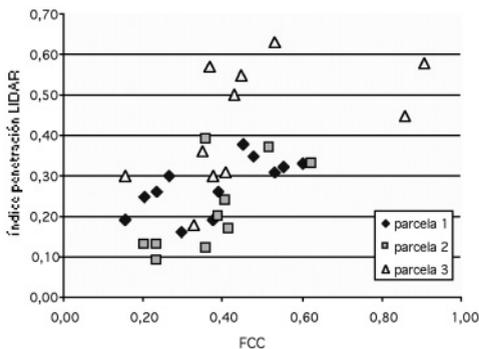
resulta difícil definir los límites concretos de un individuo.

En la Parcela A se ha comparado la ubicación de los pies calculados a partir del centroide con las ubicaciones determinadas por fotointerpretación; 224 pies están situados a menos de 1m de distancia del punto considerado como centro del árbol a partir de la ortofoto y 272 a menos de 2m. Estos resultados muestran la coherencia entre ambas técnicas.

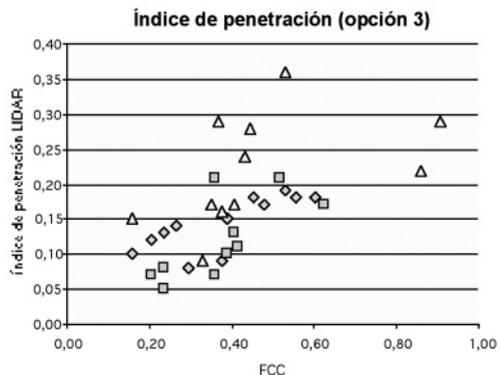
**Medición de variables individuales**

Las Tablas 5 a 7 resumen los valores de altura y diámetros medios de copa para cada individuo en las tres parcelas. El diámetro medio se ha calculado como la media de los valores en dos semiejes ortogonales (en campo y mediante lidar).

Se presentan los valores medios de FCC y del índice de penetración (IP) calculado a partir



**Figura 4.** Índice de penetración



**Figura 5.** Índice de penetración (opción 3)

de puntos de último eco (IP2) y a partir de puntos de primer y último eco (IP3).

La recta de regresión para la FCC y el índice de penetración IP2 obtenida se muestra en la Tabla 8.

## CONCLUSIONES

Se observa que las alturas máximas de la vegetación medidas con *lidar* acostumbran a ser inferiores a las alturas reales. Interpretamos que esto es debido a la baja probabilidad de que un punto *lidar* coincida con el punto más alto de la copa del árbol. Esto puede suponer un sesgo en el estudio y debe tenerse en cuenta a través de una estimación de la diferencia típica observada. En este estudio, esta diferencia se ha situado alrededor de un metro y suponemos que dependerá de la densidad de puntos *lidar*, de la especie vegetal y de su estado de crecimiento.

Los diámetros de copa observados mediante *lidar* presentan una problemática más compleja: en los casos en que las copas se presenten compactas o en aquellos donde hay una ramificación muy desarrollada pueden aparecer falsas copas que en realidad pertenecen a un mismo árbol. El resultado es una sobreestimación del número de pies y una reducción del diámetro medio de algunos árboles, así como la aparición de formas de copa extrañas.

Podemos estimar la FCC a través del índice de penetración *lidar* tanto si lo calculamos a partir de los puntos del último eco como si lo hacemos con los del primer y último eco.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente a través de una subvención del Programa ACES del Departament d'Universitats, Recerca i Societat de la Informació. Josep Raich y Núria Suades han sido indispensables en el trabajo de campo, y Agnès Lladós ha ayudado a que este proyecto haya sido una realidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- KORNUS W. & RUIZ A.; 2003. *Strip Adjustment of LIDAR Data*. WG III/3 workshop on airborne laserscanning, 3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data. Dresden.
- NASSET, E.; 1997. Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Rem. Sens. Env.* 61:
- PYYSALO, U.; 2000. A method to create a three-dimensional forest model from laser scanner data. *Photogrammetric J. Fin.* 17: 34-42.
- RODRÍGUEZ, F. Y BROTO, M.; 2003. Cubica v1.2. Programa informático para cubicar y clasificar productos a partir de los datos procedentes de un inventario. *Montes* 72: 33-38.
- RUIZ, A. Y KORNUS, W.; 2003. *Experiencias y aplicaciones del LIDAR*. V Semana Geomàtica. Barcelona.