

**Tatiana Shchasnovich**

**Comparación de la Altura de la Base de las Nubes derivada de las  
medidas del Ceilómetro CL31 y Radiosonda en la Ciudad de Barcelona**

**Trabajo Final para la obtención del Título del Grado en Ciencias Ambientales**

**Junio 2016**

**Tutores:**

**Daniel Rodríguez Pérez (departamento de Física Matemática y de Fluidos,  
Facultad de Ciencias, UNED)**

**Joan Bech Rustullet (Departamento de Astronomía y Meteorología, Facultad de  
Física, Universidad de Barcelona)**





Comparación de la Altura de la Base de las Nubes derivada de las medidas del Ceilómetro CL31 y Radiosonda en la Ciudad de Barcelona

El documento que sigue a continuación ha sido realizado completamente por la firmante del mismo, no ha sido aceptado previamente como trabajo académico y todo el material que ha sido tomado de cualquier fuente ha sido citado en las referencias bibliográficas, apareciendo entrecomillado cuando la cita es literal.

Copyright © Tatiana Shchasnovich, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Educación a Distancia.

El conocimiento de la **altura de las bases de las nubes** y su evolución en el tiempo configuran un interesante campo de investigación científica por sus relevantes repercusiones en los estudios del balance energético e hídrico de la tierra, en los modelos globales para el estudio del cambio climático, así como en las predicciones para el mundo de la aviación entre otros.

En base a esta problemática se hace necesario disponer de métodos de cálculo y detección de la **altura de las nubes**.

En esta memoria se describe un estudio comparativo de la altura de la base de las nubes (*cloud base height*, **CBH**) derivada de dos metodologías distintas: una de **teledetección**, **LIDAR** (**Ceilómetro CL31**) y otra de **medidas *in situ***, **Radiosonda** (de MODEM).

El estudio se realizó en Barcelona, en el período comprendido entre el 23 de julio del año 2015 hasta el 30 de abril del año 2016, desde el departamento de Astronomía y Meteorología de la Facultad de Física de la Universitat de Barcelona, bajo la supervisión del Profesor Doctor Joan Bech.

Para posibilitar dichos cálculos se **implementan unos programas en Matlab** que pueden ser empleados en futuras investigaciones.

Una de las principales diferencias derivadas del estudio comparativo es que la **detección de las nubes** en el caso del **Ceilómetro** es mucho mayor (62,7%) que la detección de las nubes en el caso de la Radiosonda (5,6 %).

Otro resultado visible referido a la **altura media** detectada por ambos instrumentos (alrededor de 2300 m) es que ambas metodologías detectan más frecuentemente las nubes bajas y medias que las altas.

**Palabras clave:** base de las nubes, teledetección, LIDAR, Radiosonda, Matlab, detección de las nubes, altura media, nubes bajas

---

## ABSTRACT

---

Knowing the **cloud base height (CBH)** and its evolution over time sets an interesting field of scientific research because of its significant impact on studies of energy and water balance of the Earth, in climate change modeling, as well as predictions for the world of aviation.

Based on this problem it is necessary to have methods of **CBH** calculation and detection.

This bachelor thesis final report describes a comparative study of the CBH carried out using tools from two different methodologies: one from **remote sensing, LIDAR** (Ceilometer CL31), and the other one from ***in situ* measurements, Radiosonde** (of MODEM).

The study was performed in Barcelona, from the Department of Astronomy and Meteorology at the Faculty of Physics of the University of Barcelona, under the supervision of Prof. Dr. Joan Bech.

To allow these calculations **Matlab** programs are implemented that can be used in future research.

One of the main differences derived from this comparative study is that the **cloud detection** in the case of the Ceilometer is much higher (**62.7 %**) than the **cloud detection** in the case of the Radiosonde (**5.6%**).

Another visible result is based on the **average height** detected by both instruments (about **2300 m**) it may be due to both methodologies detect easier **low and middle clouds**, than the high ones.

**Keywords: cloud base height (CBH), remote sensing, LIDAR, Radiosonde, Matlab, cloud detection, average height, low and middle clouds**

---



## **1. INTRODUCCIÓN**

- 1.1. Papel de las nubes
- 1.2. Formación de las nubes
- 1.3. Clasificación de las nubes
- 1.4. Características
- 1.5. Ejemplo problemática (aviación)
- 1.6. Objetivos

## **2. MATERIALES Y METODOS**

- 2.1. Materiales
  - 2.1.1. Radiosonda (de MODEM)
  - 2.1.2. LIDAR (Vaisala Ceilometer CL31)
- 2.2. Metodología
  - 2.2.1. Análisis de datos Radiosonda
  - 2.2.2. Análisis de datos Ceilómetro CL31
  - 2.2.3. Implementación del Programa para la Radiosonda
  - 2.2.4. Código Ceilómetro CL31
  - 2.2.5. Código para comparar datos de los dos métodos

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

- 3.1. Estimaciones con la radiosonda
- 3.2. Estimaciones con el LIDAR
- 3.3. Comparación de ambas técnicas
- 3.4. Representación estadística de los resultados

## **4. CONCLUSIONES GENERALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

## **5. REFERENCIAS**

## **6. ANEXOS**

6.1. ANEXO 1:

Información técnica del Ceilómetro CL 31 (VAISALA)

6.2. ANEXO 2:

- a) Código escrito con Matlab para el estudio de los datos RAOB
- b) Código escrito con Matlab para el estudio de los datos LIDAR
- c) Código escrito con Matlab para el estudio de ambas técnicas



# 1. INTRODUCCIÓN

---

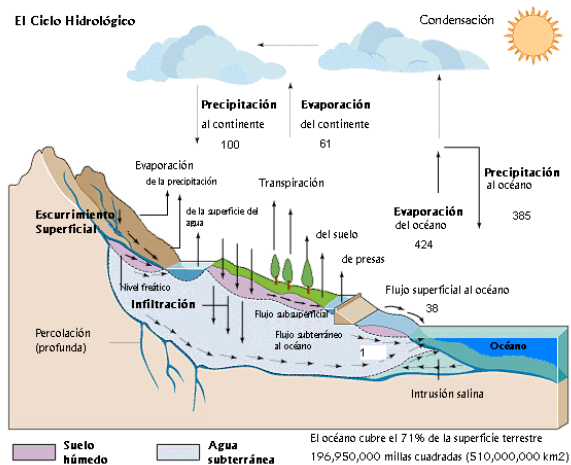
## 1.1. Papel de las nubes

Las nubes juegan un papel importante en el ciclo de la **radiación global** y en el ciclo **hidrológico** de la Tierra. Las propiedades macroscópicas de las nubes, como los tipos de las nubes, la altura de la base de las nubes, distribución temporal y espacial, son unas características importantes para describir el impacto de las nubes en el clima (**Liu et al, 2015**).

Las nubes son un fenómeno determinante en el clima, ya que afectan tanto a las precipitaciones como a la temperatura y a las horas de luz y, por tanto, **toman protagonismo en muchas investigaciones de las ciencias atmosféricas y aplicaciones relacionadas.**

**Es importante hablar de las nubes cuando hablamos del ciclo natural del agua.** El ciclo hidrológico describe el movimiento continuo y cíclico del agua en la Tierra (**fig.1**). El agua contenida en los océanos, mares, lagos, ríos y vegetación, calentada por el Sol, se evapora y pasa a la atmósfera en forma de vapor. El vapor se eleva y por el enfriamiento se condensa en gotitas de agua, que acaban formando nubes. Estas gotas de agua son muy pequeñas (entre 0,004 y 0,1mm) y, se encuentran suspendidas en el aire, en constante movimiento dentro de la nube. Allí se someten a corrientes ascendentes y otras fuerzas, chocando unas con otras y agrupándose entre ellas. Según las condiciones atmosféricas existentes, se puede producir un aumento de su tamaño hasta el punto de que su peso supere las fuerzas ascendentes y caigan hacia la tierra en forma de lluvia o precipitación.

Las que precipitan en forma de nieve pueden acumularse formando **casquetes polares** y glaciares, que pueden almacenar el agua en forma de hielo durante miles de años. En el caso de las precipitaciones en forma de agua, éstas contribuyen al contenido del agua fluvial. Una parte de esta agua se infiltra y se almacena en forma de reserva de agua dulce en aguas subterráneas, otra parte llega los ríos y de estos pasa de nuevo a los océanos para cerrar el ciclo.

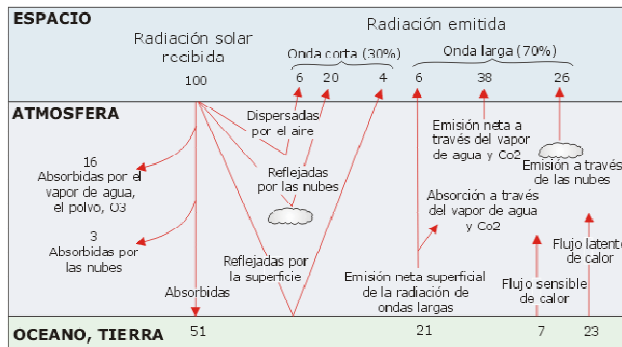


**Figura 1. Ciclo Hidrológico de la Tierra. Fuente:**  
<http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/CICLO.htm>

Por otro lado, hay que tener en cuenta las nubes cuando hablamos sobre el **balance energético** de la Tierra. El **balance global de radiación** es la diferencia entre la energía solar que llega a la atmósfera y la que sale hacia el exterior. En condiciones estables las pérdidas son iguales a las salidas. No toda la radiación emitida por el Sol llega a la superficie, ni toda la radiación es devuelta después de la misma forma. Se pueden describir múltiples procesos que pueden seguir “distintos caminos” (transformación de la radiación en una longitud de onda mayor, conservación de la misma longitud de onda).

El Sol emite energía radiante en forma de **radiación de ondas electromagnéticas con su máximo en el espectro visible (aunque se extiende tanto hacia longitudes de onda más cortas, el ultravioleta, como más largas, el infrarrojo)**. Parte de esta radiación es absorbida, reflejada o dispersada. Los elementos que intervienen en la reflexión son: océano, suelo, **nubes** o partículas dispersas en el aire. Dicha radiación reflejada se conoce como **albedo**, y representa aproximadamente el **30%** de la radiación total, aunque su valor real puede variar.

Por su parte, la **radiación absorbida por la atmósfera, biosfera y el suelo** es después **emitida de nuevo al exterior** en forma de **radiación de onda larga (en el rango del IR)**. Y representa aproximadamente el **70 % de la radiación global (fig.2)**.



**Figura 2: Balance Energético de la Tierra.**

Fuente: [http://fjarabo.webs.ull.es/MAFun/Mafun02/Maf02\\_41.htm](http://fjarabo.webs.ull.es/MAFun/Mafun02/Maf02_41.htm)

Como vemos las nubes son las que más contribuyen a **reflejar energía** (aproximadamente el 20% del albedo antes comentado, se ven brillantes por la energía que reflejan), y a **emitir calor** (las nubes actúan como calefactores en la atmósfera). Se dice que las nubes se comportan como un **termostato** que determina la temperatura de la Tierra. Si aumentara el grosor medio de las nubes bajas (se hacen más reflectantes debido a mayor superficie), la temperatura terrestre disminuiría.

## 1.2. Formación de las nubes

Las nubes se forman cuando el aire, calentado por la **irradiación terrestre**, se eleva hasta alcanzar su **punto de rocío**, que es la temperatura por debajo de la cual la masa de aire no puede mantener toda su humedad en estado de vapor y éste **se condensa**, convirtiéndose en líquido, en forma de gotitas de agua. Si la temperatura es lo suficiente baja se originan cristales de hielo.

La saturación se produce cuando la **presión de vapor,  $e$**  (la presión que tendría el vapor de agua si ocupara él solo el volumen ocupado por el aire húmedo) se iguala a la presión de **vapor saturante,  $E(T)$** .

Esto puede ocurrir por diversos procesos:

- 1) por **aumento de la presión de vapor,  $e$**
- 2) por la **disminución de la presión de saturación,  $E(T)$**

Para que aumente la presión de vapor  $e$ , es necesario incrementar la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Este proceso sucede por mezcla con una masa de aire más húmedo. Para que disminuya la **presión de saturación  $E(T)$**  es necesario que baje la Temperatura del aire. Este proceso sucede por **enfriamiento por expansión adiabática** (cuando la masa de aire caliente se eleva en la atmósfera). En este proceso se **cambia la presión**, puesto que se trata de un movimiento vertical del aire. Aunque la temperatura del aire también puede bajar a **presión**

**constante**, sin variación de altitud, por desplazamiento horizontal sobre una superficie más fría, cediéndole calor (**proceso de advección**) (Zúñiga López and Crespo del Arco, 2010).

En **aire puro** la condensación no podría ocurrir, o lo haría a temperaturas extremas, aproximadamente a **-40°C**. Por esta razón es necesaria la presencia de partículas en las que el **vapor pueda condensarse o depositarse**. Son los llamados **núcleos de condensación**, partículas higroscópicas procedentes de la Tierra como partículas de polvo, sales marinas, humo, sulfuros procedentes de la combustión de combustibles fósiles, etc... (Wallace and Hobbs, 2006)

### 1.3. Clasificación de las nubes

A continuación se expone una clasificación de las nubes según su altura sobre el suelo, su forma y sus más frecuentes combinaciones. Según el Atlas Internacional de Nubes, publicado en 1956 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las nubes se clasifican en 10 géneros, que se excluyen mutuamente (**tabla1**):

Familia	Género	Símbolo	Altura de la base media (metros)	Tope medio (metros)
<b>A</b> Nubes altas	Cirrus	<b>Ci</b>	Trópicos: 6000	18000
	Cirrostratus	<b>Cs</b>	Latitudes medias: 5000	13000
	Cirrocumulus	<b>Cc</b>	Región polar: 3000	8000
<b>B</b> Nubes medias	Altostratus	<b>As</b>	Trópicos: 2000	8000
	Altostratus	<b>Ac</b>	Latitudes medias: 2000 Región polar: 2000	7000 4000
<b>C</b> Nubes bajas	Stratus	<b>St</b>	Trópicos: superficie	2400
	Stratocumulus	<b>Sc</b>	Latitudes medias: superficie	2000
	Nimbostratus	<b>Ns</b>	Región polar: superficie	750
<b>D</b> Nubes de desarrollo vertical	Cumulus	<b>Cu</b>	Tropicos: 300-2400	12000
	Cumulonimbus	<b>Cb</b>	Latitudes medias: 600-2400 Región polar: 600-2400	6000 6000

Tabla 1. Clasificación de las nubes.

Fuente: <http://www.clubaereosantiago.cl/socios/meteorologia/nubes.pdf>

## 1.4. Características

### Nubes altas:

**Cirrus** - este tipo de nubes de **hielo** tiene un aspecto filamentosos y no provoca precipitaciones.

**Cirrostratus** - estas nubes de **hielo** forman un velo nuboso transparente y blanquecino. Tiene aspecto fibroso o liso, y cubre el cielo por entero o parcialmente y, generalmente produce fenómenos ópticos de halo. No produce precipitaciones.

**Cirrocumulus** –son nubes de **hielo** compuestas horizontalmente por finas nubes con aspecto de algodón, con pequeños flecos blancos ordenados más o menos regularmente en alineamientos o grupos. No provocan precipitaciones.

### Nubes medias:

**Altostratus** – estas nubes forman una lámina grisácea o azulada, de aspecto estriado, fibroso o uniforme, que cubre por entero o parcialmente el cielo. No provoca precipitaciones, provoca la corona solar o lunar.

**Alto cumulus** – este tipo de nubes forma una lámina delgada o capa de nubes blancas o grises, que tienen sombras compuestas por losetas y masas redondeadas. No provocan precipitaciones.

### Nubes bajas:

**Stratus** - son nubes de **agua** líquida caracterizadas por capas horizontales con una base uniforme que van del gris o blanco homogéneo y pueden cubrir todo el cielo. Pueden provocar lloviznas al espesarse mucho.

**Stratocumulus** – forman un **banco o capa de nubes** grises o blanquecinas, que tienen casi siempre partes oscuras. Están compuestas por masas redondeadas. No tienen aspecto fibroso. Pueden producir lluvias ligeras continuas y lloviznas.

**Nimbostratus** - este tipo de nubes forman una capa nubosa gris de tipo estable que oculta al sol y provoca precipitaciones de tipo continuo e intermitente.

### Nubes de desarrollo vertical:

**Cumulus** - se trata de nubes aisladas, densas y con contornos bien definidos, que se desarrollan verticalmente en forma de **cúpulas o torres**, y sus partes superiores convexas se parecen con frecuencia a una coliflor pudiendo adquirir un gran desarrollo vertical (Cumulus congestus). No producen lluvias.

**Cumulonimbus** – son nubes densas, con un **desarrollo vertical considerable**, en forma de montaña o de enormes torres. Parte, al menos de su cima es normalmente lisa, fibrosa o estriada, y casi siempre aplastada; esta parte se extiende a menudo en forma de un yunque. Provoca precipitaciones fuertes, chubascos y tormentas eléctricas.

### 1.5. Ejemplo problemática

El estudio de las nubes para el mundo de **aviación es de gran relevancia**.

La **Aviación** está afectada por el tiempo atmosférico más que cualquier otro tipo de transporte. Nubes, niebla, así como las precipitaciones pueden modificar la regularidad de las operaciones de la aeronave, así como hacer potencialmente peligroso el aterrizaje de aviones. Por este motivo los instrumentos como **Ceilómetro** son ahora esenciales en los aeropuertos (**Gaumet et al, 1998**).

Para los aviones el encuentro con las nubes es normal en 98 % de los casos, pero en el 2% se vuelve peligroso. Especialmente es necesario evitar entrar en los Cumulonimbus y los Cumulus congestus, puesto que este tipo de nubes son de gran desarrollo vertical que vienen asociadas con **lluvia fuerte, turbulencia** y posibilidad de encontrar **granizo**.

Los sistemas de observación meteorológica en aeropuertos han de cumplir los estándares de calidad establecidos por la **Organización Meteorológica Mundial (OMM)** y la **Organización de Aviación Civil Internacional (ACI)** (International Standards and Recommended Practices). El documento **WMO-No.49 - Volume II – Meteorological Service for International Air Navigation** contiene las normas para dar servicio meteorológico a la aviación internacional. Estas normas también se recogen en el **Anexo 3 al Convenio de Chicago de la OACI**; ambos documentos son regularmente actualizados de mutuo acuerdo entre ambas organizaciones (**hispaviacion.es (25 de Marzo 2016)**).

Desde el punto de vista aeronáutico las observaciones de nubes en un aeropuerto han de indicar la cobertura nubosa, **la altura de la base de las nubes** y el tipo de nubes cuando éstas son significativas para las operaciones. Como ya ha sido indicado anteriormente dichas nubes son los Cumulonimbos (CB) y los Cumulus congestus (Cu co) (**hispaviacion.es (25 de Marzo 2016)**).

### 1.6. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es **realizar un estudio comparativo** basado en dos métodos distintos de la medición de la altura de las bases de nubes en el período de tiempo

comprendido entre **los meses julio 2015 y abril 2016**. Debido al campo que nos ocupa (**teledetección ambiental**), el primer método propuesto para el estudio de la altura de la base de las nubes es la **técnica de teledetección LIDAR (Ceilómetro CL-31)**. Los Ceilómetros son los instrumentos más utilizados de los destinados a la determinación de la altura de la base de nubes (**CBH, cloud base height**).

La **OMM** reconoce que el **Ceilómetro** láser es la herramienta más precisa, fiable y eficiente para medir la **CBH** desde la superficie en comparación con otros equipos (**Liu et al, 2015**). Puesto que el modelo del **Ceilómetro** usado tiene el rango de detección de base de las nubes máximo de **7500 m** por encima de la superficie, se detectarán todos los tipos de las nubes antes comentados (**tabla 1**).

El segundo método propuesto es un método de observación *in situ* (**Radiosondeo**).

**Los objetivos específicos del trabajo serán:**

- Hacer revisión de la técnica de **Radiosondeo** así como la implementación de un programa para calcular la **CBH** a partir de los datos de Humedad Relativa recogidos por esta técnica de medición en altura.
- Hacer una revisión de la técnica **LIDAR**, así como la implementación de un programa para extracción de los datos de interés (la altura de la base de las nubes en el período y rango horario de interés).
- Por último, implementar un programa para realizar una comparación de las mediciones de ambas técnicas proponiendo como método de referencia la técnica de **Radiosondeo**.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

---

### **2.1. Materiales**

Los instrumentos que se han usado para llevar a cabo las **mediciones** son:

- 1) Estación de Radiosondeo (**Robotsonde, MODEM**)
- 2) LIDAR (**Vaisala Ceilometer (CL31)**)

Ambos instrumentos mencionados se encuentran en el laboratorio del departamento de **Astronomía y Meteorología** de la **UB** y, es desde allí desde donde se han realizado las mediciones.

Los datos recopilados pertenecen a los meses de julio del año 2015 - abril del año 2016.

### 2.1.1. Radiosonda (de MODEM)

El **Radiosondeo** en Barcelona se realiza desde el año **1998**. Inicialmente se realizaba una vez al día, a las **12 UTC**, pero desde el **Mayo de 1999** empezó a realizarse dos veces al día, a las 00 y 12 UTC. Desde el año 1998 hasta el 2012 el radiosondeo se realizaba de forma manual (**fig.3**), y a partir del **año 2013** se realiza de **forma automática** mediante la **Estación de Radiosondeo (fig.4)**, que dispone de una autonomía de hasta **6 días**.

La **Estación de Radiosondeo de Barcelona (Robotsonda)**, ubicada en la Facultad de Física de la Universidad de Barcelona (la única que hay en Cataluña actualmente) forma parte de la **Red Meteorológica Mundial** a través del **GTS** (Global Telecommunication System) con el **código 08190** desde diciembre de **2008**. Así, los datos científicos de radiosondeos de Barcelona se integran en los boletines de intercambio regional de la **OMM** para uso de la comunidad científica. Esta red incluye aproximadamente 1300 radiosondeos sistemáticos que se realizan alrededor de todo el Mundo (**fig.5**) ([www.ub.edu](http://www.ub.edu) (**18 de Marzo de 2016**))



**Figura 3. Estación de Radiosondeo Manual, operativa desde el año 1998 hasta el 2012. Fotografías propias tomadas el día 09/03/2016.**





Figura 4. Robotsonda, operativo desde el año 2013. Fotografía propia tomada el día 09/03/2016

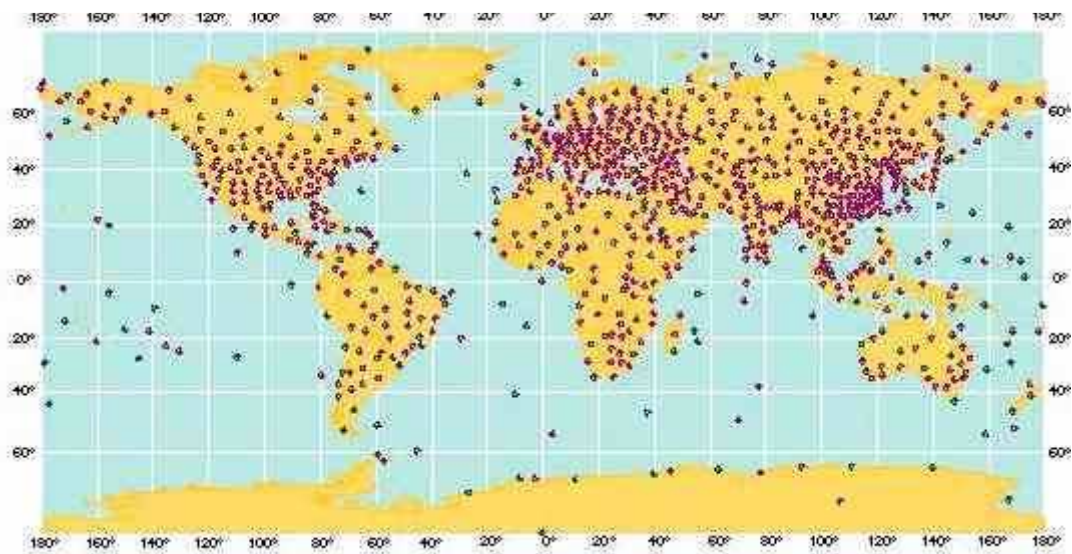


Figura 5. Red Meteorológica Mundial.

Fuente: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Gos-components.html>

La radiosonda es un aparato transportado por globo de helio provisto de **sensores** y de una pequeña **radioemisora** que va transmitiendo a tierra los datos a medida que se obtienen. La Radiosonda dispone de siguiente equipo (**fig.6**):

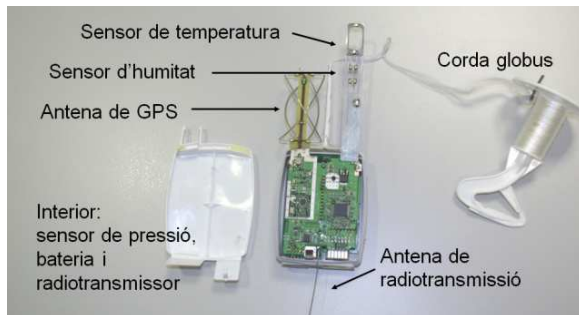
**Parte exterior formada por:**

- Antena GPS
- Antena de Radiotransmisión
- Sensor de Temperatura
- Sensor de Humedad

**Parte interior formada por:**

- Sensor de Presión

- Bateria
- Radiotransmisor



**Figura 6. Partes externas e internas de una radiosonda.**

Fuente: <http://www.meteo.cat/>

El **Radiosondeo** proporciona, dos veces al día (00 h y 12 h UTC), una serie de variables que permiten **determinar el estado de la atmósfera en la vertical** del punto donde se hace el sondeo, hasta aproximadamente 25-30 km de altitud. En concreto, se mide la **temperatura, la humedad relativa, la presión atmosférica, la temperatura del punto de rocío, y la velocidad y dirección del viento**. Estos datos se representan en diagramas termodinámicos que se pueden consultar en la web del Servicio Meteorológico de Cataluña (<http://www.meteo.cat/>).

La Radiosonda no nos proporciona directamente la altura de la base de la nube. Pero basándonos en el método propuesto por Wang y Rossow (**Wang and Rossow, 1995**) se ha escrito un programa informático que la estima a partir de los datos de la **humedad relativa** que disponemos **usando las condiciones de la humedad relativa máxima, mínima y la diferencia entre ambas**. Este programa ha sido implementado en Matlab para procesar los archivos de datos exportados por el software RAOB. Se explica detalladamente a continuación en el apartado 2.2. Metodología.

### 2.1.2. LIDAR: Vaisala Ceilometer (CL31)

El **Ceilómetro LiDAR Vaisala CL31** también conocido como **Nefobasímetro** (Vaisala Oyj, Helsinki, Finlandia) es un instrumento que emplea la **tecnología láser de diodo pulsado LiDAR** (light detection and ranging) (**fig.7**). El láser de diodo está hecho de **InGaAs** (indium-gallium arsenide). Opera en la longitud de onda de **910 +/- 10 nm a 25°C (77 F)** con una potencia pico de **11W**. La unidad receptora es un **fotodiodo de avalancha de silicio**, con un filtro de interferencia que tiene longitud de onda central en **915nm** y el diámetro de la superficie es **0,5 mm**. La longitud focal del sistema óptico es de **300 mm con diámetro de lente de 96 mm**. El modelo **CL31** tiene el rango de detección de base de las nubes máximo de **7500 m** por

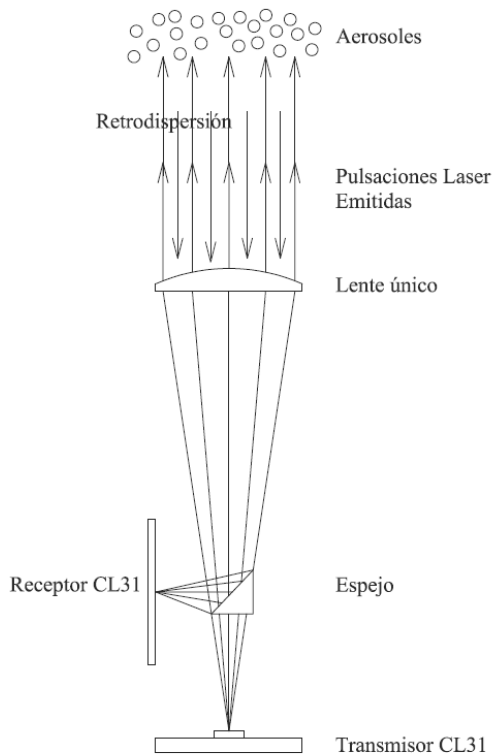
encima de la superficie (**Sharma et al, 2015**). En el **Anexo I** se proporciona la información técnica del **CL31**.

El **CL31** sirve para medir **altura de base de nubes** y **visibilidad vertical**, mediante la reflexión de luz causada por las **partículas en suspensión en la atmósfera** (neblina, niebla, precipitación, nube). Esta reflexión de luz es llamada **redispersión (backscatter)** (**fig.8**). El perfil de la retrodispersión resultante, es decir, la intensidad de la señal frente a la altura, se almacena y se procesa y las **CBH** son detectadas por el algoritmo proporcionado por Vaisala.

**CL31** detecta **simultáneamente tres capas de nubes** y, debido a la rápida medición (en nuestro caso la muestra es realizada cada 16 s) y la tecnología mejorada de lente único, proporciona un perfil completo de retrodispersión para visualización de datos. Los 16 segundos indican la frecuencia de medida de la altura de la nube en cada instante. La tecnología de la lente única evita que la luz emitida por el pulso láser penetre por múltiples reflexiones en el detector. El perfil completo de retrodispersión se obtiene para cada pulso, viendo las alturas a las que se producen las diferentes retrodispersiones que sufre un pulso láser enviado, que luego es recogido por el sistema óptico (telescopio). Los datos se obtienen automáticamente mediante **Vaisala Boundary Layer View Software BL-View**.



**Figura 7. Ceilómetro CL31. Fotografías propias, tomadas el día 09/03/2016**



**Figura 8. Esquema del funcionamiento del Ceilómetro CL31. Esquema propio realizado con AutoCAD 2009**

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Análisis de datos de la Radiosonda

Los datos registrados por los sensores de la radiosonda se proporcionan en archivos de extensión **.TXT** y proporcionan la siguiente información (**tabla 2**):

Columna	Descripción
ftr_time	Tiempo en segundos desde el lanzamiento del globo sonda hasta que se rompe (se proporcionan datos cada segundo)
ftr_alt	Altura en metros
ftr_pres	Presión en hPa
ftr_temp	Temperatura en °C
ftr_hum	Humedad relativa %
ftr_DP	Temperatura del Punto de Rocío (Dew Point) en °C
ftr_WF	Velocidad del Viento (Wind Force, la componente de la velocidad)
ftr_WD	Dirección del viento (Wind Direction)
ftr_VEF	Componente horizontal del viento
ftr_VNF	Componente horizontal del viento
ftr_LAT	Latitud según el posicionamiento de la Sonda

ftr_LON	Longitud según el posicionamiento de la Sonda

**Tabla 2: Contenido de los archivos de RAOB**

### Ejemplo 1:

A continuación se propone un ejemplo de una línea en el archivo RAOB de registro de datos:

```
ftr_time      ftr_alt  ftr_pres ftr_temp      ftr_hum      ftr_DP  ftr_WF  ftr_WD
      ftr_VEF      ftr_VNF      ftr_LAT      ftr_LON
0      98      1007.4 24.96  75.1  20.2  7.97  27      -2.1  -7.3  41.384518
      2.117446
```

Columna	Descripción
ftr_time	0 s
ftr_alt	98 m
ftr_pres	1007.4 hPa
ftr_temp	24.96 °C
ftr_hum	75.1 %
ftr_DP	20.2 °C
ftr_WF	7.97
ftr_WD	27
ftr_VEF	-2.1
ftr_VNF	-7.3
ftr_LAT	41.384518
ftr_LON	2.117446

### 2.2.2. Análisis de datos del Ceilómetro CL31

Los mensajes del **Ceilómetro** se almacenan en la base de datos **BL - VIEW** en el disco duro del PC. Los datos de la capa límite analizados automáticamente se almacenan en archivos de registro que también pueden ser utilizados por otras aplicaciones. Es posible ver y analizar los datos registrados previamente así como datos en tiempo real al mismo tiempo. Hay **dos niveles** de datos almacenados en los archivos:

- Datos del **nivel 2** (Level 2) contienen el tiempo y el perfil de la señal de retrodispersión hecho con la Resolución de 10 m y hasta la altura de 4500 m.
- Los datos del **nivel 3** (Level 3) se procesan de acuerdo con el valor predeterminado o un conjunto de parámetros personalizados

En este caso se trabaja con los datos ya procesados del **Nivel 3**.

Este tipo de archivos usan la extensión **.HIS** y proporcionan la siguiente información (**tabla 3**):

Columna	Descripción
CREATEDATE	Hora en formato 'AAAA-MM-DD hh:mm:ss' (UTC)
UNIXTIME	Hora en formato <b>Unix time</b> (número de segundos desde el 1 de enero de 1970)
CEILOMETER	Identificador del Ceilometer
PERIOD	Período de actualización de datos en segundos (constante 16 segundos)
SAMPLE-COUNT	Número de muestras del nivel 2 utilizada para calcular este nivel 3
BL_HEIGHT_1	Primer candidato de altura de la capa límite (en metros) (-999 si no se encuentra)
BL_INDEX_1	Índice de calidad del primer candidato de altura de la capa límite ( -999 si no hay candidato )
BL_HEIGHT_2	Segundo candidato de altura de la capa límite (en metros) (-999 si no se encuentra)
BL_INDEX_2	Índice de calidad del segundo candidato de altura de la capa límite (-999 si no hay candidato )
BL_HEIGHT_3	Tercer candidato de altura de la capa límite (en metros) (-999 si no se encuentra)
BL_INDEX_3	Índice de calidad del tercer candidato de altura de la capa límite (-999 si no hay candidato )
CLOUD_STATUS	Estado de detección de nubes , 0-4
CLOUD_1	La primera base de nubes ( metros ) o visibilidad vertical ( metros ) ( -999 si no hay base de las nubes o visibilidad vertical )
CLOUD_2	Segunda base de la nube ( metros ) o la señal más alta recibida en la visibilidad vertical (metros ) ( -999 si no hay base de las nubes o visibilidad vertical )
CLOUD_3	Tercera base de las nubes ( metros ) ( -999 si no hay base de las nubes )
PARAMETERS	Parámetros del algoritmo del Nivel 2 al Nivel 3

**Tabla 3: Contenido de los archivos de registro generados de forma automática o exportados manualmente que contienen datos de Nivel 3. Fuente: User's Guide. Vaisala Boundary level View Software (BL-VIEW), Vaisala Oyj, 2010**

### **Ejemplo 1:**

A continuación se muestra un ejemplo de las primeras tres líneas en el archivo de registro de datos **del Nivel 3:**

History file

CREATEDATE, UNIXTIME, CEILOMETER, PERIOD, SAMPLE\_COUNT, BL\_HEIGHT\_1, BL\_INDEX\_1, BL\_HEIGHT\_2, BL\_INDEX\_2, BL\_HEIGHT\_3, BL\_INDEX\_3, CLOUD\_STATUS, CLOUD\_1, CLOUD\_2, CLOUD\_3, PARAMETERS  
 2015-07-28 00:00:00, 1438041600, DEVICE\_1, 16, 63, 50, 2, 380, 2, 1330, 2, 1, 1234, -999, -999, 1\_360\_1\_3120\_10\_30\_4000\_3

Columna	Descripción
CREATEDATE	2015-07-28 00:00:00
UNIXTIME	1438041600
CEILOMETER	DEVICE_1
PERIOD	16
SAMPLE-COUNT	63
BL_HEIGHT_1	50
BL_INDEX_1	2
BL_HEIGHT_2	380
BL_INDEX_2	2
BL_HEIGHT_3	1330
BL_INDEX_3	2
CLOUD_STATUS	1
CLOUD_1	1234
CLOUD_2	-999 (base de la nube o visibilidad vertical no detectadas)
CLOUD_3	-999 (base de la nube no detectada)
PARAMETERS	1_360_1_3120_10_30_4000_3

Para leer cada uno de los archivos proporcionados, procesar los datos y extraer los parámetros de interés se han escrito los respectivos programas en **Matlab**, que a continuación se explican de manera breve. Todos los códigos se adjuntan en el **Anexo 2** de la memoria.

### 2.2.3. Implementación del Programa Radiosonda

Como ya ha sido mencionado anteriormente el radiosondeo es una técnica que no proporciona de manera directa el dato de interés de este trabajo (la **CBH**) por tanto el tratamiento de los datos se ha realizado de la siguiente manera:

**- se ha desarrollado un código que permite conseguir lo siguiente:**

1. leer todos los archivos **raob .txt** proporcionados mediante **tdfread ()**. **tdfread ()** es una función de **Matlab** que permite leer los archivos de texto delimitados por tabuladores.
2. Puesto que cada archivo **.txt** contiene más datos de los que son de interés (**tabla 2**) (para el caso sólo se necesita de humedad relativa, el tiempo y la altura) se escribe que se extraigan de los **vectores** los datos de la **humedad relativa** (hum\_rel), el **tiempo** (time) y la **altura** (alt).

3. Luego, para el cálculo de la base de las nubes (Cloud Base), se escribe la siguiente condición: **if (valor<=RHMax) && (valor>=RHMin) && (valor-valor\_anterior>=Jump), teniendo en cuenta que RHMax <=87%, RHMin >= 84% y Jump >= 3%.**

Si dicha condición se cumple, se encuentra un base candidata, se finaliza el cálculo para el presente archivo y se pasa al siguiente archivo. Si la condición no se cumple, la base candidata es no encontrada (-999.0), es decir, probablemente este día no hubo nubosidad.

Una vez se encuentran los resultados con el código RAOB, dichos resultados se usan para el tratamiento de los datos del Ceilómetro. Las mediciones de radiosondeo se realizan dos veces al día en el rango horario entre las 11:00 a.m y 01:00 p.m y entre las 11:00 p.m y 01:00 a.m, por tanto los resultados encontrados pertenecen a estos rangos horarios.

**En el Anexo 2 se adjuntan los Códigos escritos: RAOB\_read.m (lectura de datos); RAOB\_analyze.m (análisis de datos); RAOB\_plot.m (dibujo de las gráficas)**

#### **2.2.4. Código LIDAR**

Como ya ha sido mencionado anteriormente el Ceilómetro usa una técnica **LIDAR** que proporciona de manera directa el **dato de interés** de este trabajo (**CBH**) CLOUD\_1 (tabla 1), por tanto el tratamiento de los datos se ha realizado de la siguiente manera:

1. Se leen todos los archivos **ceilometer.his** proporcionados con la función **hisread ()**. **hisread ()** es una función de **Matlab** que permite leer los archivos de extensión **.his**, permitiendo no leer las primeras X líneas que se le diga. En nuestro caso la primera fila (History file, ver Ejemplo 1, no es de interés).

2. Puesto que cada archivo **.his** contiene más datos de los que son de interés (tabla 1) (para el caso sólo se necesitan los datos del tiempo y la altura) se escribe que se extraigan **de los vectores** los datos de la **altura de la base de la nube (cloud\_1)** y el **tiempo (time)**.

3. Se escribe en el código que extrae los datos correspondientes a los días en los que la **base de la nube es distinta de -999.0** (es distinta de no detectada) en el rango horario de interés (entre las 11.00 a.m y 12.00 p.m y entre las 11.00 p.m y 00:00 a.m) y, que hace un diagrama de cajas del conjunto de datos estudiado.

**En el Anexo 2 se adjuntan los Códigos escritos LIDAR\_read.m (lectura de datos); LIDAR\_analyze.m (análisis de datos); LIDAR\_plot.m (dibujo de las gráficas)**



### 2.2.5. Códigos ambos instrumentos

Puesto que el objetivo es la comparación de ambas técnicas, se escribe otro código que permite extraer datos y variables de los dos códigos anteriores, a partir de los cuales se hacen las respectivas **comparaciones e intersecciones de los datos de interés**. Teniendo en cuenta que no son de interés los datos de todos los días, **sino solamente de los días en los que las nubes fueron detectadas con la técnica de radiosondeo** (pues la radiosonda se toma como el instrumento de referencia), se escribe en el código que se extraigan los datos de los mismos días en los que la base de la nube es distinta de -999.0 (es distinta de no detectada) en el rango horario de interés (entre las 11.00 a.m y 12.00 p.m y entre las 11.00 p.m y 00:00 a.m). Según la base de la nube fuese detectada **por la mañana o por la tarde con la técnica de Radiosondeo**, se dibuja la intersección, así como un diagrama de dispersión.

**En el Anexo 2 se adjuntan los Códigos escritos BOTH\_read.m (lectura de datos); BOTH\_analyze.m (análisis de datos); BOTH\_plot.m (dibujo de las gráficas de comparación); BOTH\_plot\_comparison.m (dibujo de las gráficas de intersección)**

Por último para una mejor representación gráfica, se juntan los códigos escritos para RAOB y para LIDAR y se dibujan unas gráficas de **comparación entre el total de las bases de las nubes detectadas por ambas técnicas durante todo el período en el rango horario de interés**.

**En el Anexo 2 se adjunta el Código escrito: RAOB\_LIDAR\_plot.m.**

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

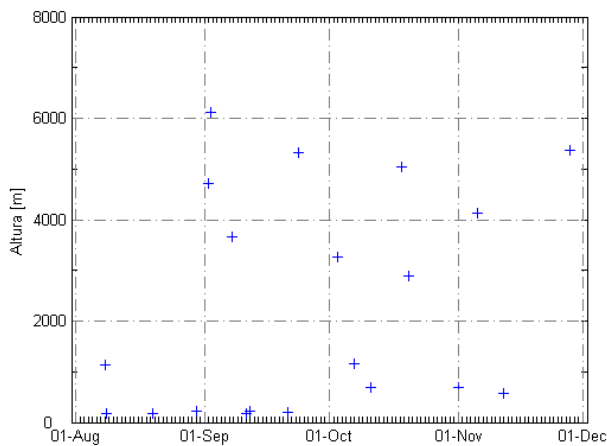
---

Se analiza un período de **9 meses**, desde el 23 de julio del año 2015 hasta el 30 de abril del año 2016. Para la realización de las gráficas el período se ha dividido en dos: el primero, correspondiente a los meses julio- noviembre y, el segundo correspondiente a los meses diciembre-abril. A pesar del corto período de estudio, la alta frecuencia de las medidas (sobre todo en el caso del Ceilómetro, que proporciona medidas cada 16 segundos) resulta en un conjunto de datos de gran dimensión. Un total de **556 ficheros .TXT** en el caso de **RAOB** (cada fichero contiene los datos correspondientes a **un lanzamiento de la Sonda**, que proporciona medidas aproximadamente cada segundo

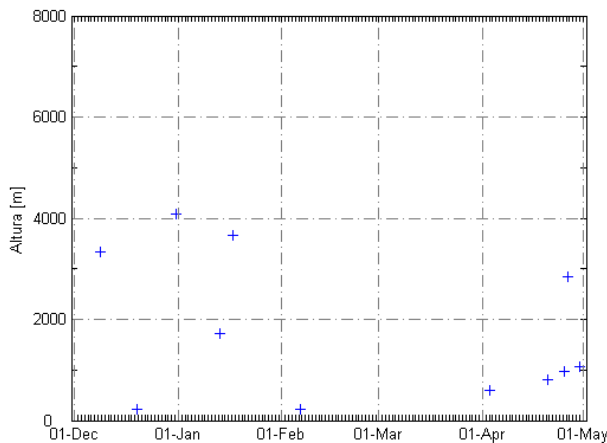
con una media de 6000 mediciones por fichero y, **278 ficheros .HIS** en el caso del **Ceilómetro** con acerca de 5402 mediciones por día (por fichero).

### 3.1. Estimaciones con RAOB

A continuación se adjuntan dos gráficas (**Fig. 9 y Fig.10**) correspondientes al período analizado de las CBH por la técnica de Radiosondeo según el programa escrito antes comentado.



**Figura 9. Bases de las nubes detectadas mediante la técnica de Radiosondeo (período 1, agosto 2015-noviembre 2015) (Código RAOB\_plot.m)**



**Figura 10. Bases de las nubes detectadas mediante la técnica de Radiosondeo (período 2, diciembre 2015-abril 2016) (Código RAOB\_plot.m)**

La **Figura 9**, correspondiente al período que abarca desde el mes de Agosto hasta el mes de Noviembre, muestra claramente una mayor frecuencia de nubes bajas frente a las nubes medias y altas, medidas por la radiosonda. Podría ser debido a la formación de **Nimbostratos** (nubes típicas de verano y otoño). En cambio en la **Figura 10**,

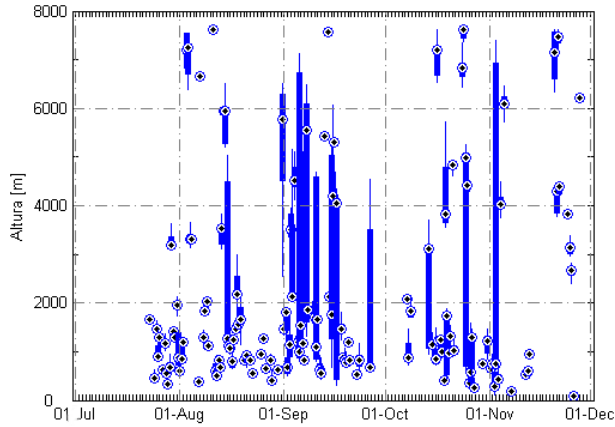
correspondiente a la segunda mitad del período analizado se puede observar una cierta homogeneidad entre las bases de las nubes detectadas, con un posible aumento de la altura a partir de Abril, aunque en general se ve una tendencia a la detección de las nubes bajas y medias sobre las nubes altas. Se puede observar asimismo más variabilidad en los datos de la primera mitad del período (correspondiente a los meses de verano y otoño).

### **Ocurrencia de nubes mediante la técnica de Radiosondeo:**

Definimos aquí la **ocurrencia de nubes** como la razón entre los registros con las nubes detectadas con respecto al total de los días analizados (en nuestro caso son  $278 \times 2 = 556$ ). De los **556** ficheros analizados con la Radiosonda mediante el programa antes explicado se leen **31 en los que al menos una base de nube es detectada**. Por tanto en el caso de la Radiosonda la ocurrencia de nubes es de **5.6%** ( $31/556 \times 100$ ) para los meses analizados. Comparando este resultado con los resultados obtenidos en **Bech *et al*, 2015** se trata de un **valor bajo**, la explicación podría estar en que las mediciones de la CBH con esta técnica **se basan únicamente en los datos de la Humedad Relativa**.

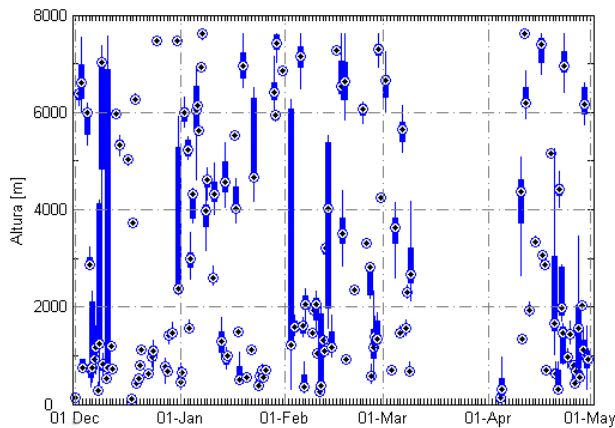
### **3.2. Estimaciones con LIDAR**

A continuación se adjuntan dos gráficas (**Fig. 11 y Fig.12**) correspondientes al período analizado de las bases de las nubes detectadas por la técnica **Lidar** según el programa escrito. En este caso la representación gráfica se hace con **Diagrama de cajas (Boxplot en adelante)**, puesto que como ya ha sido mencionado anteriormente, esta técnica realiza mediciones continuas con una frecuencia de 16 segundos. El punto medio del **Boxplot** corresponde a la **mediana** que se toma como dato representativo para realizar posteriores comparaciones.



**Figura 11. Bases de las nubes detectadas mediante la técnica LIDAR (período 1, julio 2015- noviembre 2015) (Código LIDAR\_plot.m)**

De forma similar a la **Fig. 9** correspondiente a la técnica de Radiosondeo (de agosto a noviembre), en la **Fig. 11** se puede observar una abundancia de las nubes bajas detectadas frente a las nubes medias y altas.



**Figura 12. Bases de las nubes detectadas mediante la técnica Lidar (período 2, diciembre 2015- abril 2016) (Código LIDAR\_plot.m)**

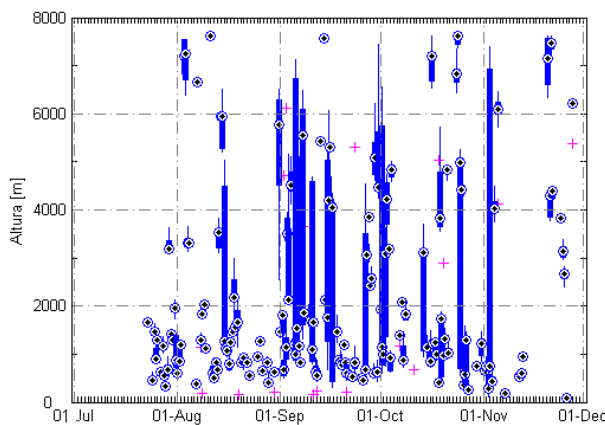
De forma similar a la **Fig. 10** correspondiente a la técnica de Radiosondeo (de diciembre a abril), en la **Fig. 12** presenta una mayor homogeneidad entre las bases de las nubes detectadas, aunque en general se ve una tendencia a la mejor detección de las nubes bajas y medias sobre las nubes altas.

**Ocurrencia de nubes mediante la técnica LIDAR:**

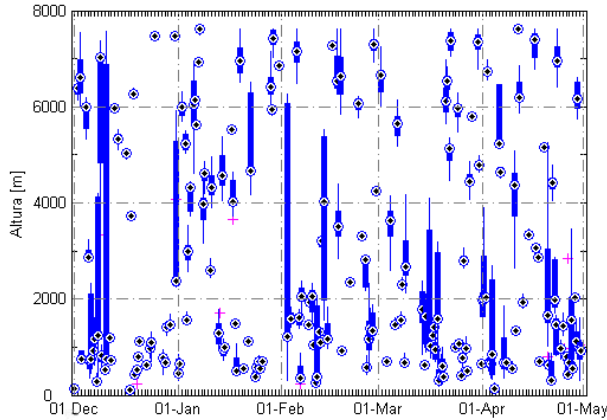
Para calcular la Ocurrencia tomamos los **278 ficheros** proporcionados y multiplicamos esta cantidad por dos, pues el estudio se hace en base a los datos leídos tanto por la mañana como por la noche. De ellos, mediante el programa antes explicado se identifican **349** (analizados en el rango horario del Radiosondeo), en los que al menos una base de nube es detectada. Por tanto en el caso del **LIDAR** la ocurrencia de nubes es del **62.7 %** para los meses analizados. Se trata de un valor alto, la explicación podría estar en que el **Ceilómetro** es un instrumento por excelencia de detección de las bases de las nubes.

### 3.3. Comparación

Después de calcular la **Ocurrencia de nubes** para cada instrumento se hace una comparativa entre ambos. A partir de los días leídos en los que al menos una base de nube es detectada mediante la técnica del Radiosondeo, se leen los datos proporcionados por el Ceilómetro en los días correspondientes a los leídos por la Radiosonda y, **sólo en el rango horario correspondiente al rango de la Radiosonda (Fig.13, Fig.14)**. La Radiosonda se lanza diariamente a las 11:00 y a las 23:00. La hora oficial del lanzamiento es a las 12:00 y a las 00:00, no obstante se ha comprobado que se lanza una hora antes por si hay algún imprevisto, como que el globo que transporta la sonda se rompa.

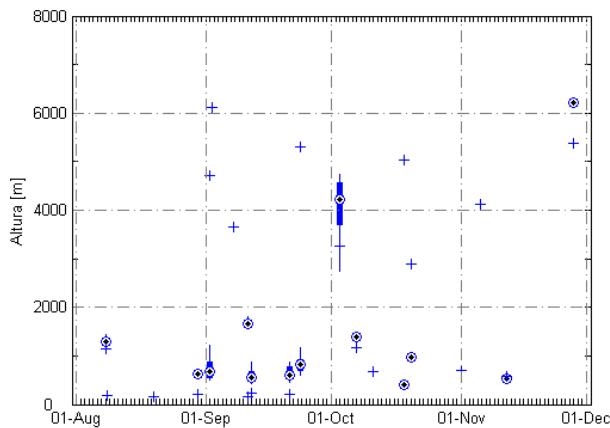


**Figura 13. Bases de las nubes detectadas por ambos instrumentos: Radiosondeo (cruces) y LIDAR (BoxPlots) (período 1, julio 2015- noviembre 2015) (Código RAOB\_LIDAR\_plot.m)**

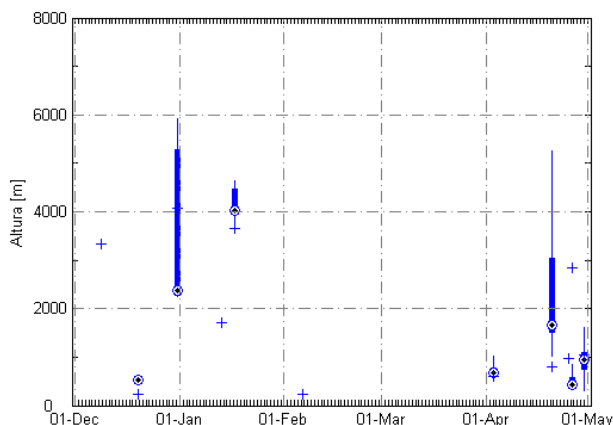


**Figura 14. Bases de las nubes detectadas por ambos instrumentos: Radiosondeo (cruces) y LIDAR (BoxPlots) (período 2, diciembre 2015- abril 2016) (Código RAOB\_LIDAR\_plot.m)**

Se toma la Radiosonda como **el instrumento de referencia**. Con el **código RAOB** para la Radiosonda (explicado en el apartado 2. Metodología) se **leen 31 días** en los que **al menos una base de nube es detectada (fig. 9 y fig.10)**. En relación a estos días en los que al menos una base de nube es detectada se leen los mismos días en el mismo rango horario con el **Código LIDAR** (explicado en el apartado 2. Metodología) con el que se leen **20 días** en los que **al menos una base de nube es detectada, se llama a este procedimiento Intersección (Fig.15, Fig.16)**.



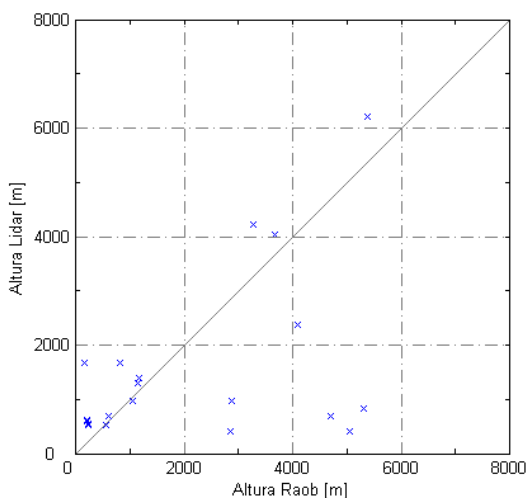
**Figura 15. Intersección: Radiosondeo (cruces) y LIDAR (BoxPlots) (período 1, julio 2015- noviembre 2015) (Código BOTH\_plot.m)**



**Figura 16. Intersección: Radiosondeo (cruces) y LIDAR (BoxPlots) (período 2, diciembre 2015- abril 2016) (Código BOTH\_plot.m)**

De estos **20 días de coincidencia**, en los que tanto la radiosonda como el Ceilómetro detectan al menos una base de nube en el mismo día y rango horario (de las 11:00 a las 12:00 o de las 23:00 a las 00:00) hay **14 días** en los que los valores de las alturas detectadas con el **RAOB están dentro de los límites mínimos o máximos** de los valores de las alturas detectadas con el **LIDAR**, es decir, hay aproximadamente **70 % de concurrencia** entre dos instrumentos (**fig. 15, fig.16 y fig.17**).

Finalmente se realiza una **gráfica de dispersión (Fig.17)** según la cual se puede observar que aproximadamente **30%** de las alturas detectadas por **RAOB** se separan de la recta de coincidencia y presentan una mayor frecuencia de la detección de las nubes bajas por debajo de los 1000 m.



**Figura 17. Dispersion (período completo) (Código BOTH\_plot\_comparison.m)**

La ocurrencia de nubes en el caso del **Ceilómetro** es mayor que la ocurrencia de nubes en el caso de RAOB (62,7% del primero frente a los 5,6 % del segundo). Sin embargo cuando se consideran los días en los que al menos una base de nubes es detectada por la Radiosonda, el número de días en los que las detecta el Ceilómetro es menor.

Esta discrepancia entre ambas medidas se podría explicar por el hecho de que **no se están estudiando las mismas variables con los dos instrumentos**. La técnica **LIDAR** mide la altura mediante la redrodispersión (reflexión de luz causada por las **partículas en suspensión en la atmósfera**, gotas de agua), mientras que **RAOB** mide la altura mediante unas condiciones dadas de la **humedad relativa**, es decir, vapor de agua. También hay que tener en cuenta la brevedad del período analizado (9 meses).

### 3.4. Representación estadística de los resultados

	<b>Raob</b>	<b>Lidar</b>	<b>Ambos intersección (Raob)</b>	<b>Ambos intersección (Lidar)</b>	<b>Diferencia en valor absoluto</b>
<b>Total detectadas [m]</b>	<b>31</b>	<b>349</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>0</b>
<b>Altura media [m]</b>	<b>2110</b>	<b>2465</b>	<b>2178</b>	<b>1532</b>	<b>646</b>
<b>Mediana [m]</b>	<b>1137</b>	<b>1399</b>	<b>1153</b>	<b>891</b>	<b>262</b>
<b>Moda [m]</b>					
<b>Desviación estándar [m]</b>	<b>1939</b>	<b>2228</b>	<b>1950</b>	<b>1554</b>	<b>396</b>
<b>Altura mínima [m]</b>	<b>171</b>	<b>82</b>	<b>172</b>	<b>402</b>	<b>230</b>
<b>Altura máxima [m]</b>	<b>6110</b>	<b>7620</b>	<b>5375</b>	<b>6208</b>	<b>833</b>
<b>Cuartil 1</b>	<b>341</b>	<b>747</b>	<b>398</b>	<b>580</b>	<b>182</b>
<b>Cuartil 3</b>	<b>3664</b>	<b>4039</b>	<b>3875</b>	<b>1673</b>	<b>2202</b>

**Tabla 4: Datos estadísticos del estudio**

El análisis estadístico permite ver con mayor facilidad las **diferencias entre ambos métodos**. La primera columna representa los datos estadísticos de las bases de las nubes detectadas con la **técnica RAOB**. La segunda columna pertenece a los datos calculados por la **técnica LIDAR** (por separado), la **tercera** y **cuarta** columnas representan los datos de la **Intersección** de ambos instrumentos (**Fig.17**) y, la última nos permite ver la **diferencia en metros entre los CBH de ambas técnicas**.



Según esta última columna podemos ver que la **media** de ambos métodos difiere en **646 m**, es una cifra alta, pero teniendo en cuenta que la escala de este estudio está alrededor de **8000 m**, **646 m** viene a ser aproximadamente un **8%** del total, con lo que no es una diferencia tan relevante, y además se trata del mismo tipo de nubes (bajas-medias). La altura máxima difiere en **833 m** (supone un **10%**) con lo que podríamos decir que la técnica **LIDAR** detecta mejor las nubes altas que la Radiosonda. Por último podemos ver una diferencia más relevante en el Cuartil 3 de **2202 m** (que supone alrededor de **28 %** del total) y, que el rango intercuartílico es mayor en el caso de la **Intersección RAOB (3477 m** en frente de los **1093 m** de la Intersección **LIDAR**).

#### **4. CONCLUSIONES GENERALES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

---

Esta memoria ha estado dedicada al **estudio comparativo de la altura de la base de las nubes**, concretamente a la comparación entre dos métodos de detección en la altura distintos (Radiosonda y LIDAR), tomando como base de estudio la **Radiosonda**.

Aunque los **radiosondeos** se llevan efectuando sistemáticamente en la Universidad de Barcelona desde el año 2008, el instrumento **LIDAR** se encuentra instalado sólo desde el mes de Julio del año 2015. Esto hace que el trabajo presentado aquí sea pionero, ya que antes no se podía haber llevado a cabo esta comparación. Por otro lado, también hace que el período de tiempo analizado abarque **sólo 9 meses**, que es un período **relativamente corto**. Por tanto una de las sugerencias es que en la medida de lo posible alguno de los compañeros continúe el estudio, usando los programas implementados.

La **consecución de los objetivos** que se plantearon y que se han descrito en los apartados anteriores de la presente memoria, ha dado como resultado las siguientes conclusiones:

- 1) La comparación de ambos métodos nos da como resultado que la **técnica LIDAR** es **más efectiva** para realización de este tipo de medidas y, revisando varios estudios similares se puede confirmar una vez más que es una técnica por excelencia de la detección de las nubes.
- 2) La comparación demuestra que la **altura media** de las nubes detectadas en todo el período es de **2110 m en el caso de RAOB** y **2465 m en el caso de LIDAR**, unas cifras similares. Se trata de **nubes bajas - medias** (según la clasificación hecha en el capítulo de Introducción). Se puede afirmar, por tanto, que los dos instrumentos son más efectivos en la detección de las nubes bajas y medias. Según la revisión de otros

estudios se confirma, por tanto que el Ceilómetro es un instrumento excelente para detectar las **nubes bajas-medias (Sharma et al, 2015).**

- 3) Se ha **implementado un programa** de cálculo de la CBH mediante la **técnica de Radiosondeo** estableciendo unas condiciones de la Humedad Relativa determinadas (ya comentadas en los apartados anteriores). El programa podría ser usado, modificado o mejorado para las futuras investigaciones en esta rama de estudio.
- 4) Se ha **implementado un programa para la extracción de los datos de interés para la técnica LIDAR (CBH)** en el período y rango horario de interés. El programa podría ser usado en el futuro para seguir con las investigaciones sobre la evolución de la altura de las bases de las nubes detectadas por el medio de esta técnica, o bien, algunos estudios comparativos con otras técnicas.
- 5) Se ha **implementado un programa para realización de una comparación** de las mediciones de la altura de las bases de las nubes de ambas técnicas proponiendo como base de cálculo la técnica de Radiosondeo. El programa podría ser utilizado, modificado o mejorado para posteriores investigaciones con los dos métodos.

## 5. REFERENCIAS

---

- Gaumet J.L., Heinrich J.C., Cluzeau M., Pierrard P., Prieur J., “Cloud Base Height Measurements with a Single-Pulse Erbium-Glass Laser Ceilometer”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **Volume 15**, pp.37-45, (1998)
- Liu L., Sun X., Liu X., Gao T., Zhao S.; “Comparison of Cloud Base Height Derived from a Ground-Based Infrared Cloud Measurement and Two Ceilometers”; *Advances in meteorology*, **Volume 2015**, ID 853861, (2015)
- Sharma S., Vaishnav R., Shukla M. V., Kumar P., Thapliyal K., Lal S., Acharya Y.B.; “Evaluation of cloud base height measurements from ceilometer CL31 and MODIS satellite over Ahmedabad, India”; *Atmospheric Measurement Techniques (AMT)*, **Volume 9**, pp. 711-719, (2015)
- Vaisala Oyj, “User’s Guide. Vaisala Boundary Level View Software (BL-VIEW)”, (2010)
- Vaisala Oyj, “User’s Guide, Vaisala Ceilometer CL31”, (2009)

- Zúñiga López I., Crespo del Arco E., “Meteorología y Climatología”, Editorial UNED, Madrid, (2010)
- Wallace J., Hobbs P., “Atmospheric Science”, 2nd Edition: An Introductory Survey (International Geophysics), (2006)
- Wang J., Rossow W.B., “Determination of Cloud Vertical Structure from Upper –Air Observations”; Journal of Applied Meteorology, **Volume 34**, pp. 2243-2258, (1995)

#### **Páginas WEB consultadas:**

[Available on line at: <http://www.hispaviacion.es/instrumentacion-meteorologica-en-aeropuertos/>]

[Available on line at: <http://gaia.geologia.uson.mx/academicos/lvega/ARCHIVOS/CICLO.htm>]

[Available on line at: [http://fjarabo.webs.ull.es/MAFun/Mafun02/Maf02\\_41.htm](http://fjarabo.webs.ull.es/MAFun/Mafun02/Maf02_41.htm)]

[Available on line at: <http://www.clubaereosantiago.cl/socios/meteorologia/nubes.pdf>]

[Available on line at: [www.ub.edu](http://www.ub.edu)]

[Available on line at: <https://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Gos-components.html>]

[Available on line at: <http://www.meteo.cat/>]

[Available on line at:

[http://www.exploraciencia.profes.net/ArchivosColegios/Ciencia/Archivos/Explora%20la%20ciencia/unidad\\_nubes.pdf](http://www.exploraciencia.profes.net/ArchivosColegios/Ciencia/Archivos/Explora%20la%20ciencia/unidad_nubes.pdf)]

[Available on line at: <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap6.pdf>]

[Available on line at: <http://www.meteorologiaenred.com>]

[Available on line at: <http://www.portalciencia.net/meteonub.html>]

[Available on line at: <http://climaticocambio.com/la-contaminacion-produce-un-tipo-de-nubes-que-generan-calor/>]

[Available on line at: <http://www.taringa.net/post/apuntes-y-monografias/19206070/Nubes-y-como-les-afecta-la-contaminacion-yapa.html>]

[Available on line at: <https://sophimania.pe/medio-ambiente/contaminacion-y-salud-ambiental/la-contaminacion-ambiental-altera-las-lluvias-a-nivel-global/>]

[Available on line at:

[http://www.vaisala.com/en/products/ceilometers/Pages/CL31.aspx?utm\\_medium=alias&utm\\_content=CL31](http://www.vaisala.com/en/products/ceilometers/Pages/CL31.aspx?utm_medium=alias&utm_content=CL31)]

[Available on line at: <http://www.meteo.cat/wpweb/divulgacio/radiosondatge/>]



---

**Información técnica del Ceilometer CL 31 (VAISALA)**

Funcionamiento		Ambiente	
Rango de medición	0-25.000ft. (7.6 km)	Rango de temperatura	-40 - +60°C (-40 - +140 °F)
Frecuencia de datos	Programable, 2-120s	Humedad	0 -100% RH
Resolución de datos	5m/10ft., unidades a elección	Viento	55 m/s
Precisión de medición de distancia contra objetivo	Mayor que +- 1% o +- 5m	Clasificación de laboratorio	IP65
Láser	Diodo InGaAs, 910 nm	Vibración	Lloyds Register /IEC60068-2-6 5-13.2 Hz +-1.0 mm 13.2—100Hz+-0.79mm
Seguridad para la visión	Clase 1M IEC/EN60825-1	Compatibilidad electromagnética	IEC/EN61326

Electricidad	
Alimentación	100/115/230 VCA ±10%, 50 ... 60 Hz máx. 310 W incluyendo calefacción
Batería de reserva	Interna, 2Ah

**Accesorios / opciones**

Caja de terminación de cable Termbox-1200 con protección para transitorios extra

Cable de mantenimiento de PC QMZ101

Almohadilla de montaje para absorción de impactos CT35022 para instalaciones a bordo

Módulo módem DMX501

Mecánica de fijación para antena de radio módem CLRADIOKIT

Interfaz de usuario gráfico para ceilómetros CL-VIEW

Dispositivo anti-aves CL31BIRDKIT

### **Mensajes de datos**

Información de detección de nube (hasta tres capas) y estado

Detección de nube, estado y perfil de retrodispersión

Detección de nube y datos de monitoreo interno

Emulación de CT12K, CT25K, LD-25/40

Condición del cielo (opcional)

### **Mecánica**

Dimensiones total 1190 x 335 x 324 mm unidad de medición 620 x 235 x 200 mm

Peso total 32 kg unidad de medición 13 kg

Posiciones inclinadas Vertical o inclinado 12°

Soplador/calefactor automático de ventana

Escudo de radiación y pedestal

Acceso de servicio a través de una puerta

Filtros ópticos de protección contra luz solar directa

**Fuente: Vaisala User's Guide, Vaisala Ceilometer CL31, Vaisala Oyj, 2009**

---

a. Código escrito con Matlab para la Radiosonda (MATLAB\R2012a\)

**RAOB\_read.m**

```

%% DEFINICION
clear all;
RAOB_Folder='raob_todo/'; % Nombre de la carpeta de RAOB (acabado
con/)
save_RAOB='RAOB_read';

%% LECTURA DE TODOS LOS TXT (CONSEGUIR RAOB_data)

List=dir([RAOB_Folder,'*.txt']); % Encuentra todos los .txt dentro de
la carpeta de RAOB

RAOB_data=cell(length(List),1); % Struct de ficheros

for j = 1:length(RAOB_data) % Para cada archivo .txt haz lo siguiente:

    txt=tdfread( [RAOB_Folder,List(j).name], 'tab' ); % 1) Lee el
archivo .txt

    RAOB_data{j}=struct();

    RAOB_data{j}.hum_rel=txt.ftr_hum;

        % 2) Guardate la humedad en el vector "hum_rel"
    RAOB_data{j}.time=txt.ftr_time;

        % 3) Guardate el tiempo en el vector "time"
    RAOB_data{j}.alt=txt.ftr_alt;

        % 4) Guardate la altura en el vector "alt"
    RAOB_data{j}.name=List(j).name(1:end-4);

        % 5) Guardate el nombre del archivo en el string
    "name"

end

save(save_RAOB); % Guarda todo en el archivo 'RAOB_read.mat'

```

**RAOB\_analyze.m**

```

%% DEFINICION
clear all;
save_RAOB='RAOB_read';

```

```

months={'Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Aug', 'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dec'};

RHMax=87;
RHMin=84;
Jump=3;

%% CARGAR DATOS
load(save_RAOB);
save_RESULT='RAOB_analized';

%% CALCULO DE CLOUDBASE

RAOB_result=struct();
RAOB_result.basetime=zeros(length(RAOB_data),1);
RAOB_result.cloudbase=zeros(length(RAOB_data),1);
RAOB_result.name=cell(length(RAOB_data),1);

for j=1:length(RAOB_data) % Para cada archivo .txt haz lo siguiente:

    cloudbase=-999.0;
    basetime=-999.0;

    x=RAOB_data{j}.hum_rel;

    for i=2:length(x)

        valor=x(i);
        valor_anterior=x(i-1);

        if (valor<=RHMax) && (valor>=RHMin) && (valor-valor_anterior>=Jump)

            tiempo=RAOB_data{j}.time;
            altitud=RAOB_data{j}.alt;

            basetime=tiempo(i);
            cloudbase=altitud(i);
            break
        end

    end

    RAOB_result.basetime(j)=basetime;
    RAOB_result.cloudbase(j)=cloudbase;

    RAOB_result.name{j}= RAOB_data{j}.name;

end

%% CLOUD OCURRENCE

index=find(RAOB_result.basetime~-999.0); % En cuales txts he encontrado cloudbase
RAOB_result.RAOB_cloud_ocurrence=100*length(index)/length(RAOB_result.basetime);

```



```

%% CREATE TEMPORAL DATA
raob_nameList=RAOB_result.name(index);
X_Scatter=zeros(length(index),1);%X
MONTH_Folder=zeros(length(index),1);
YEAR_Folder=zeros(length(index),1);
for j=1:length(index)
    name=raob_nameList{j};

    h=name([7,8]);
    Hour=str2double(h);

    year=['20',name([1,2])];
    month=name([3,4]);
    month_index=str2double(month);
    today=name([5,6]);
    MONTH_Folder(j)=month_index;
    YEAR_Folder(j)=str2double(year);
    if Hour==12

        current_month=months{month_index};
        current_date=[year,'-',current_month,'-',today];
        current_unixdate=datetime(current_date,'yyyy-mmm-dd');

        X_Scatter(j)=current_unixdate;
    else
        current_month=months{month_index};
        current_date=[year,'-',current_month,'-',today];
        current_unixdate=datetime(current_date,'yyyy-mmm-dd');
        yesterday_unixdate=current_unixdate-0.5;
        yesterday_date=datevec(yesterday_unixdate);

        X_Scatter(j)=yesterday_unixdate;
    end
end
%% GUARDAR DATOS
save(save_RESULT); % Guarda todo en el archivo 'RAOB_analized.mat'

```

## RAOB\_plot.m

```

%% DEFINICION
save_RESULT='RAOB_analized';
months={'Jan','Feb','Mar','Apr','May','Jun','Jul','Aug','Sep','Oct','Nov','Dec'};

%% CARGAR DATOS
load(save_RESULT);

%% DIBUJAR

different_months=unique(MONTH_Folder,'stable');
numberOfMonths=length(different_months);

separation_month=floor(numberOfMonths/2);
separation=find(MONTH_Folder==different_months(separation_month+1),1);

Y_Scatter=RAOB_result.cloudbase(index); %Y

for n=1:2

```

```

if n==1
    starting_raob=1;
    ending_raob=separation-1;
elseif n==2
    starting_raob=separation;
    ending_raob=length(X_Scatter);
end

figure_name=[months{MONTH_Folder(starting_raob)},num2str(YEAR_Folder(s
tating_raob)),' - ',...

months{MONTH_Folder(ending_raob)},num2str(YEAR_Folder(ending_raob))];
figure('name',figure_name);

scatter(X_Scatter(starting_raob:ending_raob),Y_Scatter(starting_raob:e
nding_raob),'+');hold on;

xlabel('Tiempo');
ylabel('Altura');

first_tick=[num2str(YEAR_Folder(starting_raob)),'-
',months{MONTH_Folder(starting_raob)},'-', '01'];
if MONTH_Folder(end)==12
    end_tick=[num2str(YEAR_Folder(starting_raob)+1),'-
',months{1}','-', '01'];
else
    end_tick=[num2str(YEAR_Folder(ending_raob)),'-
',months{MONTH_Folder(ending_raob)+1}','-', '01'];
end
first_tick_unixdate=datetime(first_tick,'yyyy-mmm-dd');
end_tick_unixdate=datetime(end_tick,'yyyy-mmm-dd');

myTicks=first_tick_unixdate:end_tick_unixdate;

set(gca,'XTick',myTicks) %Posicion

xlim([myTicks(1)-1,myTicks(end)+1]);
ylim('auto');
Y_LIM=get(gca,'ylim');

datetick('x','dd-mmm','kepticks','keeplimits');

myLabels=get(gca,'XTickLabel');
for i=1:length(myLabels)
    if strcmp(myLabels(i,1:2),'01')
        plot([first_tick_unixdate+i-1,first_tick_unixdate+i-
1],[Y_LIM(1),Y_LIM(2)],'-.k');
    else
        myLabels(i,:)= ' ';
    end
end
set(gca,'XTickLabel',myLabels); %Rotulo
title(figure_name);
end

```

## b. Código escrito con Matlab para la LIDAR (MATLAB\R2012a)

### LIDAR\_read.m

```
%% DEFINICION
clear all;
CEILOMETER_Folder='ceilometer/'; % Nombre de la carpeta de
Ceilometer(siempre hay que acabar con /)
save_CEILOMETER='LIDAR_read';
months={'Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Aug', 'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dec'};

%% DEFINICION DE LOS ARCHIVOS A LEER, los años, los meses y los días
Lidar_Path={};
year={};
current_month={};
today={};
count=1; %La rama que voy a rellenar
YearList=dir([CEILOMETER_Folder, '']);
for i=3:length(YearList)
    MonthList=dir([CEILOMETER_Folder, YearList(i).name, '']);
    MonthList={MonthList.name};
    MonthList=MonthList(3:end);
    [~, idx] = ismember(MonthList, months); % Ordenando los meses
    [~, sorted]=sort(idx); % ...
    MonthList=MonthList(sorted); % Ordenados
    for j=1:length(MonthList)

LidarList=dir([CEILOMETER_Folder, YearList(i).name, '/', MonthList{j}, '/',
, 'CEILOMETER_1_LEVEL_3_DEFAULT_*.his']);
        for k=1:length(LidarList)

Lidar_Path{count}=[CEILOMETER_Folder, YearList(i).name, '/', MonthList{j}
, '/', LidarList(k).name];
            year{count}=YearList(i).name;
            current_month{count}=MonthList{j};
            his_name=LidarList(k).name;
            today{count}=his_name(end-5:end-4);
            count=count+1;
        end
    end
end
count=count-1;
%% LECTURA DE LOS HIS QUE ME INTERESAN (CONSEGUIR LIDAR_Data)
LIDAR_Data=cell(length(Lidar_Path),1); % Struct de ficheros

for j = 1:length(LIDAR_Data) % Para cada archivo .his haz lo
siguiente:

    txt=hisread( Lidar_Path{j}, 'comma', 1 ); % 1) Lee el archivo
.his

    time=datevec(txt.UNIXTIME/86400 + datenum('1970-01-01'));

    LIDAR_Data{j}.hour=time(:,4);
        % 2) Guardate la hora en el vector "hour"
    LIDAR_Data{j}.cloud=txt.CLOUD_1;
        % 3) Guardate la altura en el vector "cloud"
```

```

end

save(save_CEILOMETER); % Guarda todo en el archivo 'LIDAR_read.mat'

```

### LIDAR\_analyze.m

```

%% DEFINICION
clear all;
save_CEILOMETER='LIDAR_read';

%% CARGAR DATOS
load(save_CEILOMETER);
save_RESULT='LIDAR_analized';

%% CALCULO DE CLOUDBASE Y DE X_BOXPLOT
Lidar_Cloudbase=cell(2*length(Lidar_Path),1);
X_Boxplot=zeros(length(Lidar_Cloudbase),1);

for i = 1:length(Lidar_Cloudbase) % Para cada boxplot que quiero
rellenar haz lo siguiente

    j=round(i/2); % que dia quiero leer (j) , sabiendo el boxplot que
quiero rellenar (i)

    current_date=[year{j}, '-',current_month{j}, '-',today{j}];
    current_unixdate=datenum(current_date, 'yyyy-mmm-dd');

    if i/2==round(i/2) % si el numero es par :)
        starting_hour=23;
        tomorrow_unixdate=current_unixdate+0.5;
        X_Boxplot(i)=tomorrow_unixdate;
    else
        starting_hour=11;
        X_Boxplot(i)=current_unixdate;
    end

    index = find( LIDAR_Data{j}.hour == starting_hour &
LIDAR_Data{j}.cloud~-999.0 );

    if isempty(index)
        continue
    end

    Lidar_Cloudbase{i} = LIDAR_Data{j}.cloud(index);

end

%% GUARDAR DATOS
save(save_RESULT); % Guarda todo en el archivo 'LIDAR_analized.mat'

```

### LIDAR\_plot.m

```

%% DEFINICION
clear all;
months={'Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Aug', 'Sep', 'Oct', 'N
ov', 'Dec'};

```

```

save_RESULT='LIDAR_analized';

%% CARGAR DATOS
load(save_RESULT);

%% DIBUJAR LIDAR BOX PLOT
numberOfMonths=0;
idOfMonths=zeros(length(Lidar_Path),1); % por dias
different_years=unique(year,'stable');
Start=[];
End=[];
for i=1:length(different_years)
    year_index=find(strcmp(year,different_years{i}));
    different_months=unique(current_month(year_index),'stable');
    for j=1:length(different_months)
        numberOfMonths=numberOfMonths+1;
        month_index=find(strcmp(current_month,different_months{j}));
        Start=[Start,month_index(1)];
        End=[End,month_index(end)];
        idOfMonths(month_index)=numberOfMonths;
    end
end
%ColorMatrix=colormap(jet(numberOfMonths));% En varios colores por mes

ColorMatrix=zeros(numberOfMonths,3);ColorMatrix(:,3)=1;% Todo en azul
close(gcf);

%% DIBUJAR DOS PERIODOS

Start=sort(Start);
End=sort(End);

separation=floor(numberOfMonths/2);

for n=1:2

    if n==1
        starting_month=1;
        ending_month=separation;
    elseif n==2
        starting_month=1+separation;
        ending_month=numberOfMonths;
    end

    figure_name=[current_month{Start(starting_month)},'
',year{Start(starting_month)},' - ',current_month{End(ending_month)},'
',year{End(ending_month)}];
    figure('name',figure_name);

    hold on;
    for j = Start(starting_month):End(ending_month)
        for i=[j*2-1,j*2]
            if isempty(Lidar_Cloudbase{i})
                continue
            end
        end

        boxplot(gca,Lidar_Cloudbase{i},{idOfMonths(j)},'positions',[X_Boxplot(

```

```

i)], 'colors', ColorMatrix(idOfMonths(j),:), 'plotstyle', 'compact', 'symbol', '');
    end
end

xlabel(gca, 'Tiempo (dias)');
ylabel(gca, 'Altura (metros)');

first_tick=[year{Start(starting_month)}, '-
', current_month{Start(starting_month)}, '-', '01'];
    if strcmp(current_month{End(ending_month)}, months{12})
        end_tick=[num2str(str2double(year{End(ending_month)}))+1), '-
', months{1}, '-', '01'];
    else
        end_tick=[year{End(ending_month)}, '-
', months{find(strcmp(current_month{End(ending_month)}, months))+1)}, '-
', '01'];
    end
first_tick_unixdate=datetime(first_tick, 'yyyy-mmm-dd');
end_tick_unixdate=datetime(end_tick, 'yyyy-mmm-dd');

myTicks=first_tick_unixdate:end_tick_unixdate;

set(gca, 'XTick', myTicks) %Posicion

xlim(gca, [myTicks(1)-1, myTicks(end)+1]);
ylim(gca, 'auto');
Y_LIM=ylim;

myLabels=datestr(myTicks, 'dd-mmm');

for i=1:length(myLabels)
    if strcmp(myLabels(i,1:2), '01')
        plot(gca, [first_tick_unixdate+i-1, first_tick_unixdate+i-
1], [Y_LIM(1), Y_LIM(2)], '-.k');
    else
        myLabels(i,:)=' ';
    end
end
set(gca, 'XTickLabel', myLabels); % Rotulo
title(gca, figure_name);
end

```

### c. Código escrito para analizar ambos instrumentos

#### **BOTH\_read.m**

```

%% DEFINICION
clear all;
CEILOMETER_Folder='ceilometer/'; % Nombre de la carpeta de
Ceilometer (siempre hay que acabar con /)
months={'Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Aug', 'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dec'};
save_RAOb='RAOb_analized';

%% CARGAR
load(save_RAOb);

```

```

save_RESULT='BOTH_read';

%% DEFINICION DE LOS ARCHIVOS A LEER
raob_cloudbase=RAOB_result.cloudbase(index); % Guarda las alturas
raob_nameList=RAOB_result.name(index);      % Lista que contiene los
nombres de esos txts que quiero leer

YEAR_Folder=cell(length(raob_nameList),1);
MONTH_Folder=cell(length(raob_nameList),1);
MONTH_Index=zeros(length(raob_nameList),1);
FileName=cell(length(raob_nameList),1);
Lidar_Path=cell(length(raob_nameList),1);
Hour=zeros(length(raob_nameList),1);      % 12: Mediodia
                                           % 0: Medianoche

X_Boxplot=zeros(length(raob_nameList),1);
Date_String=cell(length(raob_nameList),1);

for j=1:length(raob_nameList)
    name=raob_nameList{j};

    h=name([7,8]);
    Hour(j)=str2double(h);

    year=['20',name([1,2])];
    month=name([3,4]);
    month_index=str2double(month);
    today=name([5,6]);

    if Hour(j)==12

        current_month=months{month_index};
        current_date=[year,'-',current_month,'-',today];
        current_unixdate=datetime(current_date,'yyyy-mmm-dd');

        X_Boxplot(j)=current_unixdate;

        YEAR_Folder{j}=[year,'/'];
        MONTH_Folder{j}=[current_month,'/'];
        MONTH_Index(j)=month_index;
        FileName{j}=['CEILOMETER_1_LEVEL_3_DEFAULT_',today,'.his'];

    Lidar_Path{j}=[CEILOMETER_Folder, YEAR_Folder{j}, MONTH_Folder{j}, FileName{j}];

    else

        current_month=months{month_index};
        current_date=[year,'-',current_month,'-',today];
        current_unixdate=datetime(current_date,'yyyy-mmm-dd');
        yesterday_unixdate=current_unixdate-0.5;
        yesterday_date=datevec(yesterday_unixdate);

        X_Boxplot(j)=yesterday_unixdate;

        yesterday_year=num2str(yesterday_date(1));
        YEAR_Folder{j}=[yesterday_year,'/'];

        yesterday_month=yesterday_date(2);
        MONTH_Folder{j}=[months{yesterday_month},'/'];

```

```

MONTH_Index(j)=yesterday_month;

yesterday=num2str(yesterday_date(3));

FileName{j}=['CEILOMETER_1_LEVEL_3_DEFAULT_',yesterday, '.his'];

Lidar_Path{j}=[CEILOMETER_Folder, YEAR_Folder{j}, MONTH_Folder{j}, FileNa
me{j}];
    end
    Date_String{j}=current_date;
end

%% LECTURA DE LOS HIS QUE ME INTERESAN (CONSEGUIR data)
BOTH_data=cell(length(raob_nameList),1); % Struct de ficheros

for j = 1:length(BOTH_data) % Para cada archivo .his haz lo siguiente:

    try
        txt=hisread( Lidar_Path{j}, 'comma',1 ); % 1) Lee el archivo
.his
    catch
        continue
    end
        time=datevec(txt.UNIXTIME/86400 + datenum('1970-01-01'));

        BOTH_data{j}.hour=time(:,4);
            % 2) Guardate la hora en el vector "hour"
        BOTH_data{j}.cloud=txt.CLOUD_1;
            % 3) Guardate la altura en el vector "cloud"

end

save(save_RESULT); % Guarda todo en el archivo 'BOTH_data.mat'

```

### **BOTH\_analyze. m**

```

%% DEFINICION
load_RESULT='BOTH_read';

%% CARGAR DATOS
load(load_RESULT);
save_RESULT='BOTH_analyzed';

%% CALCULO DE CLOUDBASE
Lidar_Cloudbase=cell(length(raob_nameList),1);

for j = 1:length(BOTH_data) % Para cada archivo .his haz lo siguiente

    if isempty(BOTH_data{j})
        continue
    end

    if Hour(j)== 12
        starting_hour=11;
    else
        starting_hour=23;
    end
end

```



```

end

index = find( BOTH_data{j}.hour == starting_hour &
BOTH_data{j}.cloud~-=-999.0 );

if isempty(index)
    continue
end

Lidar_Cloudbase{j} = BOTH_data{j}.cloud(index);

end

%% GUARDAR

save(save_RESULT);

BOTH_plot. M (Intersección)

%% DEFINICION
clear all;
save_RESULT='BOTH_analyzed';

%% CARGAR DATOS
load(save_RESULT);

%% DIBUJAR LIDAR BOX PLOT

numberOfMonths=0;
idOfMonths=zeros(length(save_RESULT),1);
different_years=unique(YEAR_Folder);
Start=[];
End=[];

for i=1:length(different_years)
    year_index=find(strcmp(YEAR_Folder,different_years{i}));
    different_months=unique(MONTH_Folder(year_index));
    for j=1:length(different_months)
        numberOfMonths=numberOfMonths+1;
        month_index=find(strcmp(MONTH_Folder,different_months{j}));
        Start=[Start,month_index(1)];
        End=[End,month_index(end)];
        idOfMonths(month_index)=numberOfMonths;
    end
end

%%ColorMatrix=colormap(jet(numberOfMonths));% En varios colores por mes

ColorMatrix=zeros(numberOfMonths,3);ColorMatrix(:,3)=1; % Todo en
azul
close(gcf);

%% DIBUJAR DOS PERIODOS

Start=sort(Start);
End=sort(End);

separation=floor(numberOfMonths/2);

```

```

for n=1:2

    if n==1
        starting_month=1;
        ending_month=separation;
    elseif n==2
        starting_month=1+separation;
        ending_month=numberOfMonths;
    end

figure_name=[MONTH_Folder{Start(starting_month)},YEAR_Folder{Start(sta
rting_month)}];
figure_name=figure_name(1:end-1);
figure_name=[figure_name, ' -
',MONTH_Folder{End(ending_month)},YEAR_Folder{End(ending_month)}];
figure_name=figure_name(1:end-1);
figure('name',figure_name);

    for j = Start(starting_month):End(ending_month)
        if isempty(Lidar_Cloudbase{j})
            continue
        end

boxplot(Lidar_Cloudbase{j},{idOfMonths(j)},'positions',[X_Boxplot(j)],
'colors',ColorMatrix(idOfMonths(j),:),'plotstyle','compact','symbol','
');
        hold on;
    end

scatter(X_Boxplot(Start(starting_month):End(ending_month)),raob_cloudb
ase(Start(starting_month):End(ending_month)),'+')

    xlabel('Tiempo (dias)');
    ylabel('Altura (metros)');

    first_tick=[YEAR_Folder{Start(starting_month)}(1:end-1),'-
',MONTH_Folder{Start(starting_month)}(1:end-1),'-', '01'];
    if strcmp(MONTH_Folder{End(ending_month)}(1:end-1),months{12})

end_tick=[num2str(str2num(YEAR_Folder{End(ending_month)}(1:end-
1))+1),'-',months{1}','-', '01'];
    else
        end_tick=[num2str(YEAR_Folder{End(ending_month)}(1:end-1)),'-
',months{find(strcmp(MONTH_Folder{End(ending_month)}(1:end-
1),months))+1}','-', '01'];
    end
    first_tick_unixdate=datetime(first_tick,'yyyy-mmm-dd');
    end_tick_unixdate=datetime(end_tick,'yyyy-mmm-dd');

myTicks=first_tick_unixdate:end_tick_unixdate;
%myLabels=get(gca,'XTickLabel');

set(gca,'XTick',myTicks) %Posicion

xlim([myTicks(1)-1,myTicks(end)+1]);

```

```

ylim('auto');
Y_LIM=get(gca,'ylim');

datetick('x','dd-mmm','kepticks','keeplimits');

myLabels=get(gca,'XTickLabel');
for i=1:length(myLabels)
    if strcmp(myLabels(i,1:2),'01')
        plot([first_tick_unixdate+i-1,first_tick_unixdate+i-1],[Y_LIM(1),Y_LIM(2)],'-.k');
    else
        myLabels(i,:)= ' ';
    end
end
set(gca,'XTickLabel',myLabels); % Rotulo

title(figure_name);

end

```

### **BOTH\_comparison. m (Diagrama de Dispersión)**

```

%% DEFINICION
clear all;
save_RESULT='BOTH_analized';
write_txt='BOTH_plot_comparison';

%% CARGAR DATOS
load(save_RESULT);

%% DIBUJAR COMPARACIÓN
name=[write_txt, '.txt'];
fileID=fopen(name,'w');
fprintf(fileID,'%11s %11s %11s \r\n','NAME','RAOB','LIDAR');

figure();
boxplotID=[];
LidarMedian=zeros(length(Lidar_Cloudbase),1);
for i=1:length(Lidar_Cloudbase)
    if isempty(Lidar_Cloudbase{i})==0; % Si es falso que este vacia
    (si esta lleno)
        LidarMedian(i)=median(Lidar_Cloudbase{i});
        boxplotID=[boxplotID,i];
        fprintf(fileID,'%11s %11.2f %11.2f
\r\n',Date_String{i},raob_cloudbase(i),LidarMedian(i));
    end
end
%fclose(name);
val=1.1*max([max(raob_cloudbase(boxplotID)),max(LidarMedian(boxplotID))]);
plot([0,val],[0,val]);
hold on;
plot(raob_cloudbase(boxplotID),LidarMedian(boxplotID),'x');
axis('equal');
xlim([0,val]);
ylim([0,val]);
xlabel('Altura Raob (m)');
ylabel('Altura Lidar (m)');

```

```
type(name); % Enseña el archivo txt
```

### **RAOB\_LIDAR\_plot. m (Comparación de todas las bases de las nubes detectadas en todo el período entre ambas técnicas)**

```
%% ANTES DE DIBUJAR RAOB
clear all;

RAOB='RAOB_analized';
RAOB_RESULT='RAOB_plotted';
LIDAR_RESULT='LIDAR_plotted';

load(RAOB);
different_months=unique(MONTH_Folder,'stable');
numberOfMonths=length(different_months);

separation_month=floor(numberOfMonths/2);
separation=find(MONTH_Folder==different_months(separation_month+1),1);

Y_Scatter=RAOB_result.cloudbase(index); %Y
months={'Jan','Feb','Mar','Apr','May','Jun','Jul','Aug','Sep','Oct','Nov','Dec'};

save(RAOB_RESULT);

%% ANTES DE DIBUJAR LIDAR
clear all;

LIDAR='LIDAR_analized';
LIDAR_RESULT='LIDAR_plotted';
RAOB_RESULT='RAOB_plotted';

load(LIDAR);
numberOfMonths=0;
idOfMonths=zeros(length(Lidar_Path),1); % por dias
different_years=unique(year,'stable');
Start=[];
End=[];
for i=1:length(different_years)
    year_index=find(strcmp(year,different_years{i}));
    different_months=unique(current_month(year_index),'stable');
    for j=1:length(different_months)
        numberOfMonths=numberOfMonths+1;
        month_index=find(strcmp(current_month,different_months{j}));
        Start=[Start,month_index(1)];
        End=[End,month_index(end)];
        idOfMonths(month_index)=numberOfMonths;
    end
end
%ColorMatrix=colormap(jet(numberOfMonths)); % En varios
% colores por mes
ColorMatrix=zeros(numberOfMonths,3);ColorMatrix(:,3)=1; % Todo en
% azul
close(gcf);

Start=sort(Start);
End=sort(End);
```

```

separation=floor(numberOfMonths/2);
months={'Jan', 'Feb', 'Mar', 'Apr', 'May', 'Jun', 'Jul', 'Aug', 'Sep', 'Oct', 'Nov', 'Dec'};

save(LIDAR_RESULT);

%%

for n=1:2
    if n==1
        load(RAOB_RESULT);
        starting_raob=1;
        ending_raob=separation-1;

        load(LIDAR_RESULT);
        starting_month=1;
        ending_month=separation;
    elseif n==2
        load(RAOB_RESULT);
        starting_raob=separation;
        ending_raob=length(X_Scatter);

        load(LIDAR_RESULT);
        starting_month=1+separation;
        ending_month=numberOfMonths;
    end

    load(RAOB_RESULT);

    figure_name=[months{MONTH_Folder(starting_raob)}, num2str(YEAR_Folder(starting_raob)), ' - ', ...
months{MONTH_Folder(ending_raob)}, num2str(YEAR_Folder(ending_raob))];
    figure();

    %scatter(X_Scatter(starting_raob:ending_raob), Y_Scatter(starting_raob:
ending_raob), '+');

    scatter(X_Scatter, Y_Scatter, 'marker', '+', 'markeredgecolor', 'magenta');
    hold on;

    load(LIDAR_RESULT);

    for j = Start(starting_month):End(ending_month)
        for i=[j*2-1, j*2]
            if isempty(Lidar_Cloudbase{i})
                continue
            end
        end

        boxplot(gca, Lidar_Cloudbase{i}, {idOfMonths(j)}, 'positions', [X_Boxplot(i)], 'colors', ColorMatrix(idOfMonths(j), :), 'plotstyle', 'compact', 'symbol', '');
    end

    first_tick=[year{Start(starting_month)}, '-
', current_month{Start(starting_month)}, '-', '01'];

```

```

        if strcmp(current_month{End(ending_month)},months{12})
            end_tick=[num2str(str2double(year{End(ending_month)}+1),'-
',months{1}','-', '01');
        else
            end_tick=[year{End(ending_month)}, '-
',months{find(strcmp(current_month{End(ending_month)},months))+1}','-
', '01'];
        end
        first_tick_unixdate=datetime(first_tick, 'yyyy-mmm-dd');
        end_tick_unixdate=datetime(end_tick, 'yyyy-mmm-dd');

        myTicks=first_tick_unixdate:end_tick_unixdate;

        set(gca, 'XTick', myTicks) % Posicion

        xlim(gca, [myTicks(1)-1, myTicks(end)+1]);
        ylim(gca, 'auto');
        Y_LIM=ylim;

        myLabels=datestr(myTicks, 'dd-mmm');

        for i=1:length(myLabels)
            if strcmp(myLabels(i,1:2), '01')
                plot(gca, [first_tick_unixdate+i-1, first_tick_unixdate+i-
1], [Y_LIM(1), Y_LIM(2)], '-.k');
            else
                myLabels(i,:) = ' ';
            end
        end
        set(gca, 'XTickLabel', myLabels); % Rotulo

        xlabel('Tiempo');
        ylabel('Altura');

        figure_name=[current_month{Start(starting_month)}, '
', year{Start(starting_month)}, ' - ', current_month{End(ending_month)}, '
', year{End(ending_month)}];

        set(gcf, 'name', figure_name);
        title(figure_name);

end

```