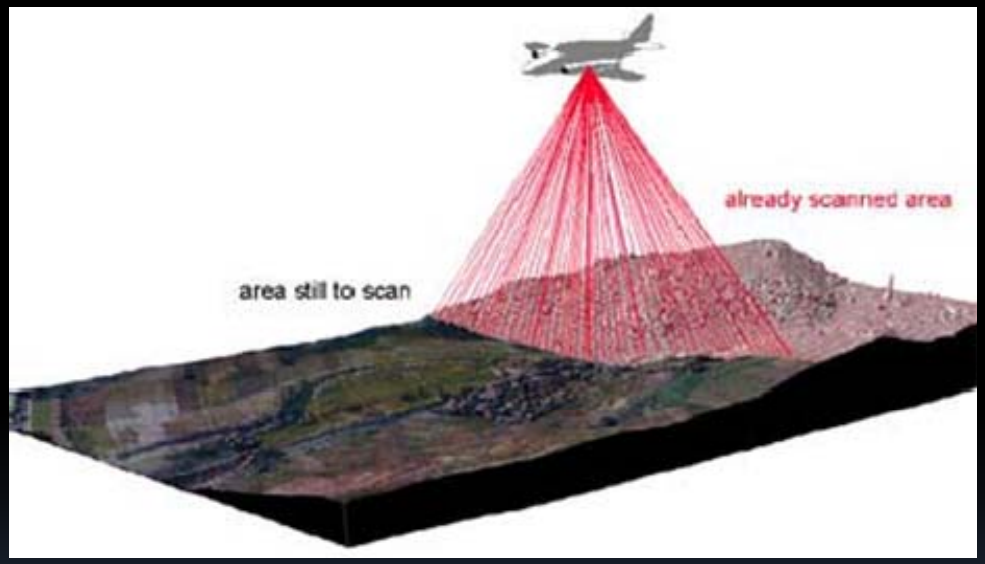
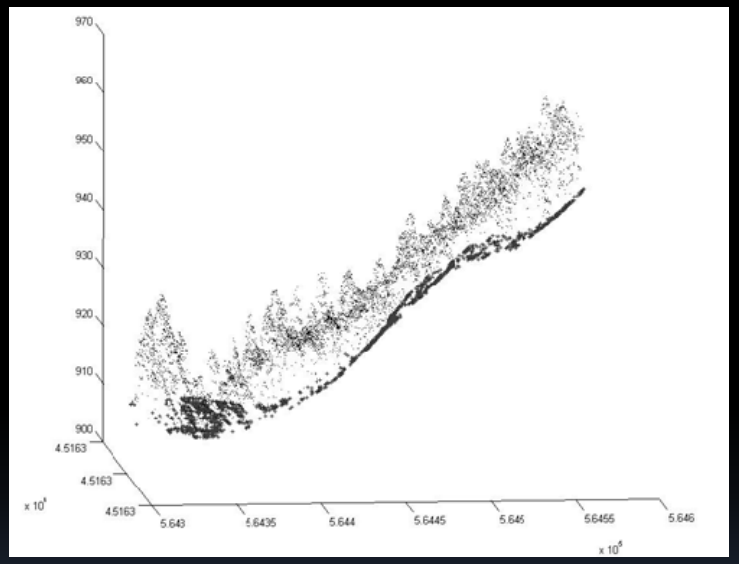
INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA LiDAR

XV CONGRESO NACIONAL TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Tecnologías de la Información Geográfica en el Contexto de Cambio Global





Mariano García Alonso (mariano.garcia @ uah.es)

COMPLUTIG
Empresa de base tecnológica de la UAH

INTRODUCCIÓN AL LiDAR

- ✓ Introducción a la tecnología LiDAR. Principios básicos
- ✓ Componentes de un sistema LiDAR
- ✓ Especificaciones del sistema
- ✓ Clasificación de los sistemas LiDAR
- ✓ Datos proporcionados por los sistemas LiDAR
- ✓ Precisión de los datos LiDAR
- ✓ Recursos disponibles

Principios básicos

- ✓ LiDAR: Light Detection And Ranging.
  - ✓ Laser scanning
  - ✓ Airborne Laser Scanning (ALS)
  - ✓ LaDAR (Laser Detection and Ranging)
- ✓ Rápido desarrollo desde mediados de 1990s.
  - ✓ Sistemas experimentales. Perfiles (Institute for Photogrammetry, University Stuttgart, Special research group)

Instrument development

Principios básicos

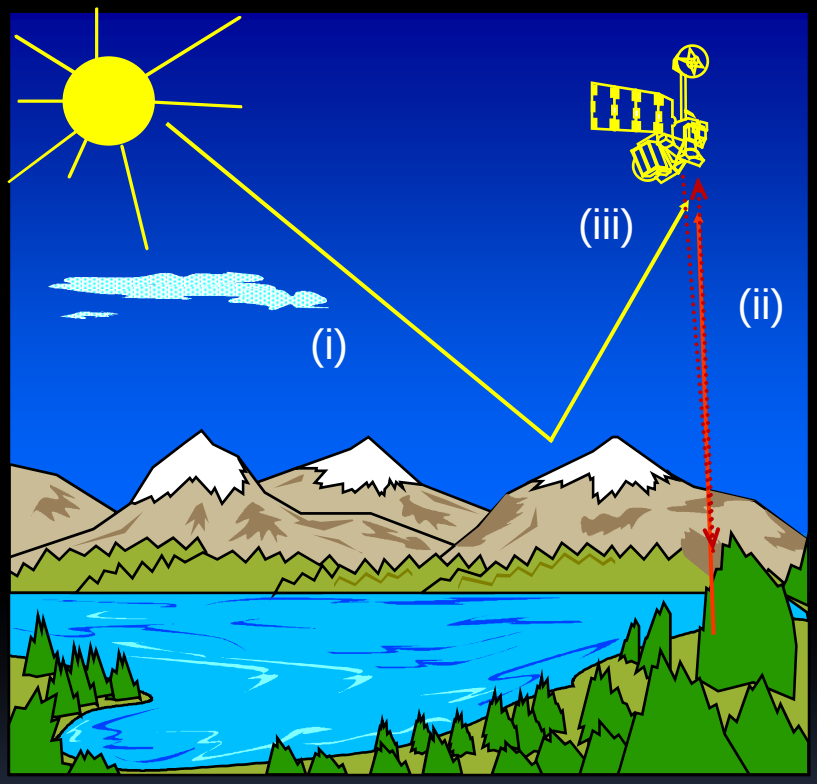
1993	2007
2 kHz	Up to ~200 kHz
1000 m max. AGL height	Up to 4500 m max. AGL height
±20º scan angle	Up to ±32º scan angle
First or last return	Multiple returns to full waveform
4-5 m point spacing	8-16 bit intensity values
	< 1m point spacing

Lidar Market: Status and growth Trends
(presented at the International Lidar Mapping Forum 28 January 2009.
Tina Cary, Ph.D, Cary and Associates)

Region	LiDAR systems
North America	51 ALS operated by 29 commercial companies and 3 universities
Europe	30 ALS operated by 19 commercial companies and 1 university
Rest of the world	29 ALS operated by 18 commercial companies
Bathymetric LiDAR	10 systems operated by 3 commercial companies and 7 government organizations

global market for lidar services at **$160 million per year**, with **North America** being the largest market at **$64 million**, **Rest of World** next at **$52 million**, and **Europe** accounting **for $44** million

Sistema activo

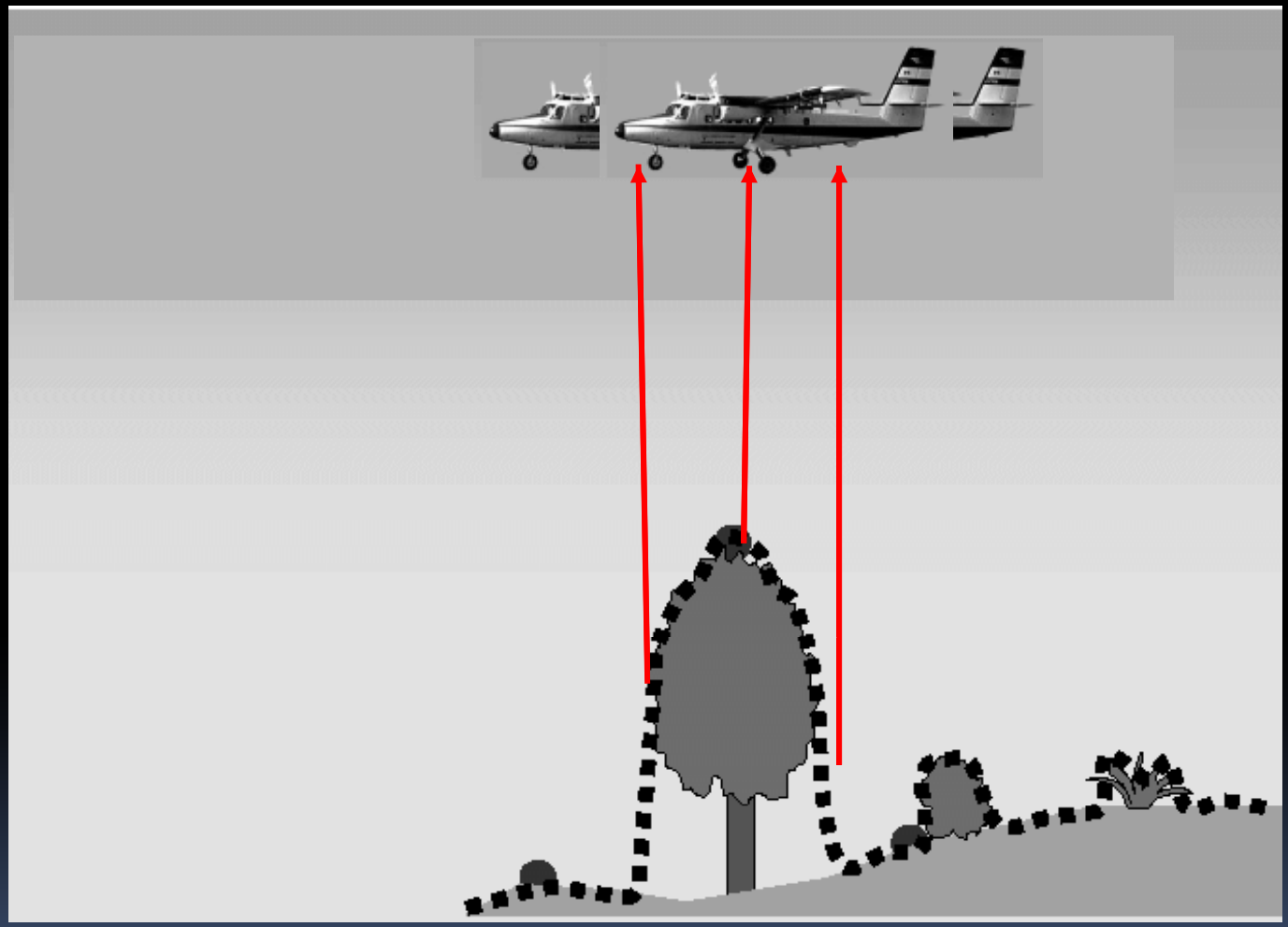


Chuvieco,2002

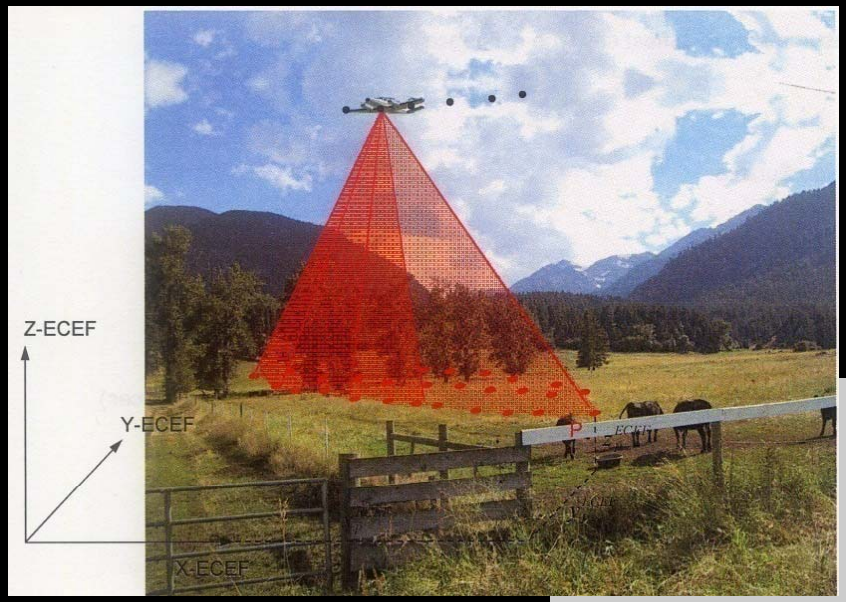
Sensores Pasivos
(i) Reflexión
(ii) Emisión

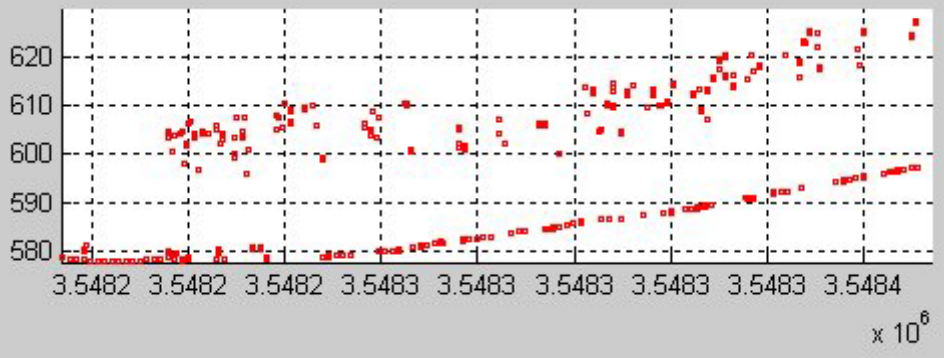
Sensores Activos
(iii) Emisión-Reflexión

Principios básicos

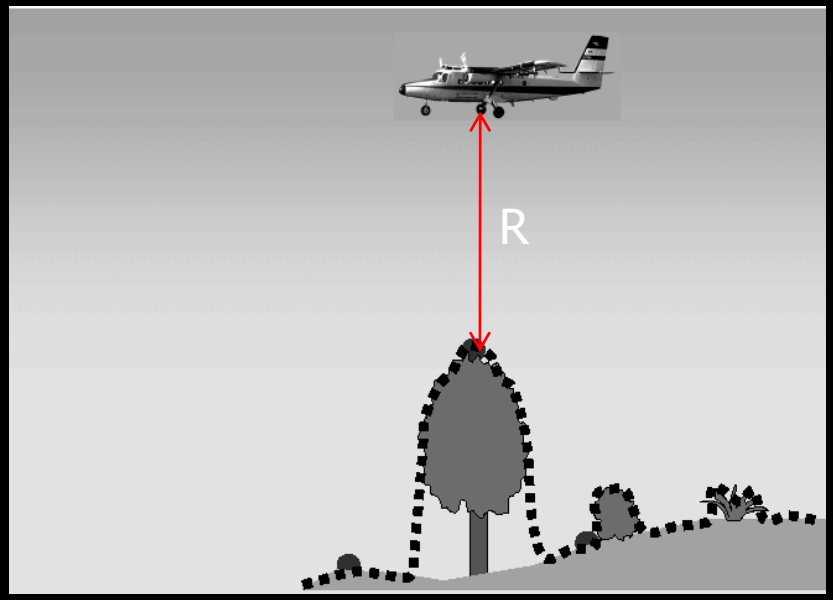


Principios básicos





Principio de funcionamiento. Medida de distancia

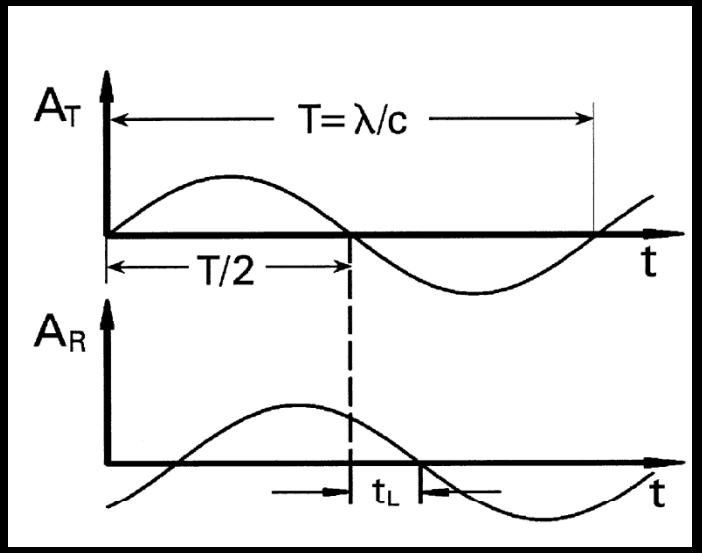


$R=c*t/2$

- ✓ R: distancia sensor-objeto (range)
- ✓ c: velocidad de la luz (300.000 km s^{-1})
- ✓ t= tiempo transcurrido entre la emisión del pulso y la recepción del retorno

Principio de funcionamiento. Medida de distancia

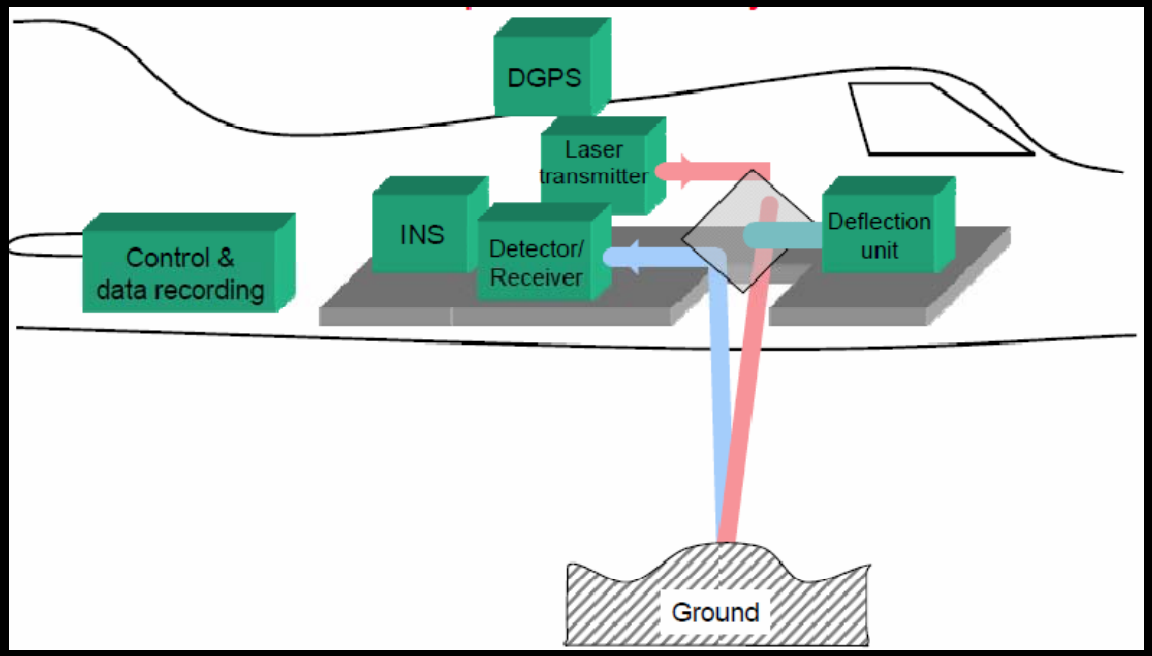
Diferencia de fase



$$R = \frac{1}{4\pi}\frac{c}{f}\phi$$

- ✓ R: distancia sensor-objeto (range)
- ✓ c: velocidad de la luz (300.000 km s^{-1})
- ✓ f= frecuencia (Hz)
- ✓ ϕ = diferencia de fase entre la señal emitida y la recibida (rad)

Componentes sistema LiDAR

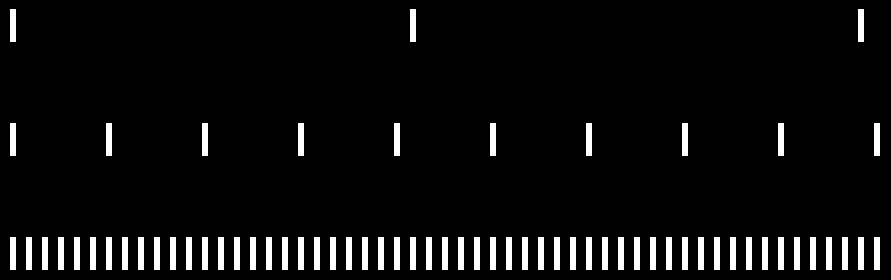


(Fuente: Baltsavias:International SchoolonLiDARTechnology, IIT Kanpur, India, 31 March - 4 April 2008)

- ✓ Unidad de medida de distancia
- ✓ Scanner
- ✓ Sistema GPS (posicionamiento diferencial)
- ✓ Inertial Measurement Unit
- ✓ Unidad de control, seguimiento y registro

Componentes sistema LiDAR

- ✓ GPS 2Hz — 1Hz — …
- ✓ IMU 200Hz — 50Hz — …
- ✓ Ranging Unit 25000Hz — 5000Hz — …

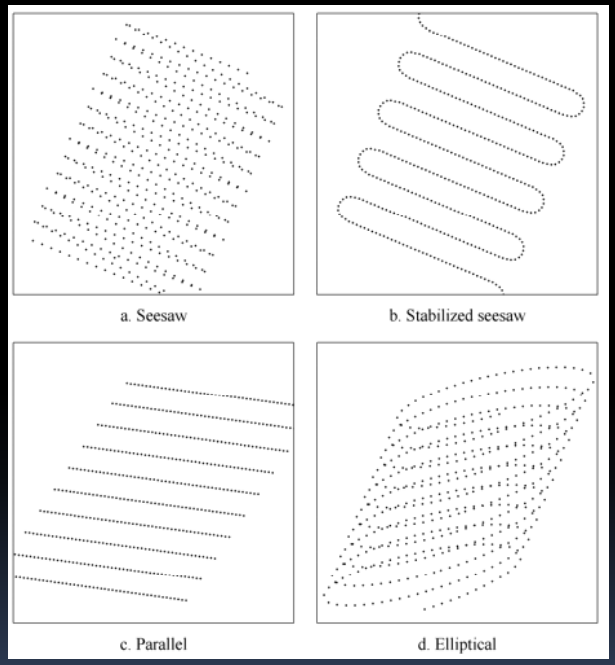


- ✓ GPS & IMU → Interpoladas a los registros proporcionados por la unidad de medida de distancias

Ejemplo adquisición de datos de un sistema aeroportado

Especificaciones sistema

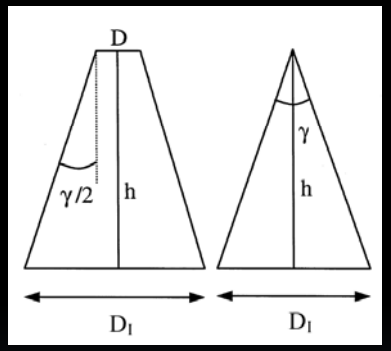
- ✓ Pueden determinar los costes de adquisición e incluso la viabilidad del proyecto
- ✓ Frecuencia de emisión de pulsos:
  - Número de pulsos emitidos por segundo.
  - ≥150 kHz.
  - Mayor altura de vuelo y velocidad → ↓Tiempo de vuelo y costes
- ✓ Patrón de escaneo:
  - Función del *espejo*
- ✓ Frecuencia de escaneo:
  - Número de líneas por segundo
- ✓ Ángulo de escaneo:
  - Determina el FOV
- ✓ Divergencia del rayo:
  - Incremento del diámetro del rayo con la distancia

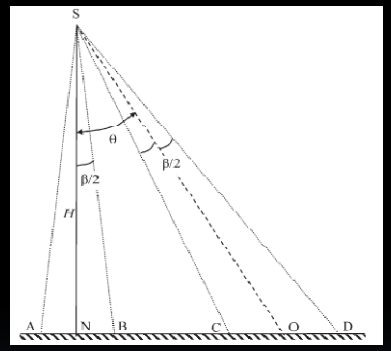


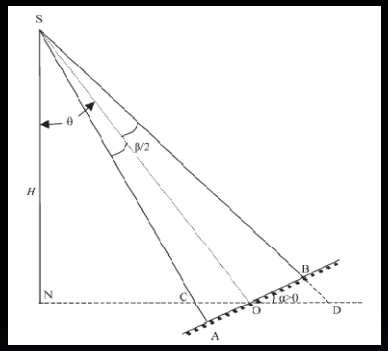
Especificaciones sistema

- ✓ Pueden determinar los costes de adquisición e incluso la viabilidad del proyecto

- ✓ Diámetro de la huella:
  - IFOV
  - Área muestreada por el láser.
  - f(altura de vuelo, ángulo escaneo, divergencia del rayo, geometría objeto)







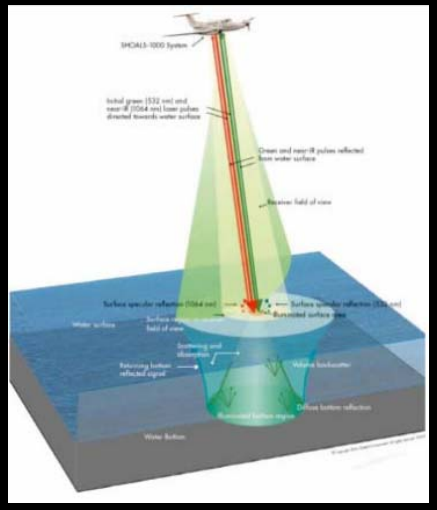
- ✓ Distancia entre huellas:
  - Junto con el diámetro de la huella determina la resolución

- ✓ Configuración de registro:
  - Determina cómo se graban la energía recibida

Clasificación sistemas

- ✓ Criterios
- ✓ Superficie a medir

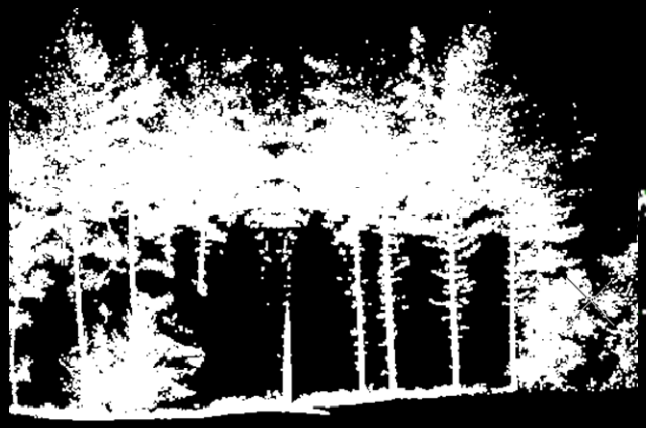
λ=(700-1550 nm)

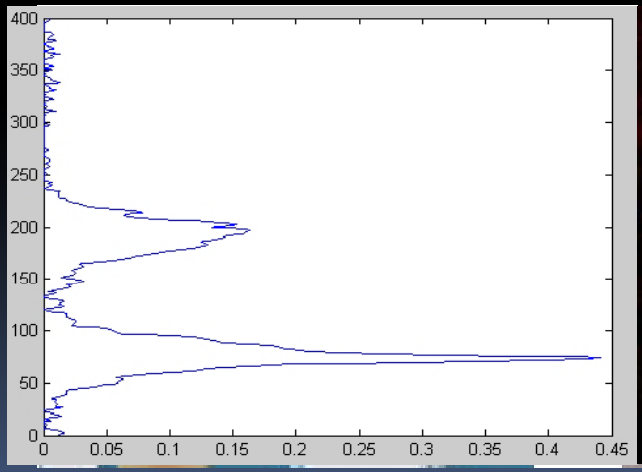


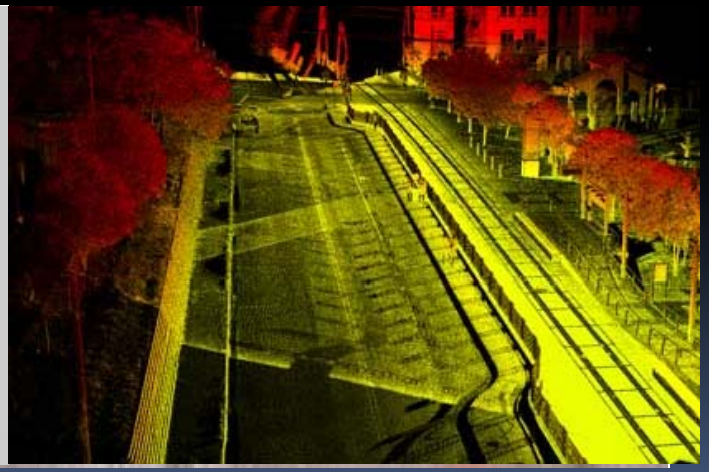
λ_1=(700-1300 nm)
λ_2=(500-600 nm)

Clasificación sistemas

- ✓ Criterios
- ✓Plataforma

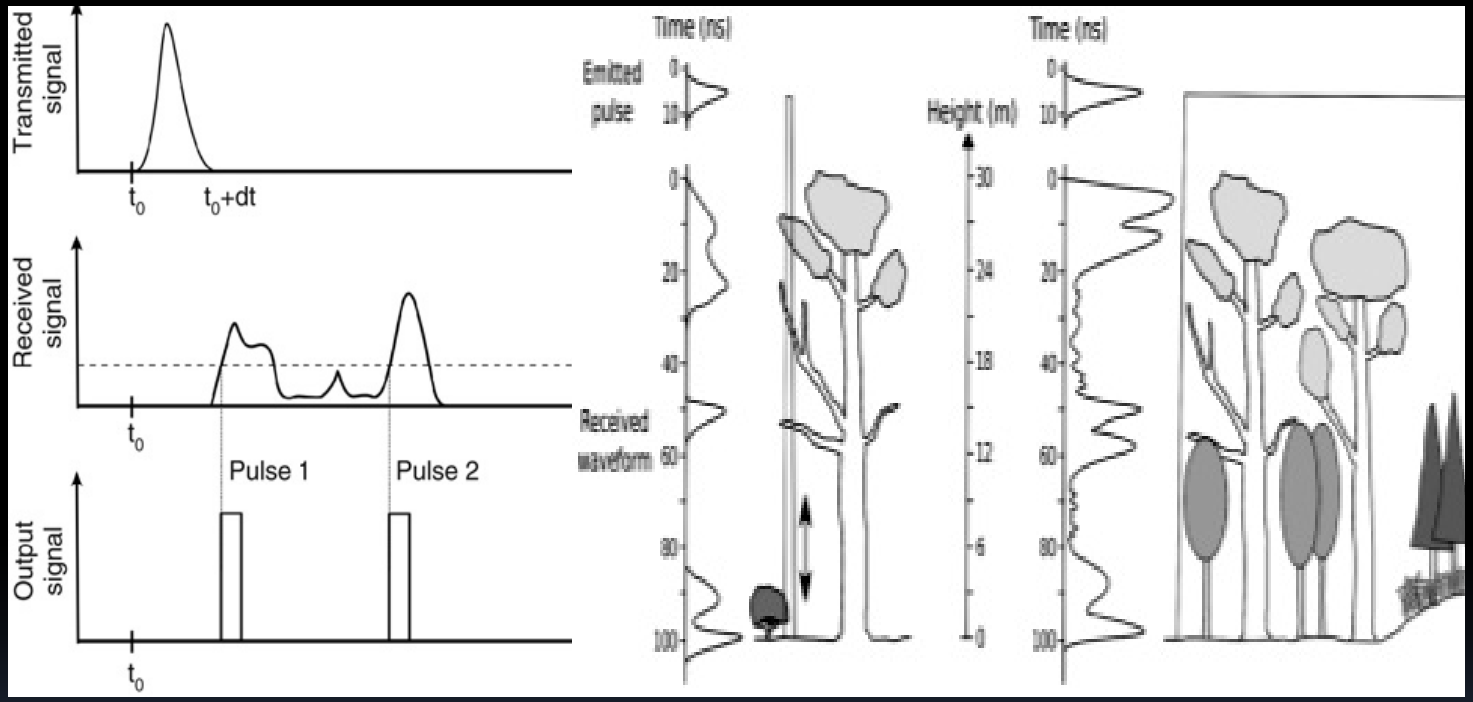






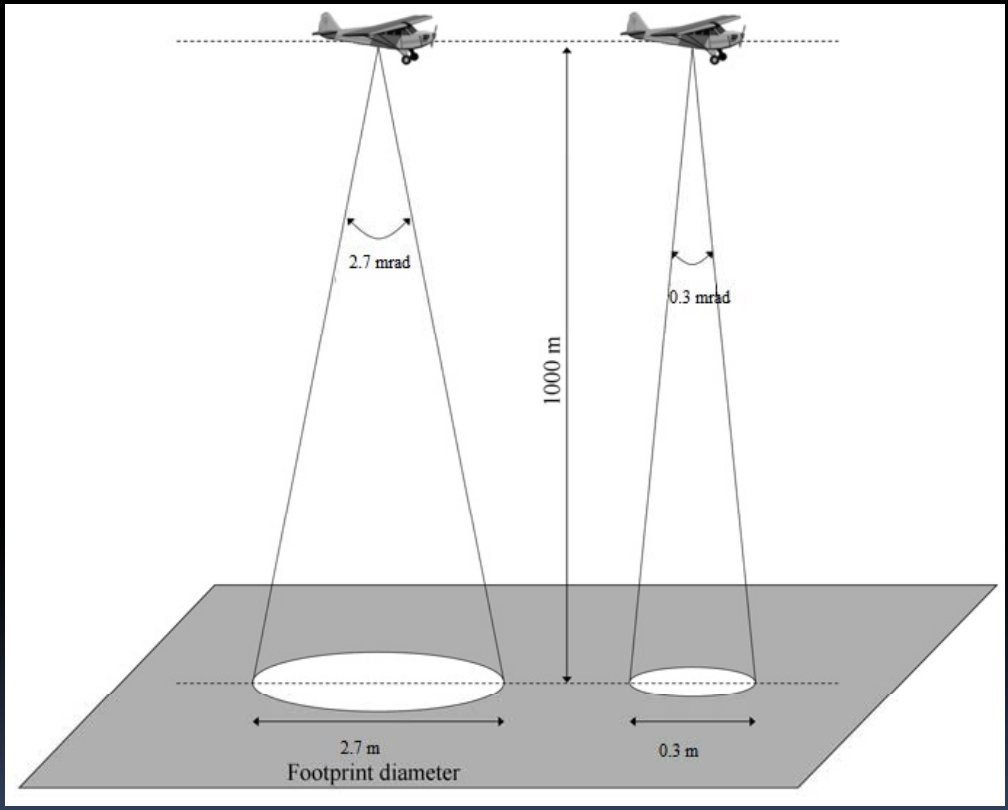
Clasificación sistemas

- ✓ Criterios
- ✓Capacidad de registro

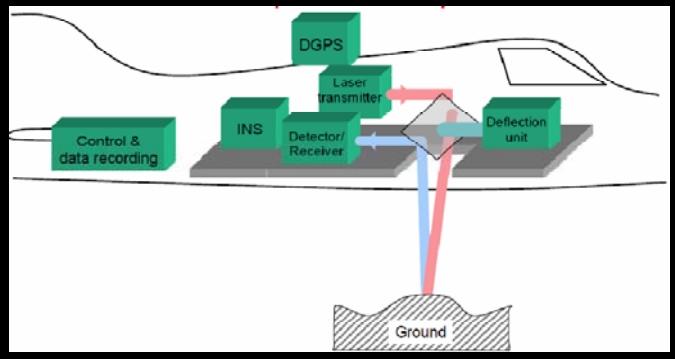


Clasificación sistemas

- ✓ Criterios
- ✓Tamaño de huella

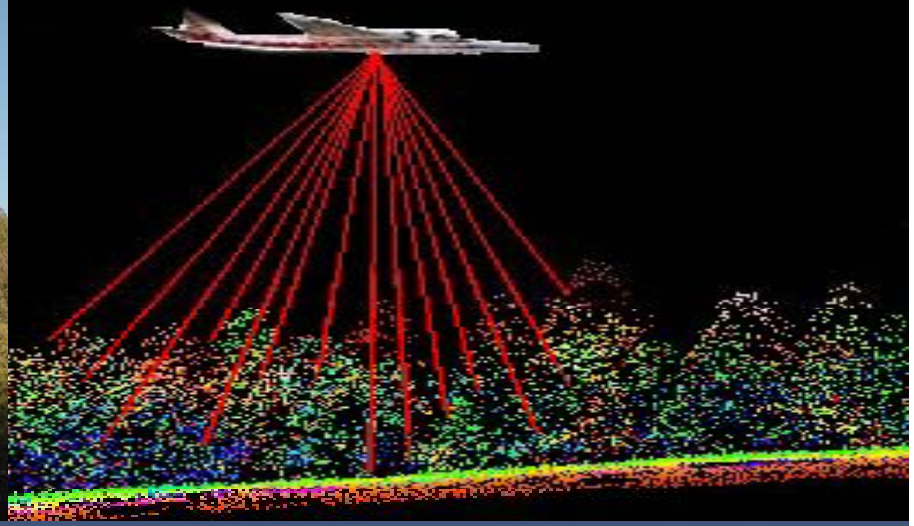


✓ Datos LiDAR



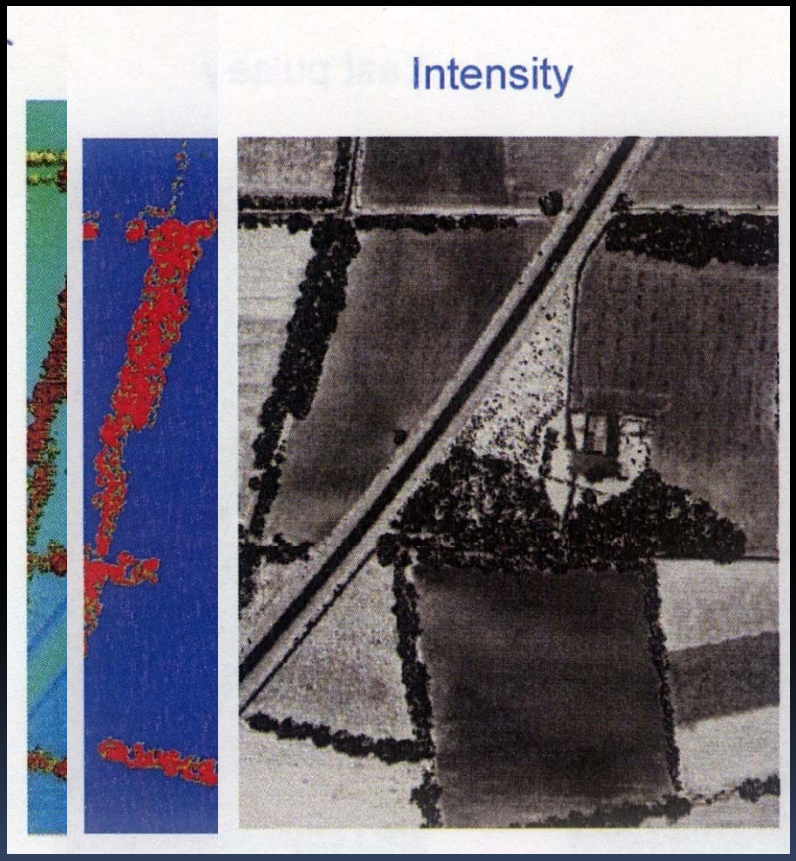
Datos proporcionados

- ✓ GPS 2Hz — 1Hz — …
- ✓ IMU 200Hz — 50Hz — …



Datos adquiridos por sistemas LiDAR

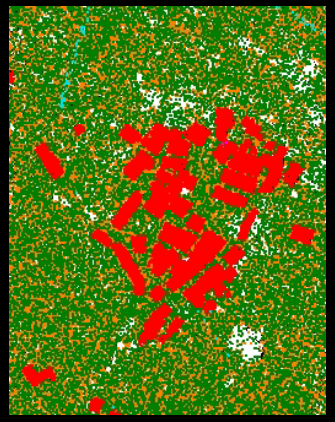
Datos proporcionados

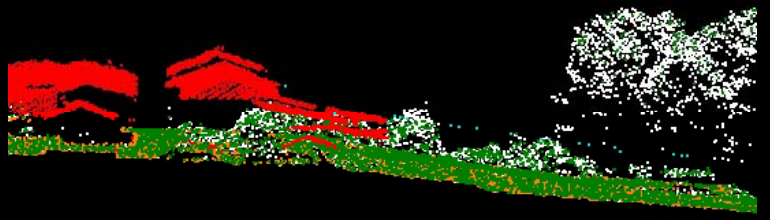


Datos adquiridos por sistemas LiDAR

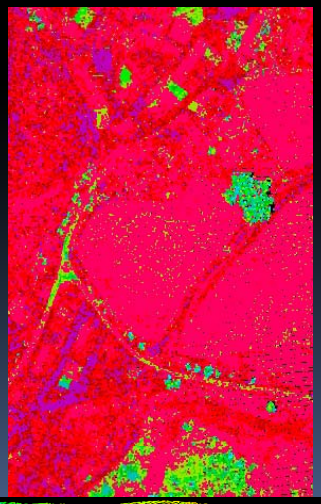
Datos proporcionados

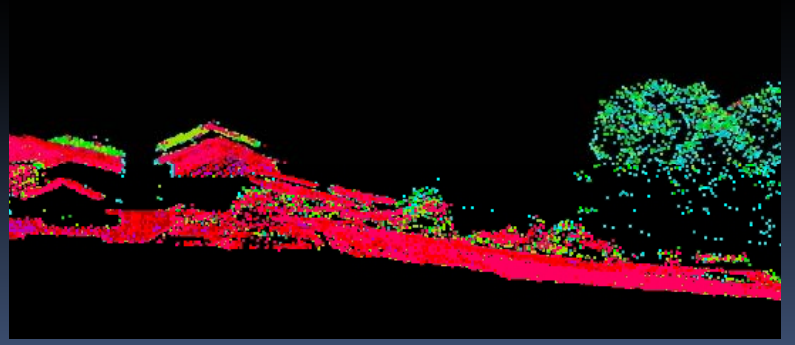
Classified returns





Intensity data





Datos proporcionados

Datos adquiridos por sistemas LiDAR

Intensidad

$$P_r = \frac{\rho \eta_{atm}^2 D_r^2 D_{tar}^2}{4R^4 \gamma^2} P_s$$

(Baltsavias, 1999)

Intensidad depende:

- ✓ Propiedades del sistema
- ✓ Ángulo de incidencia
- ✓ Distancia
- ✓ Reflectividad del objeto

→ Intensidad varía entre campañas, regiones o incluso a lo largo de una misma línea de vuelo

Problema: los sistemas comerciales no proporcionan información sobre el algoritmo empleado para detectar los retornos.

Datos adquiridos por sistemas LiDAR

Datos proporcionados

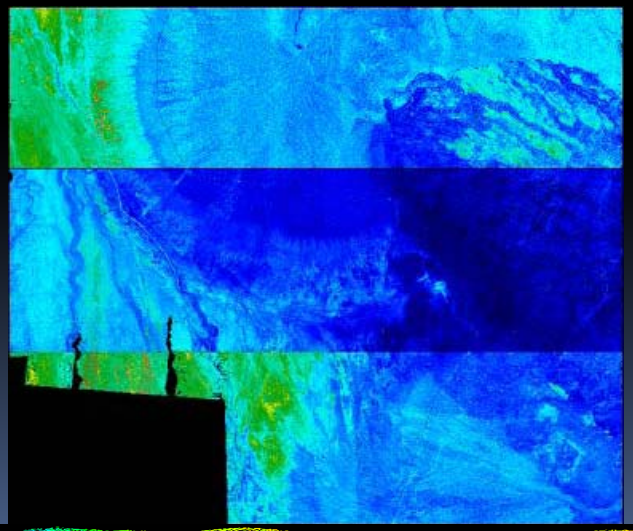
Calibración de los datos de intensidad **¿?**

1.- Range dependency removal

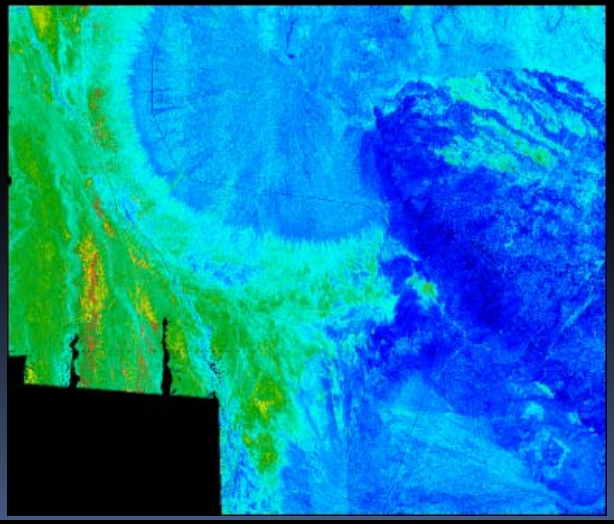
Datos normalizados a una distancia estándar definida por el usuario

$$I_{norm} = \frac{R^2}{R_s^2} I_{raw}$$

Before Normalization



After Normalization



COMPLUTIG
Empresa de base tecnológica de la UAH

Intensidad. Calibración

Datos procesados

Se han propuesto otro método más elaborados

Höfle and Pfeifer (2007)

Utiliza dos aproximaciones

1.- Empírica.

- Asume que la intensidad es proporcional a la reflectividad del terreno y depende de la altura de vuelo via una función monótona.

Es necesario volar con distintas alturas de vuelo sobre las áreas (target) de referencia
Solo se pueden emplear retornos únicos como targets de referencia

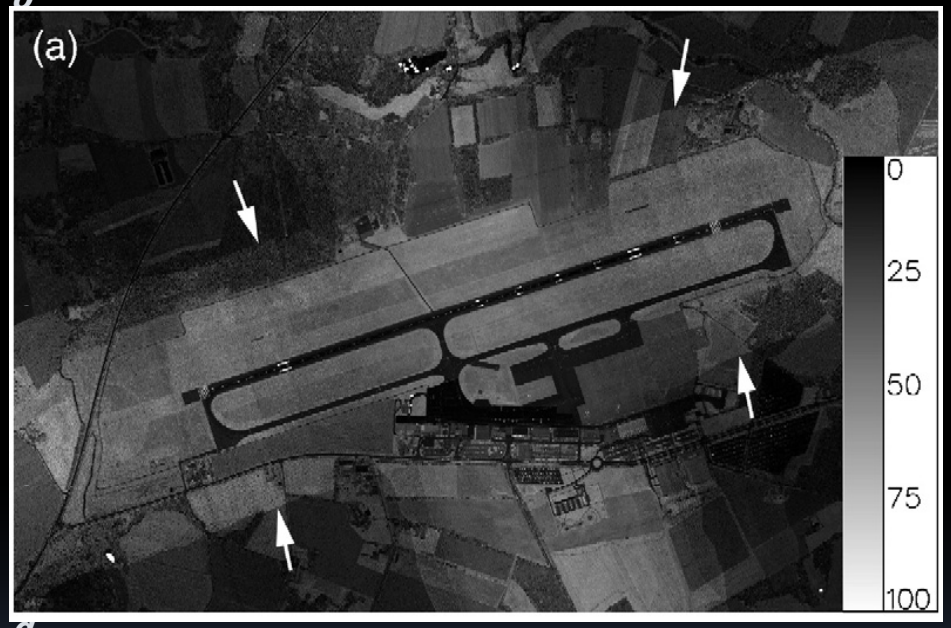
2.- Teórica.

$$\rho_{\text{diffuse}}(R_s, \alpha) \propto I \frac{R^2}{R_s^2} 10^{2Ra/10000} \frac{1}{\cos\alpha}$$

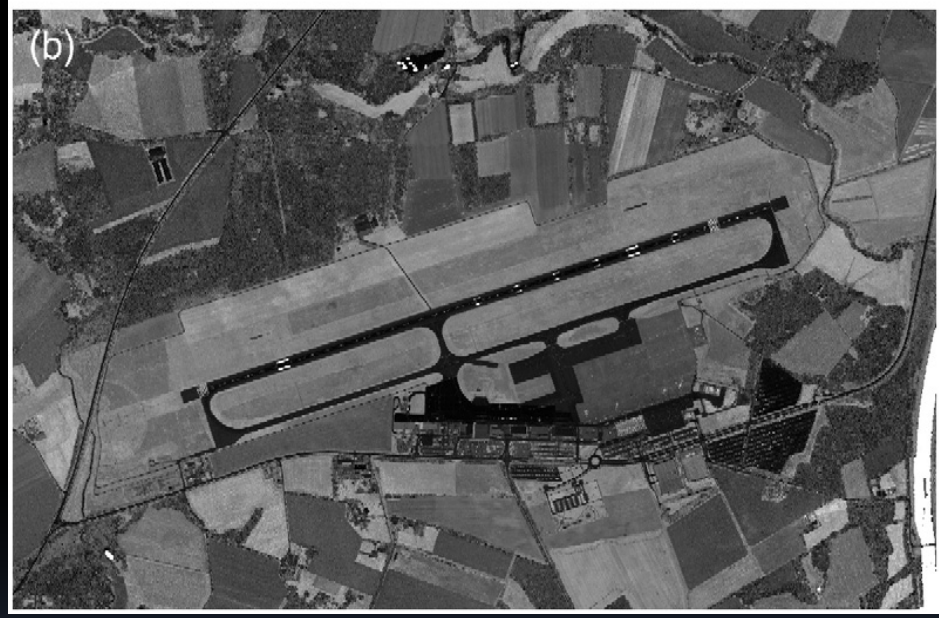
Intensidad. Calibración

Datos

Before Correction



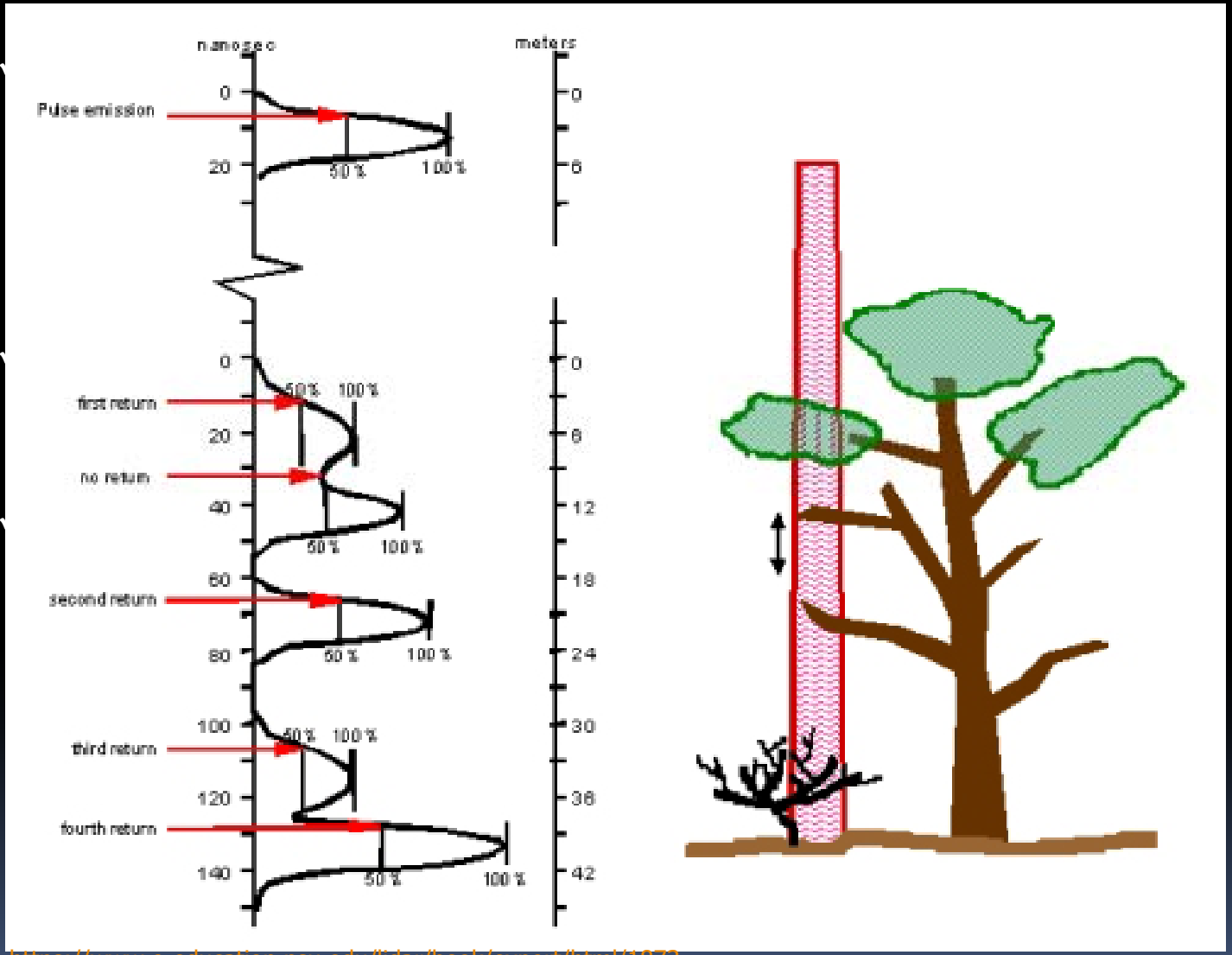
Data-driven correction



Höfle and Pfeifer (2007)

Atributos de los datos LiDAR

Datos proporcionados



https://www.e-education.psu.edu/lidar/book/export/html/1873

Atributos de los datos LiDAR

Datos proporcionados

- ✓ Ángulo de escaneo:
  - ✓ Atributo del pulso→ = todos los retornos asociados
- ✓ Tiempo GPS:
  - ✓ Instante de emisión del pulso.
  - ✓Atributo heredado por todos los retornos asociados al pulso
- ✓ Final línea escaneo:
  - ✓ Atributo binario. Indica si el pulso corresponde al final.
  - ✓Atributo heredado por todos los retornos
- ✓ Clasificación:
  - ✓ Clase a la que corresponde el retorno.
  - ✓ Opcional.

Formatos de los datos LIDAR

Datos proporcionados

Full waveform / **retornos discretos**

X, Y, Z, Intensidad

Primer y/o último retorno; múltiples retornos; ángulo escaneo; etc.

Variedad de formatos (propietarios, ASCII)

Inconvenientes:

Sistemas propietarios: difícil intercambio entre sistemas

Lectura e interpretación de los datos en formato ASCII puede ser muy lenta y el tamaño del archivo puede ser muy grande, incluso para cantidades de datos pequeña

La información bruta, así como cierta información específica de la adquisición de los datos es perdida.

Datos proporcionados

Str_169.all - WordPad

Archivo Edición Ver Insertar Formato Ayuda

219791.262052	30569628.69	4529230.87	1225.35	109	30569628.68	4529230.88	1225.28	109
219791.262082	30569628.23	4529231.75	1225.25	107	30569628.24	4529231.75	1225.29	107
219791.262112	30569627.80	4529232.63	1225.31	108	30569627.80	4529232.63	1225.34	108
219791.262142	30569627.37	4529233.51	1225.38	123	30569627.36	4529233.51	1225.32	123
219791.262172	30569626.93	4529234.39	1225.41	120	30569626.92	4529234.39	1225.36	120
219791.262202	30569626.49	4529235.27	1225.42	78	30569626.49	4529235.26	1225.47	78
219791.262232	30569626.11	4529236.02	1225.46	80	30569626.12	4529236.02	1225.47	80
219791.262262	30569625.67	4529236.90	1225.43	119	30569625.67	4529236.90	1225.49	119
219791.262292	30569625.23	4529237.78	1225.49	102	30569625.23	4529237.78	1225.48	102
219791.262382	30569623.92	4529240.41	1225.62	102	30569623.92	4529240.41	1225.63	102
219791.262412	30569623.47	4529241.29	1225.59	92	30569623.47	4529241.29	1225.57	92
219791.262442	30569623				30569623.09	4529242.05	1225.60	124
219791.262472	30569622				30569622.66	4529242.93	1225.65	132
219791.262502	30569622.14	4529243.94	1225.58	116	30569622.15	4529243.94	1225.60	116
219791.262532	30569621.76	4529244.69	1225.59	137	30569621.77	4529244.69	1225.62	137
219791.262562	30569621.33	4529245.57	1225.66	116	30569621.32	4529245.57	1225.63	116
219791.262592	30569620.89	4529246.45	1225.68	124	30569620.88	4529246.45	1225.64	124
219791.262622	30569620.43	4529247.34	1225.62	136	30569620.43	4529247.34	1225.62	136
219791.262652	30569620.06	4529248.09	1225.64	125	30569620.05	4529248.09	1225.62	125
219791.262682	30569619.66	4529248.85	1225.57	135	30569619.68	4529248.85	1225.66	135
219791.262712	30569619.23	4529249.73	1225.67	118	30569619.24	4529249.73	1225.68	118
219791.262742	30569618.73	4529250.74	1225.66	110	30569618.74	4529250.73	1225.74	110
219791.262772	30569618.30	4529251.61	1225.80	126	30569618.30	4529251.61	1225.78	126
219791.262802	30569617.85	4529252.50	1225.72	151	30569617.85	4529252.50	1225.76	151
219791.262832	30569617.40	4529253.38	1225.71	143	30569617.41	4529253.38	1225.77	143
219791.262862	30569616.95	4529254.27	1225.69	145	30569616.96	4529254.27	1225.73	145

GPS-time X,Y,Z & Intensity last return

X,Y,Z & Intensity 1st return

Huso UTM

COMPLUTIG
Empresa de base tecnológica de la UAH

Formatos de los datos LIDAR

Datos proporcionados

LASer (LAS) File Format Exchange

Formato público para el intercambio de datos LiDAR

Formato de archivos binarios-- ASPRS

Última versión → permite almacenar datos full waveform

http://www.asprs.org/society/committees/standards/asprs_las_spec_v13.pdf

Actualmente, incluso software no específico para datos LiDAR software, puede leer archivos LAS

PCI GEOMATICS , ENVI, ERDAS, ArcGIS, GVSIG,…

Formatos de los datos LIDAR

Datos proporcionados

LAS format v1.3

POINT DATA RECORD FORMAT 0:

Table 4.9 - ASPRS Standard LIDAR Point Classes

Classification Value (bits 0:4)	*Meaning*
0	Created, never classified
1	Unclassified[1]
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Model Key-point (mass point)
9	Water
10	*Reserved for ASPRS Definition*
11	*Reserved for ASPRS Definition*
12	Overlap Points[2]
13-31	*Reserved for ASPRS Definition*

Precisión datos LiDAR

Precisión de las coordenadas

Fuentes de distorsión (Huising & Gomes Pereira, 1998; Maas, 2001):

- ✓ Sistema Laser (laser instrument+INS+GPS)
- ✓ Efectos atmosféricos (troposphere, atmospheric transmissivity)
- ✓ Características del objeto (*permeabilidad*, pendiente, …)

Determinación de las distancias→ Z

Espejo→ X,Y

GPS/IMU→ principal fuente de error (Maas, 2001)

10-20 cm en Z, hasta 50 cm en X,Y

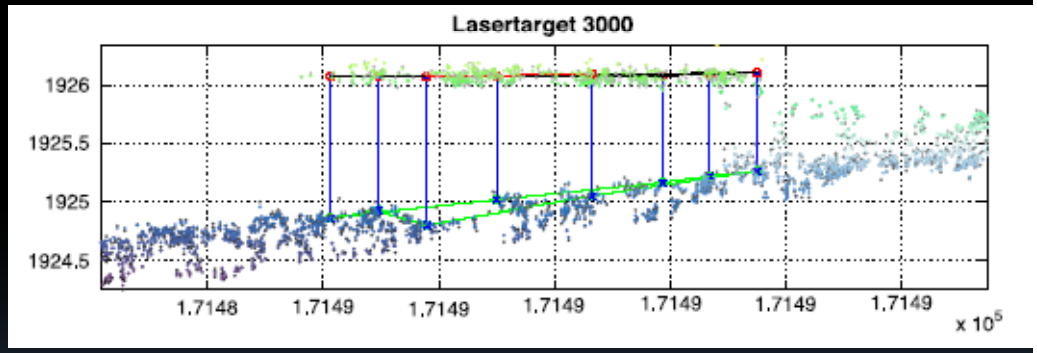
Precisión datos LiDAR

Precisión de las coordenadas

Ejemplo determinación de la precisión:

Z error en torno a +/- 15cm para una altura de vuelo de 1000 m.
Error horizontal (X,Y) en torno a 50cm (o 1/2000 la altura de vuelo).

(Amable, G. comunicación personal)



- 3 x 3 m

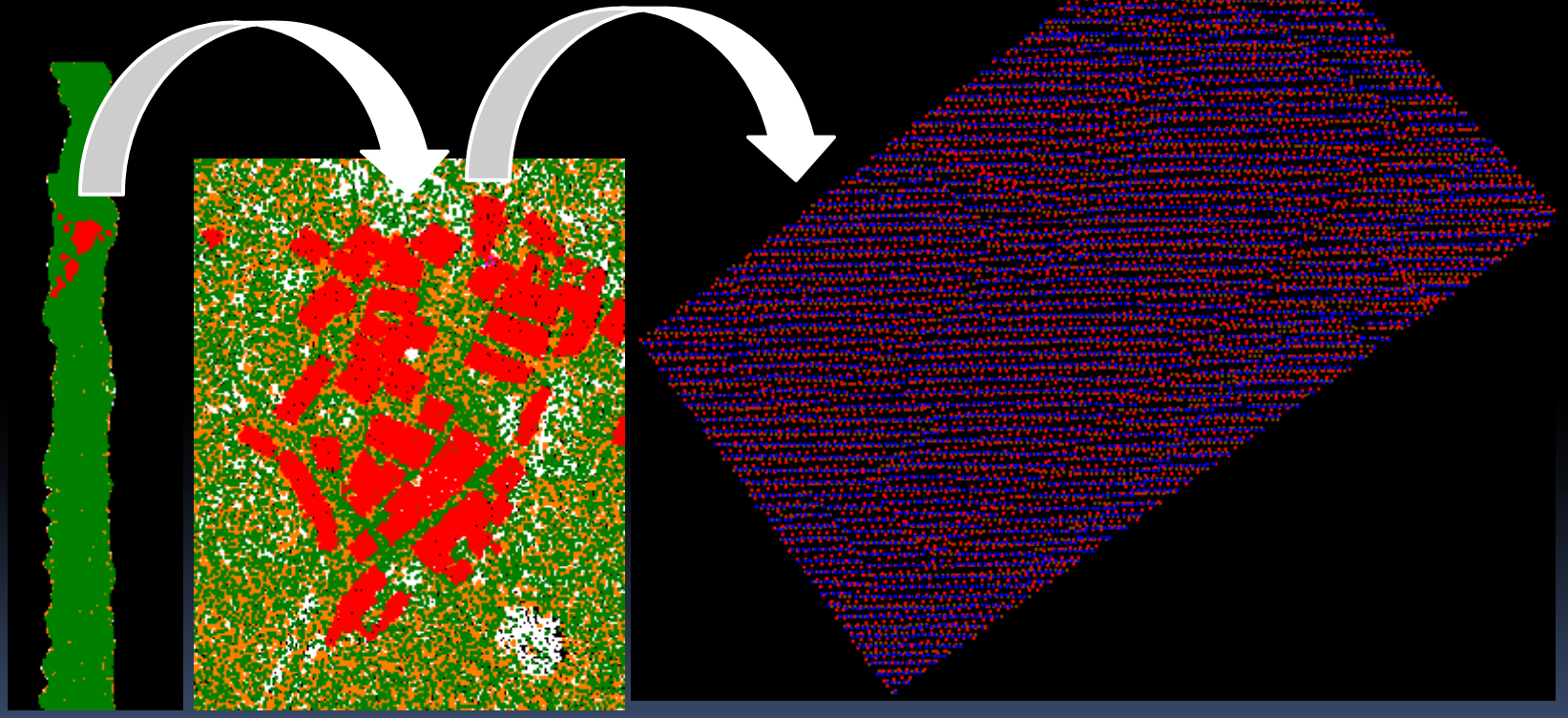
Morsdorf, 2004

Precisión de las coordenadas

Precisión datos LiDAR

¿Cómo quedan reflejados estos errores?:

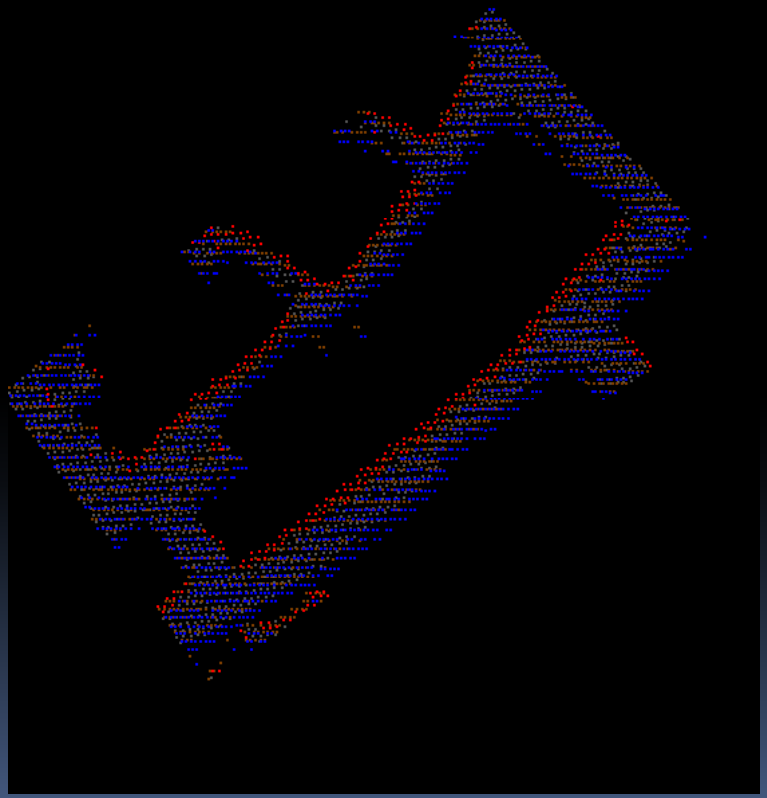
- ✓ Desplazamientos visible

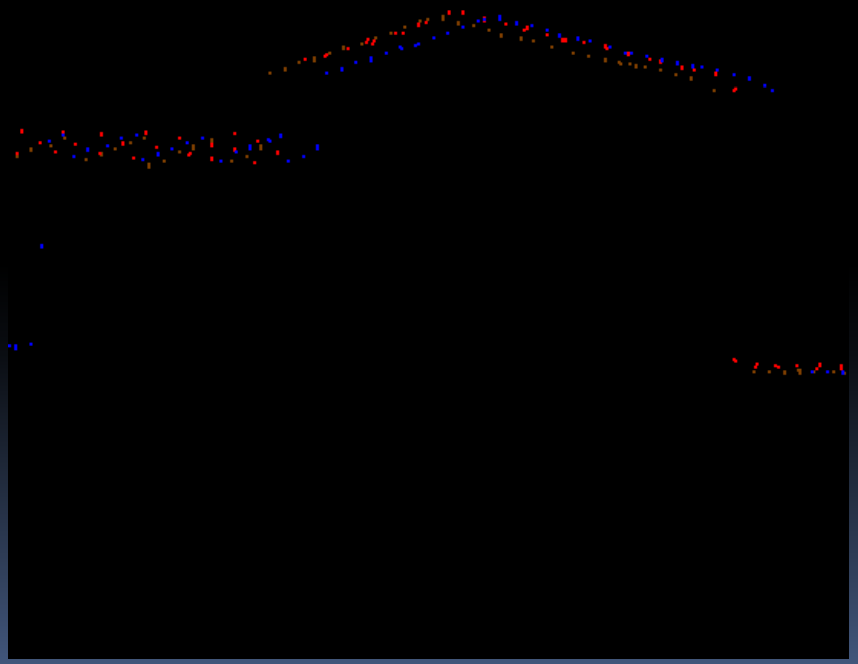


Precisión de las coordenadas

¿Cómo quedan reflejados estos errores?:

- ✓ Desplazamiento horizontal. Elementos artificiales





Precisión de las coordenadas

Corrección de los desplazamientos:

Global: aplicación de métodos que permiten corregir en bloque los desplazamientos horizontales y verticales

- ✓Modelos que consideran diferencias entre puntos
  - ✓Identificación de elementos que permite cuantificar las diferencias entre ambas pasadas.
- ✓Modelos sensor

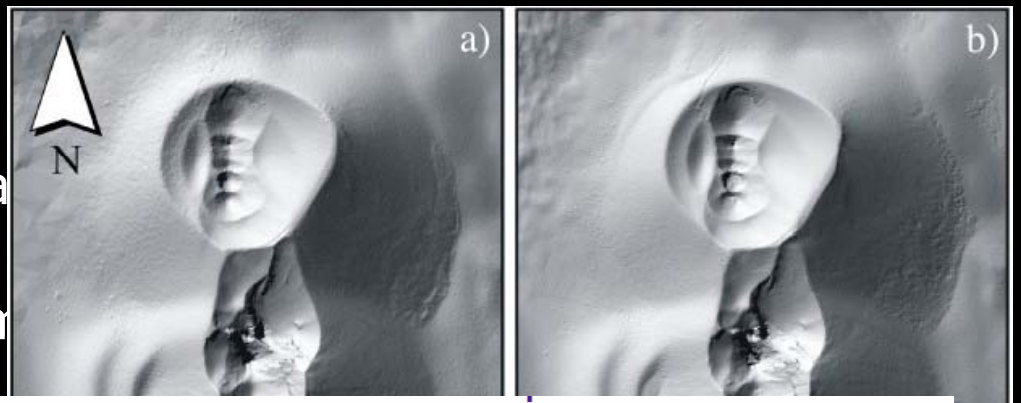
2- fases: corrección primero en Z y luego en X,Y.

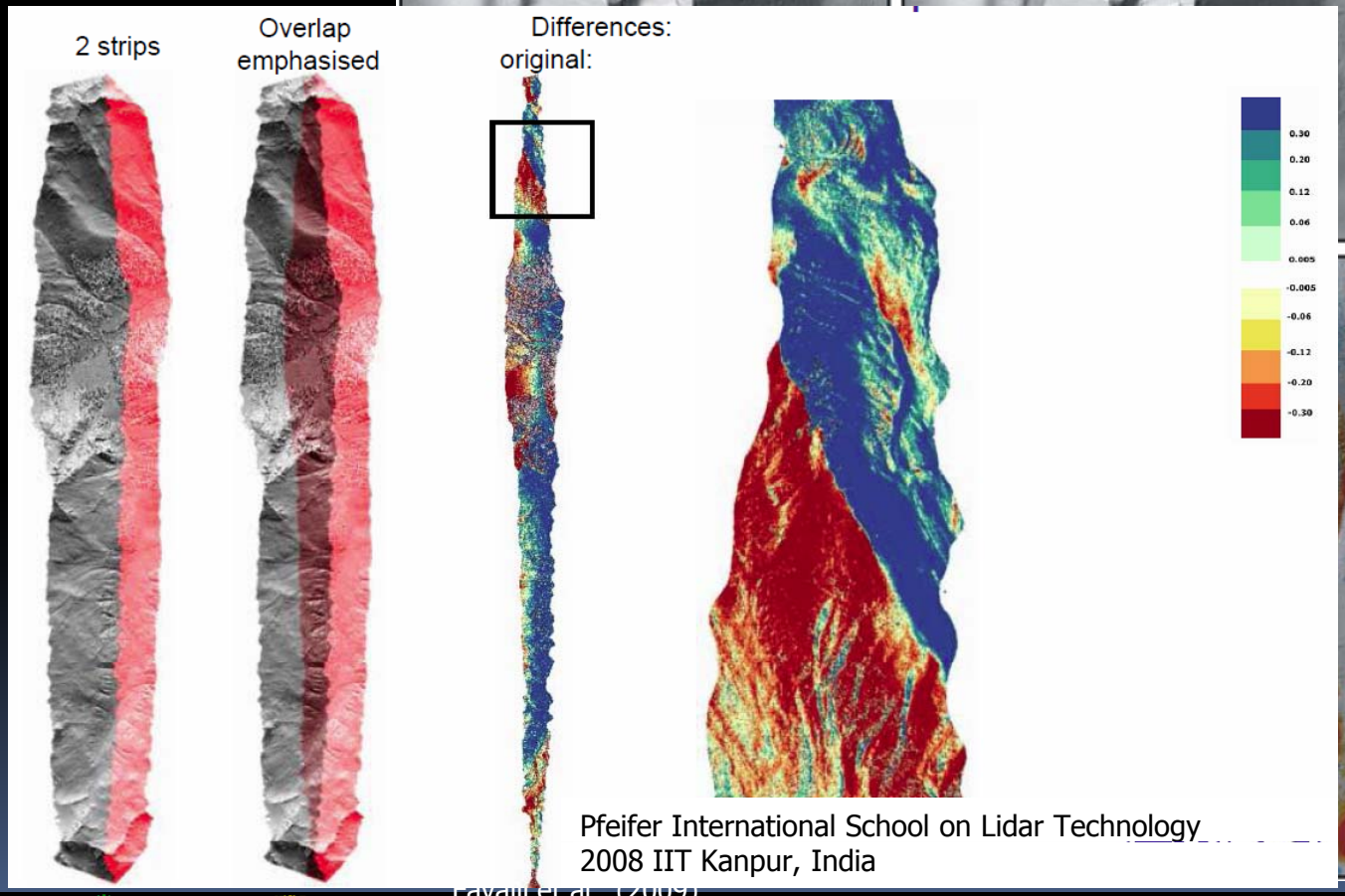
Precisión de

¿Cómo queda

✓ Desplazam

Precisión datos LiDAR





Pfeifer International School on Lidar Technology
2008 IIT Kanpur, India

Pavalli et al., (2009)

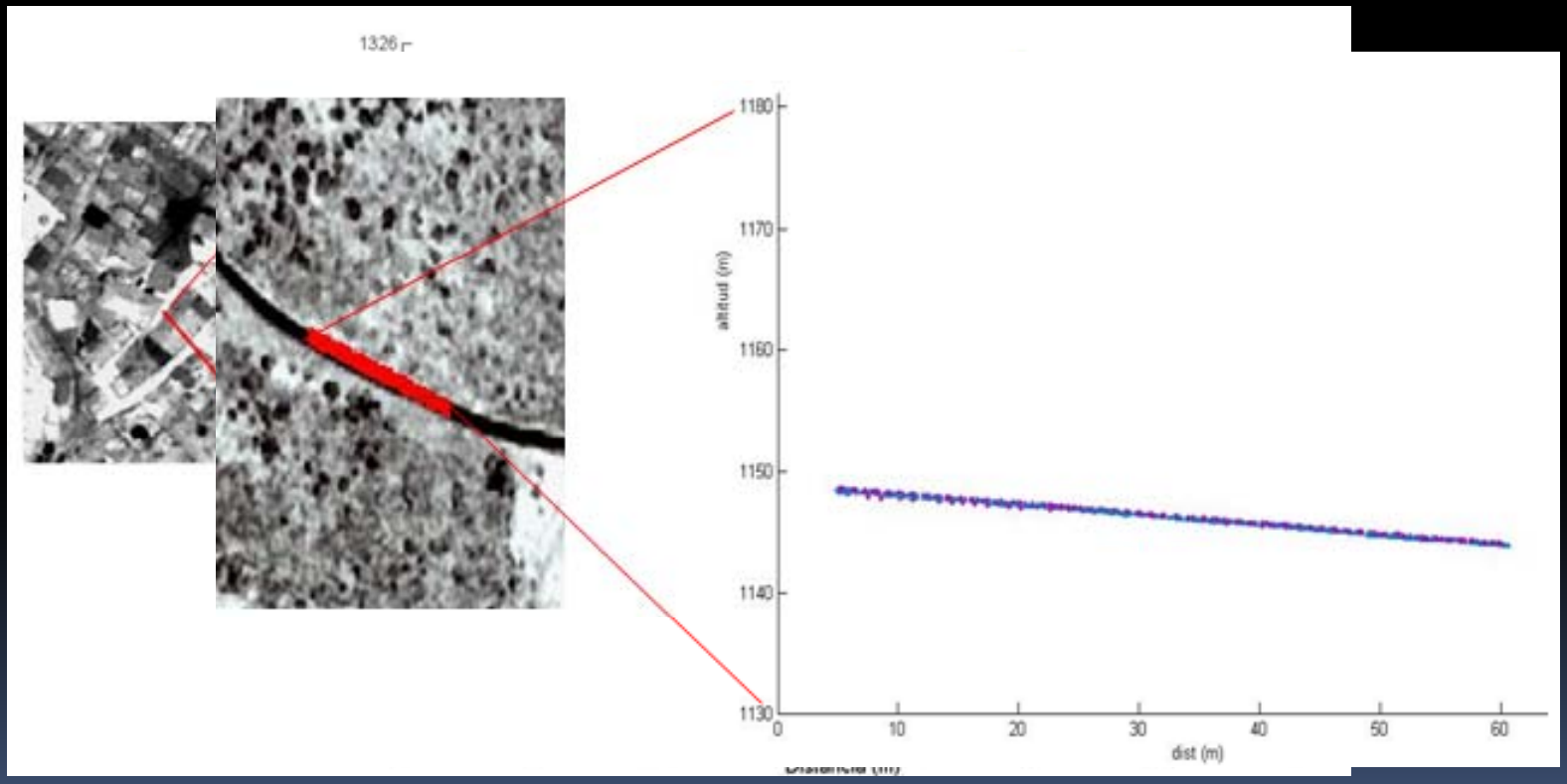
COMPLUTIG
Empresa de base tecnológica de la UAH

Precisión datos LiDAR

Precisión de las coordenadas. Ejemplo corrección error planimétrico

Precisión nominal

10-20 cm en Z, hasta 50 cm en X,Y

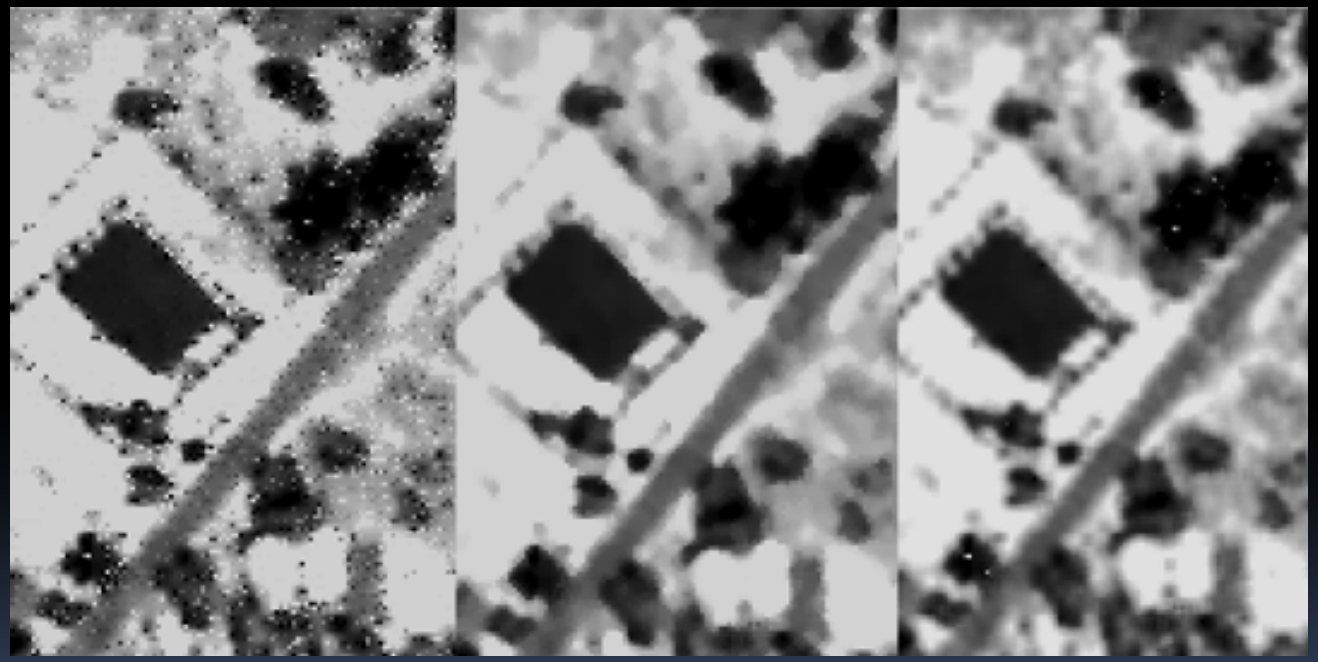


García et al. 2009 (Geofocus)

Precisión datos LiDAR

Precisión de las coordenadas. Ejemplo corrección error planimétrico

- ✓ Generación imágenes de intensidad a partir de los daros LiDAR
- ✓ Áplicación de técnicas de correlación de imágenes

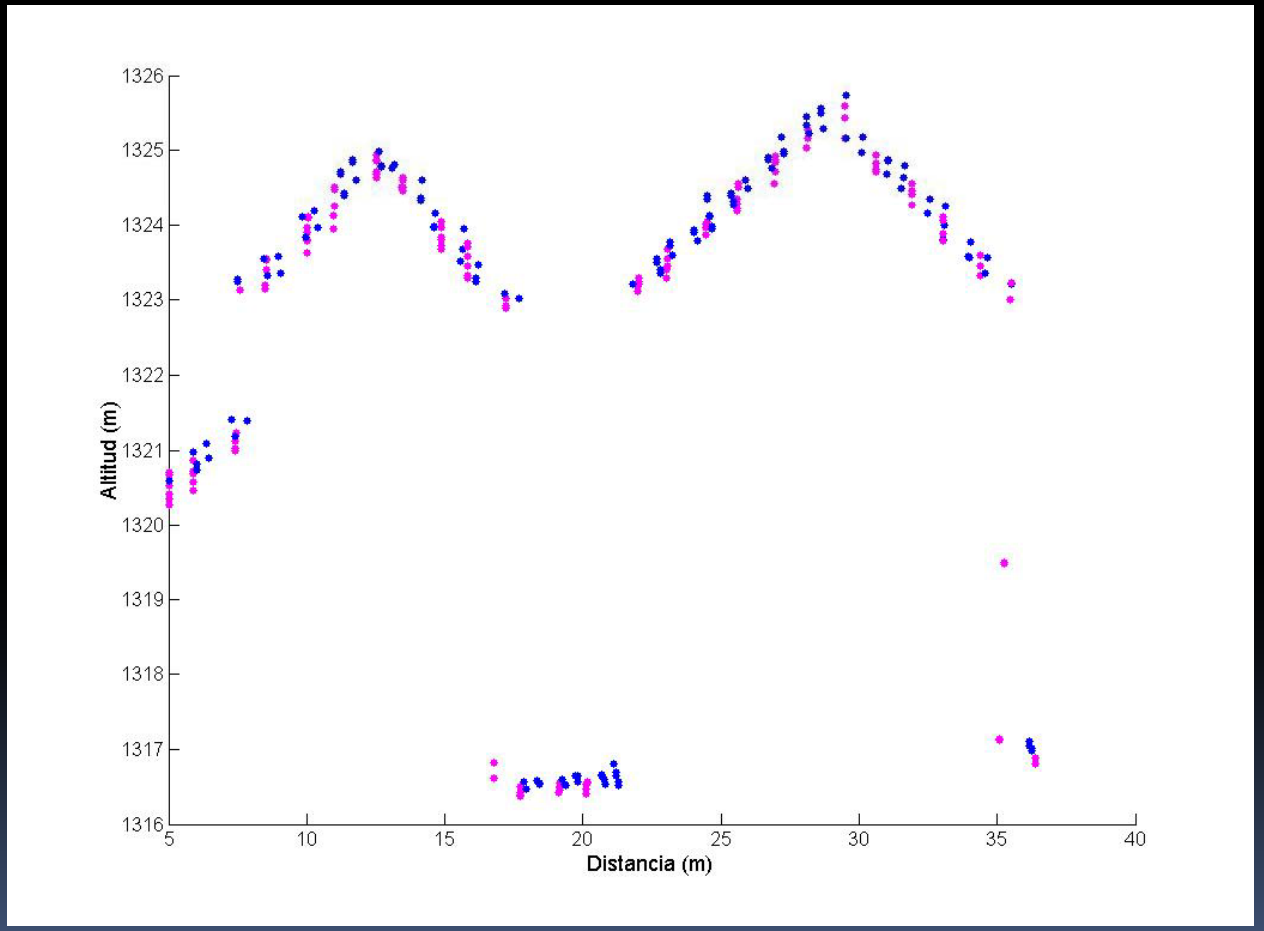


García et al. 2009 (Geofocus)

Precisión datos LiDAR

Precisión de las coordenadas. Ejemplo corrección error planimétrico

Datos ajustados con una transformación afín 2-D



García et al. 2009 (Geofocus)

Recursos: sofware comerciales de procesamiento y visualizacion

Recursos disponibles

Terrasolid TerraScan TerraModeler

Merrick's Advanced Remote Sensing (MARS) Software

QT Modeler (Tinning and visualization)

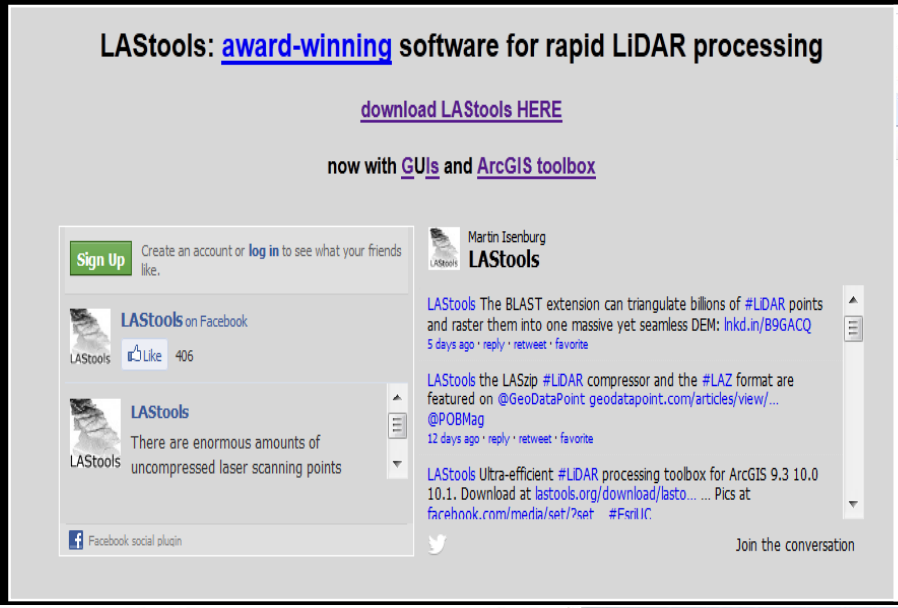
ArcGIS and extensions

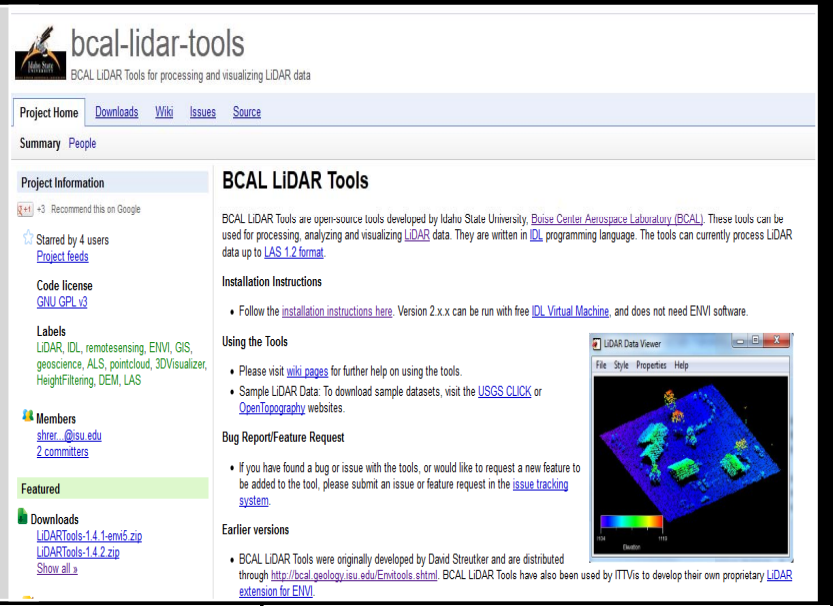
Interactive Data Language (IDL) for custom routines

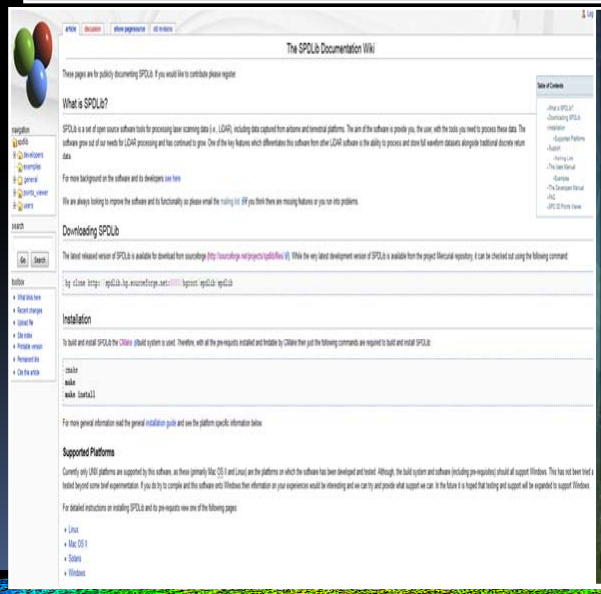
GlobalMapper

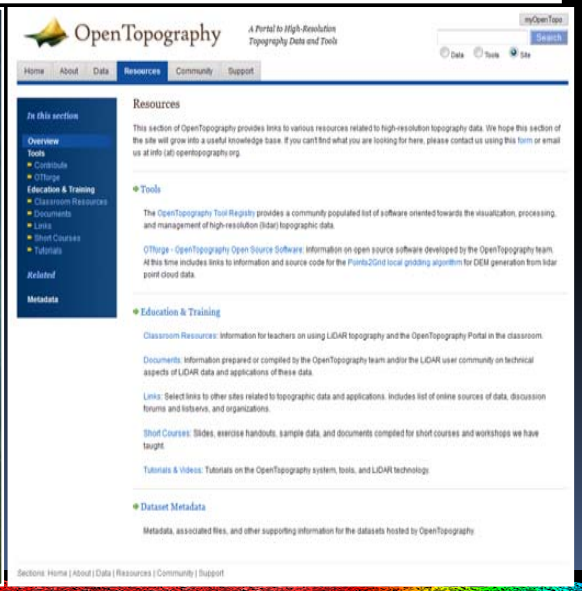
Recursos de libre distribucion

Recursos disponibles

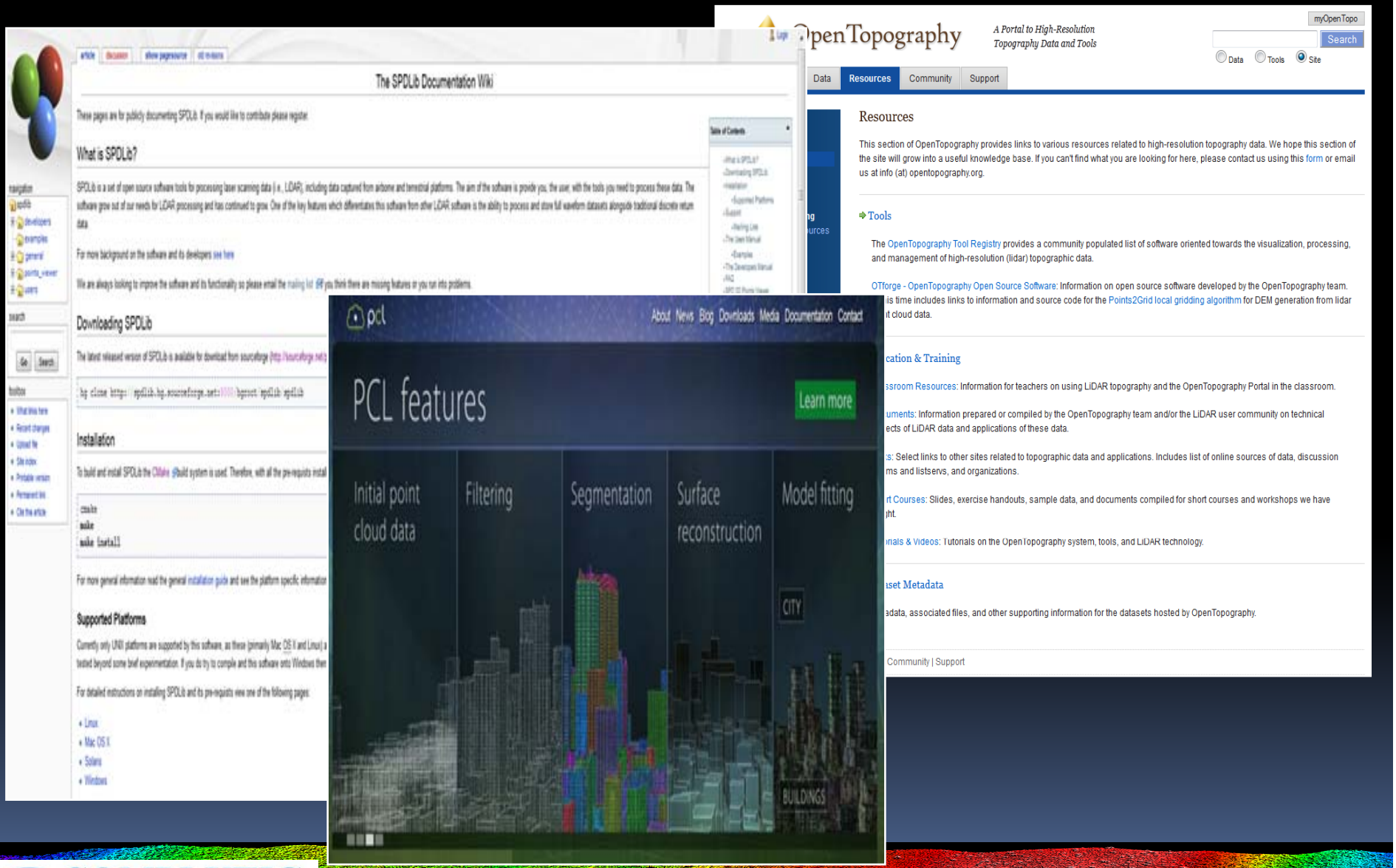








Recursos de libre distribucion



Recursos de libre distribucion

Recursos disponibles

- ✓ http://www.airbornelasermapping.com/
- ✓ http://www.lidarmap.org/index.html
- ✓ http://www.fsl.orst.edu/~lefsky/
- ✓ http://www.asprs.org/society/committees/lidar/
- ✓ http://www.geo.unizh.ch/~morsdorf/
- ✓ http://lidar.cr.usgs.gov

Recursos de libre distribucion

Recursos disponibles

- Research groups
  - Dubayah – University of Maryland
  - Lefsky – Colorado State University
  - Hyppa - Helsinki University of Technology
  - Naesset - Norwegian University of Life Sciences
  - Homlgren – Swedish University of Agricultural Sciences
  - Morsdorf- Universidad de Zurich
  - Popescu – Universidad Texas A&M
- Journals
  - Remote Sensing of Environment and other RS journals
  - Scandinavian Journal of Forest Research, 19: 6, 2004
  - Canadian Journal of Remote Sensing (CJRS). 2003. Special issue: LIDAR remote sensing of forest structure and terrain. Volume 29, No. 5
  - ISPRS. 1999. Special issues on airborne laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2 and 3

COMPLUTIG
Empresa de base tecnológica de la UAH