



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

# Introducción al procesamiento de señales lidar. Telemetría de nubes y altura de capa límite atmosférica

Nota Técnica SMN 2020-73

**Sebastián Papandrea<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> Dirección de productos de modelación ambiental y de sensores remotos, Dirección nacional de ciencia e innovación de productos y servicios.*

**Juan Vicente Pallotta<sup>2</sup>**

*<sup>2</sup> División Atmósfera del Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones, UNIDEF (CITEDEF-CONICET), UMI-IFAECI-CNRS-3351 .*

Septiembre 2020

### *Información sobre Copyright*

*Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.*

*La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.*

## Resumen

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN), entre sus diferentes sitios de observación distribuidos en todo el territorio nacional, posee una red de lidares e instrumental complementario para la teledetección de parámetros aerosólicos y de nubes. Esta red de lidares es parte de la red SAVER-Net, cuyo objetivo es el monitoreo de diversas variables atmosféricas en las que se incluyen: medidores radiación solar, gases traza y variables meteorológicas. Dado que los lidares pertenecientes a red generan archivos de datos en nivel cero (L0, o *Raw Data*) por cada ciclo de medición, es necesario generar un procesamiento sobre los datos L0 para la obtención de productos de orden mayor.

El objetivo de la presente nota es brindar las bases para la lectura, preprocesamiento e interpretación de una señal lidar elástica de la red SAVER-Net. Se describirán los procedimientos básicos con una visión práctica para poder realizar una correcta visualización de los datos, que darán lugar a la determinación de la altura de capa límite y perfiles de nubes, los que denominaremos datos de nivel 1 (L1). Este primer paso es necesario para análisis ulteriores y más específicos, como la obtención de perfiles ópticos de aerosoles por medio de la inversión de sus señales (datos de nivel 2, L2). También, se obtendrán los conocimientos necesarios, en caso de que el lector desee realizar sus códigos de automatización, para la obtención de los parámetros de nivel L1.

A lo largo de los diferentes apartados de este documento se dará una introducción a la técnica lidar, descripción del *hardware* utilizado, y un instructivo paso a paso para la lectura de los archivos lidar del nivel L0 para lograr los datos L1 con información almacenada en los canales elásticos.

## Abstract

The National Weather Service (SMN) operates a lidar network across the Argentinean territory aimed at obtaining aerosol and cloud parameters. This lidar network is part of the SAVER-Net network, which also has complementary instruments to measure different atmospheric variables, such as solar radiation, trace gases, wind, pressure and temperature.

Lidars produce raw data files (data level 0, L0) in each measurement cycle, which need to be processed to obtain higher order products. In this technical note, the bases for the generation of the data level 1 (L1) are explained, from the reading of the data files, their pre-processing and procedures for the atmospheric boundary layer and clouds base/top height retrievals. This will help to develop more sophisticated analysis (data level 2, L2), like aerosol optical profiles by the inversion of its signals.

This technical note covers different topics including the rudiments of the lidar and its signals, a SAVER-Net description and its *hardware* characteristics, to the main steps in signal processing to obtain L1 data level products.

**Palabras clave:** red lidar SMN, señal lidar, altura capa límite atmosférica, base y tope de nubes.

## Citar como:

Papandrea S. y J. V. Pallota, 2020: Introducción al procesamiento de señales lidar. Telemetría de nubes y altura de capa límite atmosférica. Nota Técnica SMN 2020-73.

## 1. INTRODUCCION

El estudio de la atmósfera, mediante la aplicación de la técnica lidar (acrónimo del inglés LIDAR, *Light Detection and Ranging*), permite obtener perfiles ópticos de los aerosoles atmosféricos, como también, relevar la altura de la capa límite y base-tope de nubes con alta resolución temporal (en el orden de los segundos) y espacial (en el orden de metros).

La técnica lidar consiste en el envío de pulsos de luz láser de muy corta duración a intervalos regulares de tiempo hacia la atmósfera. A medida que el pulso viaja, sus fotones son absorbidos y dispersados, por lo que el sistema se encarga de detectar la porción de señal que es retrodispersada ( $180^\circ$ ) luego de su interacción con el medio. El tipo de interacción que se genera entre la radiación enviada, las moléculas y partículas en suspensión está dada por diversos parámetros, como la longitud de onda de emisión del láser, el tamaño y forma de las partículas, densidad, entre otros. La señal retrodispersada contiene una distribución espectral y de fase con información de la atmósfera intervenida, por lo que al detectarla se podrá obtener información de la misma. Debido a que se conoce la velocidad a la que viajan estos pulsos (velocidad de la luz), es posible convertir el tiempo de viaje en distancia, relevando de esta manera un perfil del parámetro a medir (ver por ejemplo Kovalev y Eichinger 2004, o Weitcamp 2006).

La señal detectada se almacena en diferentes canales, los cuales dependen de las características de los fotones detectados, como su longitud de onda, polarización o pureza espectral. Podemos clasificar los canales de la red SAVER-Net de la siguiente manera:

- **Canales Elásticos:** Detectan las mismas longitudes de onda emitidas por el láser. En nuestro caso, estas longitudes de onda son: 355, 532 y 1064 nm. Si bien son las señales más simples de adquirir, presentan complicaciones al momento de su inversión, debiendo hacer uso de calibraciones. La inversión de este tipo de señales se encuentra descrita en Klett (1985), Fernald (1984) y Sasano y Nakame (1984).
  - **Canales de depolarización:** Estas señales son del tipo elásticas y contienen el estado de polarización de la onda electromagnética detectada: paralelo y perpendicular. Para los lidares de la red, estas señales se almacenan para las longitudes de onda de 355 y 532 nm, siendo muy útil en los casos que se necesite una tipificación de los aerosoles. Para su utilización es necesaria una calibración del instrumental.
- **Canales Raman (o inelástico):** Estas señales hacen uso del efecto Raman, el cual se produce cuando una molécula absorbe radiación de una determinada longitud de onda y emite en otra diferente. Debido a que la eficiencia de este efecto es muy baja, se utilizan las longitudes de onda más cortas emitidas por el sistema (355 y 532 nm para el caso de la red SAVER-Net), aumentando de esta manera la cantidad de fotones detectados. También, y en el mismo sentido, se trabaja con los componentes atmosféricos mayoritarios, como el nitrógeno, y el vapor de agua. Por lo tanto, se detectan las líneas Raman del nitrógeno al absorber 355 y 532 nm, las cuales son 387 y 607 nm respectivamente. Para el caso del vapor de agua, se hace uso de su emisión al absorber 355 nm, la cual es 408 nm. A pesar de esta medida para aumentar su señal, la intensidad es muy baja, por lo que se suelen adquirir de noche, donde se evita la radiación solar de fondo mejorando la relación señal/ruido. La ventaja de estos canales es al momento de su inversión, ya que no necesita de la calibración que debe realizarse en los canales elásticos, para estos casos solo se requiere un mejor preprocesamiento destinado al filtrado de la señal.

- **Canales de alta resolución (HSR, según sus siglas en inglés):** Estos canales hacen uso de una emisión y de detección de muy alta resolución espectral. Esto significa que tanto la longitud de onda de emisión del láser como su detección poseen una pureza espectral muy alta. Esto da como resultado una señal de alta intensidad, como en los canales elásticos, y ventajas al momento de la inversión, como en los canales Raman, sin la necesidad de calibraciones complejas.

Cada uno de estos canales entrega una señal diferente, por lo que cada uno posee su propia ecuación que la describe, con sus ventajas y desventajas al momento de su inversión. Si bien, la detección en los canales elásticos es la más simple desde el punto de vista de su *hardware*, la inversión de sus datos requiere de instrumental extra para su calibración, o realizar calibraciones de su *hardware*. Los canales Raman son menos demandantes en lo que respecta a su inversión, pero tienen una baja relación señal/ruido, debiendo promediar temporalmente su señal durante horas para mejorar esta relación. Finalmente, el canal de alta resolución combina las ventajas de ambos, a costa de un complejo y costoso *hardware*. Estos lidars requieren un riguroso mantenimiento debido, principalmente, a la estabilización térmica que requiere el sistema para su correcto funcionamiento.

Son varios los parámetros atmosféricos que pueden ser relevados con la utilización de esta técnica, dependiendo siempre de las características del *hardware* del instrumento y la aplicación de los correspondientes algoritmos de inversión.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA SEÑAL LIDAR ELÁSTICA

La señal lidar elástica es una medida de la cantidad de fotones retrodispersados por la atmósfera que fueron detectados por el sistema, a las longitudes de onda de emisión láser. La expresión de la misma posee tanto factores instrumentales como atmosféricos, los cuales poseen las incógnitas que se buscan resolver en el proceso de inversión. Una manera conveniente de escribir la señal lidar se muestra a continuación:

$$P(r) = K_i/r^2 * \beta_T(r) * T_m^2(r) * T_a^2(r) + B \quad (1)$$

$$P(r) = K_i/r^2 * [\beta_m(r) + \beta_a(r)] * T_m^2(r) * T_a(r) + B \quad (2)$$

Dónde:

$P(r)$ : Medida de la cantidad de fotones detectados por el lidar.

$K_i$ : Constante instrumental.

$\beta_T(r)$ : Coeficiente de retrodispersión total, formado por:

- $\beta_m(r)$ : Coeficiente de retrodispersión molecular [ $m^{-1} \cdot sr^{-1}$ ].
- $\beta_a(r)$ : Coeficiente de retrodispersión aerosólica [ $m^{-1} \cdot sr^{-1}$ ].

$T_m^2(r)$ : Transmisión molecular elevada al cuadrado, dada por la expresión:  $e^{-2 \int_0^z \alpha_m(r) dz}$

$T_a^2(r)$ : Transmisión aerosólica elevada al cuadrado, dada por la expresión:  $e^{-2 \int_0^z \alpha_a(r) dz}$

$\alpha_m(r)$ : Coeficiente de extinción molecular [ $m^{-1}$ ].

$\alpha_a(r)$ : Coeficiente de extinción aerosólico [ $m^{-1}$ ].

$B$ : Ruido de fondo. Este término está formado por la suma de la radiación detectada que no pertenece a fotones del láser retrodispersados. Este término contiene no sólo su componente de continua sino también el ruido aleatorio producto de, en su mayor medida, ruido electrónico generado en el fotomultiplicador.

La expresión de la ecuación lidar elástica (1) es monocromática, por lo que cada uno de los factores que la integran corresponden a la longitud de onda en estudio. Para el caso de la red SAVER-Net, estos valores pueden ser 355, 532 y 1064 nm.

Se observa también que, desde el punto de vista de la ecuación lidar, esta divide a la atmósfera en dos componentes: aerosoles y moléculas, siendo las características de los aerosoles los parámetros a obtener en el proceso de inversión de su ecuación. En cuanto a la componente molecular, esta se puede obtener con los perfiles de presión y temperatura, como se describe en la siguiente sección.

## 2.1 Contenido molecular de la ecuación lidar

Todos los coeficientes moleculares (subíndices  $m$ ) de (1) son obtenidos con información de radiosondeos cercanos, o en su defecto, utilizando modelos de presión y temperatura, como el US-Standard [Bucholtz, 1995]. Para obtener estos coeficientes con esta información se procede de la siguiente manera:

1. Se obtiene la concentración molecular utilizando la expresión:

$$N(r) = P(r) / ( T(r) * K_{boltz} ) \quad (3)$$

Dónde:

$P(r)$ : Perfil de presión [Pa].

$T(r)$ : Perfil de temperatura [K].

$K_{boltz}$ : Constante de Boltzman ( $1.3807 \times 10^{-23}$ ).

2. Se obtienen los perfiles de retrodispersión y extinción molecular por medio de las siguientes expresiones:

$$\beta_m(r) = N(r) * (550/wl)^{4.09} * 5.45 * 10^{-32} \quad (4)$$

$$\alpha_m(r) = \beta_m(r) * 8 * \pi/3 \quad (5)$$

Dónde:

$wl$ : es la longitud de onda en la que se desea calcular estos coeficientes, igual a la longitud de onda láser de la señal lidar que se quiere analizar.

Por lo tanto, en la ecuación lidar, sólo los perfiles aerosólicos son la incógnita a obtener, y el objetivo de la inversión de este tipo de señales. La resolución de esto es un problema complejo, ya que se posee una sola ecuación ( $P(r)$ ) y dos incógnitas ( $\beta_a(r)$  y  $\alpha_a(r)$ ), para lo cual es necesario de una calibración del *hardware* o haciendo uso de otros instrumentos. La inversión de este tipo de señales se encuentra descrita en los trabajos realizados por Klett (1985), Fernald (1984) y Sasano y Nakame (1984), los cuales necesitan la presunción de una relación constante entre los coeficientes aerosólicos, la que se denomina relación lidar (LR por *lidar-ratio*, según sus siglas en inglés). La implementación de estos métodos lleva a obtener los productos de nivel 2 (L2), los cuales son los perfiles de los coeficientes de retrodispersión ( $\beta_a(r)$ ) y el de extinción ( $\alpha_a(r)$ ).

### 3. NIVELES DE DATOS LIDAR

En el presente apartado se definirán tres niveles de datos definidos para los lidares de la red SAVER-Net.

- **Datos de nivel L0 (raw data):** Estos datos son generados por el digitalizador y almacenados en archivos siguiendo el formato que se describe en la sección 5 de esta nota técnica. Estos archivos son guardados en la PC local vinculada al instrumento y se sincronizan en los servidores destinados para tal fin. Los datos de este nivel representan los niveles de señal retrodispersada que son detectados en función de la altura. De este nivel de señal es muy difícil obtener información de la atmósfera sin antes realizar un procesamiento de la misma con el objetivo de generar datos de mayor nivel.
- **Datos de nivel L1:** Los datos de nivel L1 contienen la telemetría de la altura de la capa límite atmosférica y las nubes. Para la detección de estos parámetros, lo recomendable es la utilización de las señales elásticas de 1064 nm. En caso de no estar disponibles, la segunda opción es la señal de 532 nm, dejando a la de 355 nm como última alternativa. Esto es debido a que en las señales de mayor longitud de onda se evidencia mejor la diferencia de retrodispersión entre las moléculas y las partículas, haciendo más fácil la obtención de los parámetros de este nivel.
- **Datos de nivel L1.5:** Contando con la calibración de cada una de las señales elásticas y de depolarización, es posible generar dos productos de nivel L1.5, los cuales son:
  - **Color-ratio:** Haciendo uso del cociente de diferentes longitudes de onda elásticas, es posible generar una proporción entre ambas señales, denominada *color-ratio*. Esta proporción permite dar un primer paso en la caracterización de los aerosoles o nubes, ya que su valor permite estimar el radio del componente atmosférico dispersor.
  - **Depolarization-ratio:** También es posible caracterizar los elementos dispersores en la atmósfera por medio de la detección de la diferencia de fase de polarización entre el láser emitido y la radiación detectada. Para esto, el sistema lidar tiene que estar capacitado para detectar dos estados de polarización perpendiculares entre sí. Luego, haciendo el cociente de estas dos señales, es posible caracterizar qué tan esférica es la partícula, y por lo tanto, estimar su tipo. Los valores de este cociente están catalogados para los diferentes dispersores atmosféricos, en donde valores cercanos a 1 corresponde a dispersores esféricos (generalmente moléculas).
- **Datos de nivel L2:** Lograr datos de nivel L2 implica determinar los perfiles de retrodispersión y extinción producidos por los aerosoles. Dado que la ecuación que describe las señales lidar elásticas poseen dos incógnitas, es necesaria la implementación de métodos de inversión complejos junto la calibración del *hardware* o la utilización de otros instrumentos. Los productos almacenados en los datos de nivel L2 son: coeficiente de retrodispersión, coeficiente de extinción, razón lidar, coeficiente de extinción para partículas esféricas, coeficiente de extinción para polvo y tipificación de aerosoles entre otros. Una breve descripción de estos productos fue presentada en Papandrea (2020).

En esta nota técnica se describe cómo utilizar los canales elásticos de los lidares (L0), para obtener datos de nivel L1, por medio de la interpretación de la forma de su señal corregida en rango.

## 4. SITIOS DE MEDICIÓN CON INSTRUMENTOS LIDAR

La red de lidares operada por el SMN forma parte de la red de observación SAVER-Net. Esta red cuenta con nueve nodos de medición en territorio argentino, de los cuales ocho de ellos poseen lidares como parte de su instrumental. Actualmente los sitios de observación que poseen equipos lidar se encuentran emplazados en:

- Río Gallegos – Aeropuerto internacional Piloto Civil Norberto Fernández - RGL.
- Comodoro Rivadavia – Aeropuerto internacional General Enrique Mosconi - CDR.
- San Carlos de Bariloche – Aeropuerto internacional Tte. Luis Candelaria - BRC.
- Neuquén – Aeropuerto Internacional Juan Domingo Perón - NQN.
- Buenos Aires – Servicio Meteorológico Nacional - SMN.
- Buenos Aires – Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa - CITEDEF.
- Córdoba – Observatorio Geofísico y Meteorológico de Pilar - COR.
- Tucumán – Observatorio Meteorológico de Tucumán. - TUC.

Es de destacar que los sitios de observación poseen instrumental complementario como ser: fotómetro solar, sensor de radiación UVA, UVB y visible, medidor de partículas en superficie, medidor de gases traza, cámara de cielo y sensores para parámetros atmosféricos convencionales, variando ligeramente este instrumental de una estación a otra.

La Tabla I ilustra un detalle del instrumental involucrado en cada sitio de medición.

**Tabla I:** Instrumental por sitio de medición. \* Instrumental transferido al SMN en dependencias del CITEDEF-Villa Martelli. \*\* Instrumental transferido al SMN en dependencias del CITEDEF-OAPA. – El sitio no posee este instrumento.

	Río Gallegos	Comodoro Rivadavia	San Carlos de Bariloche	Neuquén	Buenos Aires (SMN)	Buenos Aires (CITEDEF)	Córdoba	Tucumán
Lidar	ok	ok	ok	ok	Ok	ok	ok	ok
Medidor de partículas	ok	ok	ok	ok	Ok	ok	ok	ok
Fotómetro Solar	**	ok	ok	ok	*	ok	ok	ok
Radiación UVA	**	ok	ok	ok	*	ok	ok	ok
Radiación UVB	**	ok	ok	ok	*	ok	ok	ok
Radiación Piranometro	**	ok	Ok	ok	*	ok	ok	ok
Radiación GUV	**	ok	Ok	*	*	ok	ok	ok
Cámara de cielo	**	-	-	-	*	ok	ok	-
Medidor de gases traza	-	ok	Ok	-	*	ok	ok	-
Estación Meteorológica	**	ok	Ok	ok	*	ok	ok	ok

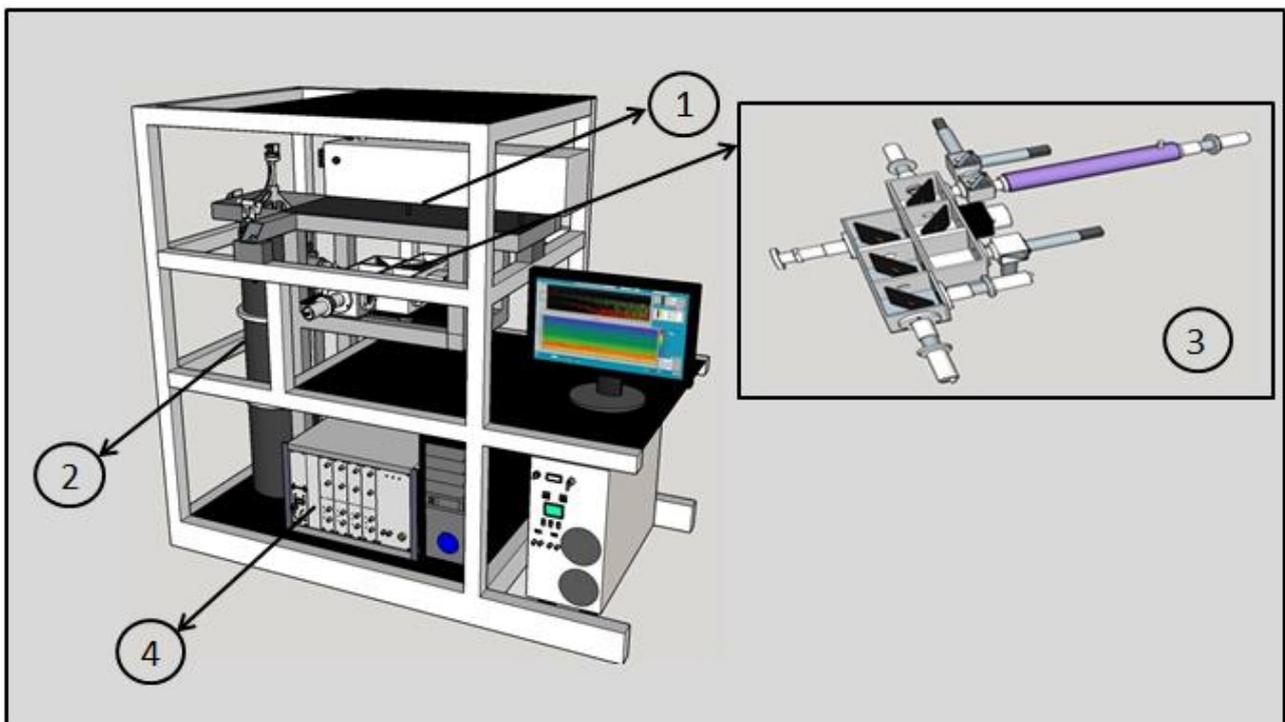
Información complementaria sobre el instrumental, observaciones y parámetros obtenidos por la red de observación SAVER-Net pueden encontrarse en Papandrea (2020).

## 5. CARACTERÍSTICAS DEL HARDWARE

Para el procesamiento de la señal lidar es necesario conocer las características constructivas del instrumento. Si bien existen un sinnúmero de configuraciones y características del *hardware* con las que se puede conformar un lidar, en este apartado describiremos las características generales de los lidars que conforman la red de observación.

Un sistema lidar, visto desde el *hardware* que lo compone, puede separarse en cuatro módulos:

- Emisor láser.
- Telescopio de recepción (receptor o colector).
- Caja espectrométrica.
  - Filtros ópticos.
  - Detectores.
- Digitalizador



**Figura 1:** Render 3D del lidar ubicado en Pilar, Córdoba. 1 – Emisor láser. 2 – Telescopio. 3 – Caja espectrométrica. 4 – Digitalizador.

A continuación se enumeran y describen brevemente los cuatro módulos que conforman un lidar (ver Fig. 1):

**1 - Emisor láser:** Se utiliza un láser de estado sólido, Nd-YAG, pulsado. El láser genera la emisión fundamental en 1064 nm y por medio de un doblador y triplicador interno se obtienen las emisiones en 532 y 355 nm. La frecuencia de repetición del láser varía entre los 10 Hz, 20 Hz y 30 Hz dependiendo del instrumento.

**2 - Receptor o colector:** Un telescopio en configuración Newtoniano o Cassegrain, dependiendo del instrumento con un diámetro de 20 cm y una distancia focal de 1 m, tiene la misión de recolectar la señal retrodispersada y dirigirla al siguiente módulo (caja espectrométrica).

**3 - Caja espectrométrica:** La cantidad de canales de medición son determinados por la capacidad de esta unidad, ya que es la encargada de separar las señales retrodispersadas mediante la utilización de diversos filtros ópticos. Cada una de las señales separadas son direccionadas a cada detector destinado a la medición de una señal en particular. Utilizando PMTs (Photomultiplier Tubes) para todos los canales excepto para el canales elástico de 1064 donde se utilizan APD (Avalanche Photodiode). Dependiendo del instrumento, esta unidad tiene la capacidad de separar y detectar las señales: elásticas de 1064, 532 y 355 nm, Raman de 387, 408 y 607 nm, depolarización de 532 y 355 nm y alta resolución de 532 nm.

**4 - Digitalizador:** Encargado de adquirir la señal proveniente del fotomultiplicador para que se almacene en forma de archivos en la PC del equipo. Esta unidad determina la resolución espacial del instrumento y el rango máximo a detectar, siendo 7,5 m y 30 Km respectivamente.

Si bien los sistemas lidar instalados en cada sitio de observación poseen estos módulos con la misma distribución, los equipos difieren ligeramente entre sí. Un detalle del *hardware* y la configuración empleada en cada estación lidar puede encontrarse en el Apéndice II.

## 5.1 Canales de medición por instrumento

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la cantidad de canales de medición que posee un lidar es una característica significativa del instrumento. Con esta información es posible determinar qué tipo de productos puede obtenerse del instrumento, qué tratamiento particular debe darse a las señales obtenidas y que algoritmos de inversión se adecúa mejor a cada sistema.

La Tabla II ofrece un detalle de los canales en cada uno de los sistemas lidar utilizados en la red SAVER-Net/Argentina.

**Tabla II:** Detalla de los canales implementados en cada sitio de medición. \*El instrumento no posee la detección directa de este canal elástico. La misma se logra con la suma de la componente paralela y perpendicular para la longitud de onda deseada. Para el tratamiento de las señales propuesto en este informe puede utilizarse solo la componente paralela en caso de no detectarse directamente la señal elástica.

	Canales [nm]	RGL	CRD	BRC	NQN	SMN	CITEDEF	COR	TUC
Elástico	355	✓*	✓*	✓	✓*	✓*	✓*	✓*	✓*
	532	✓*	✓*	✓	✓*	✓*	✓*	✓*	✓*
	1064	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Depolarización	355 //	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
	355 ⊥	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
	532 //	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
	532 ⊥	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓
Raman	387	X	X	✓	X	X	✓	✓	X
	408	X	X	✓	X	X	✓	✓	X
	607	X	X	✓	X	X	X	X	X
HSR	532	X	X	X	X	X	✓	✓	X

El Apéndice II detalla el *hardware*, incluyendo las especificaciones de emisión, recepción, detección y digitalización para cada uno de los lidares intervinientes en la red.

## 6. FORMATO DE ARCHIVO LIDAR

Los lidares pertenecientes a la red SAVER-Net utilizan una electrónica de adquisición de la empresa Licel ([www.licel.com](http://www.licel.com)) exceptuando la componente perpendicular del canal de 355 nm en los sitios denominados RGL, CRD, NQN, SMN, TUC, donde se ha incorporado un digitalizador de la empresa Turtle ([www.turtle-ind.co.jp](http://www.turtle-ind.co.jp)) el cual genera su propio archivo para la señal mencionada. Para el procesamiento de señales lidar propuesto en el presente informe nos centraremos en las señales generadas por el digitalizador Licel.

A continuación se describe el formato de este tipo de archivos, el cual consta de un header de tipo ASCII, y las señales lidar guardadas en formato binario. Esta información es extraída de su manual (ver <http://licel.com/manuals/programmingManual.pdf>), siendo una buena referencia para mayor detalle de este formato y del funcionamiento de la electrónica de adquisición.

Un ejemplo de *header* se muestra a continuación, el cual es utilizado en la estación lidar de Aeroparque:

1	a2052015.460006
2	LidarAEP 20/05/2020 15:45:50 20/05/2020 15:46:00 0010 -058.4 -034.6 00
3	0000301 0030 0000301 0000 04
4	1 0 2 04092 1 1000 7.50 00355.o 0 0 00 000 12 000301 0.500 BT0
5	1 0 1 04092 1 1000 7.50 00532.o 0 0 00 000 12 000301 0.500 BT1
6	1 0 1 04092 1 1000 7.50 00532.p 0 0 00 000 12 000301 0.500 BT2
7	1 0 2 04092 1 0270 7.50 01064.o 0 0 00 000 12 000301 0.500 BT3

Las tres primeras líneas describen aspectos generales de la medición (lugar, fecha, etc), y a continuación se describe la configuración de cada canal instalado en la electrónica de adquisición.

Descripción de cada línea del header:

- **Línea número 1**

Nombre del archivo: El mismo es un *string* con el siguiente formato: **?yyMddhh.mmssmsms**

? - letra utilizada para definir el sitio donde fue tomada la señal lidar. Para el caso de la red SAVER-Net, se utiliza la siguiente convención:

- a: Aeroparque
- b: Bariloche
- c: Comodoro
- g: Río Gallegos
- h: Pilar
- n: Neuquén
- t: Tucumán
- p: Punta Arenas
- v: Villa Martelli

**yy** - Dos números representando la decena de la centuria.

**M** - Un número conteniendo el mes en formato hexadecimal (October = A, December = C).

**dd** - Dos números conteniendo el día del mes.

**hh** - Dos números conteniendo la hora local.

**mm** - Dos números conteniendo los minutos.

**ss** - Dos números conteniendo los segundos.

**ms** - Dos números conteniendo los milisegundos dividido 10.

- **Línea número 2**

Nombre del sitio: Palabra de 8 letras.

Tiempo de inicio de la medición grabada en el archivo: Formato: *dd/mm/aaaa hh:mm:ss*.

Tiempo de finalización de la medición grabada en el archivo: Formato: *dd/mm/aaaa hh:mm:ss*.

Altitud sobre el nivel del mar del sitio de medición: 4 dígitos, expresado en metros.

Longitud: 4 dígitos incluido el signo, más un dígito decimal (ej: -058.4).

Latitud: 4 dígitos incluido el signo, más un dígito decimal (ej: -034.6).

Ángulo cenital: Dos dígitos, expresado en grados. Para los lidares de la red SAVER-Net, fijado en 00.

- **Línea número 3**

Número de disparos del láser 1: 7 dígitos.

Frecuencia de disparo del láser 1: 5 dígitos.

Número de disparos del láser 2: 7 dígitos.

Frecuencia de disparo del láser 2: 5 dígitos.

Número de *datasets* grabados en el archivo: 2 dígitos.

Nota: todos los lidares de la red SAVER-Net poseen 1 solo láser de emisión, por lo que la información referida a los láser 1 y 2 es la misma.

- **Líneas 4 a 7. Descripción del *Dataset***

1. Canal activado/desactivado: 1/0

2. Tipo de detección: Analógico/fotoconteo = 0/1. Ver Apéndice I para una descripción de estos dos modos de adquisición. Para el propósito de esta nota técnica, se utilizaran los canales analógicos.

3. Láser utilizado: Láser 1 = 1, Láser 2 = 2.

4. Cantidad de *bines* (puntos adquiridos) para cada señal: 5 dígitos.

5. Siempre está en 1.

6. Tensión del fotomultiplicador: 4 dígitos en Volt.

7. Ancho espacial de cada *bin*: 1 dígito para las unidades y 2 dígitos para los decimales, separados por un punto y expresado en metros (ej: 7,50). Con esta información, más la cantidad de *bines* adquiridos (cuarto dato del *dataset*) se puede armar el *array* de rango al momento de graficar la señal lidar.

8. Longitud de onda del canal y polarización: 5 dígitos, expresado en nm, seguido de una letra con la polarización: *o* = sin polarización, *s* = perpendicular, *p* = paralelo. Ambos parámetros están separados por un punto (ej: 00355.o). El tipo de adquisición *s* y *p* solo se encuentran para los canales de 355 y 532 nm. Para el objetivo de esta nota técnica, si se posee un archivo con dos estados de polarización *s* y *p*, se deberá generar una única señal resultante de la suma de ambas.

9. 0 0 00 000 Compatibilidad por versiones pasadas.

10. Número de *bits* ADC: solo aplicable en caso de detección analógica, definido con dos dígitos en el segundo campo del *dataset*. En caso de detección de fotoconteo, este campo se define como 00. Para la red SAVER-Net, este valor es 12, permitiendo 4096 divisiones del máximo de tensión que acepta la electrónica. El valor de máxima tensión está configurado en el campo 13 del mismo *dataset*.

11. Número de disparos láser promediados/acumulados (analógico/fotoconteo). 6 dígitos.

12. Este valor depende del modo de adquisición:

- Fotocorriente: Máximo rango de tensión para la digitalización. Con este valor se puede obtener la resolución en volts para cada cuenta en la conversión analógico-digital. Expresado como 1 dígito para la unidad y 3 para los decimales, separados por un punto. Ej: **0.500**, lo que representan  $0.5 \text{ V} = 500 \text{ mV}$ , lo que define una resolución de cada cuenta del conversor analógico-digital a  $5 \text{ mV}/2^{12} = 0.12 \text{ mV}$ .
- Fotoconteo: Nivel de discriminación para el cual, si la señal supera este umbral, se incrementa el contador para ese bin. Estas señales no son utilizadas en el marco de esta nota técnica.

13. Descriptor del *dataset*: detección de fotocorriente = BT, fotoconteo = BC, ambos seguidos de un número que representa el número del módulo de adquisición, expresado en hexadecimal.

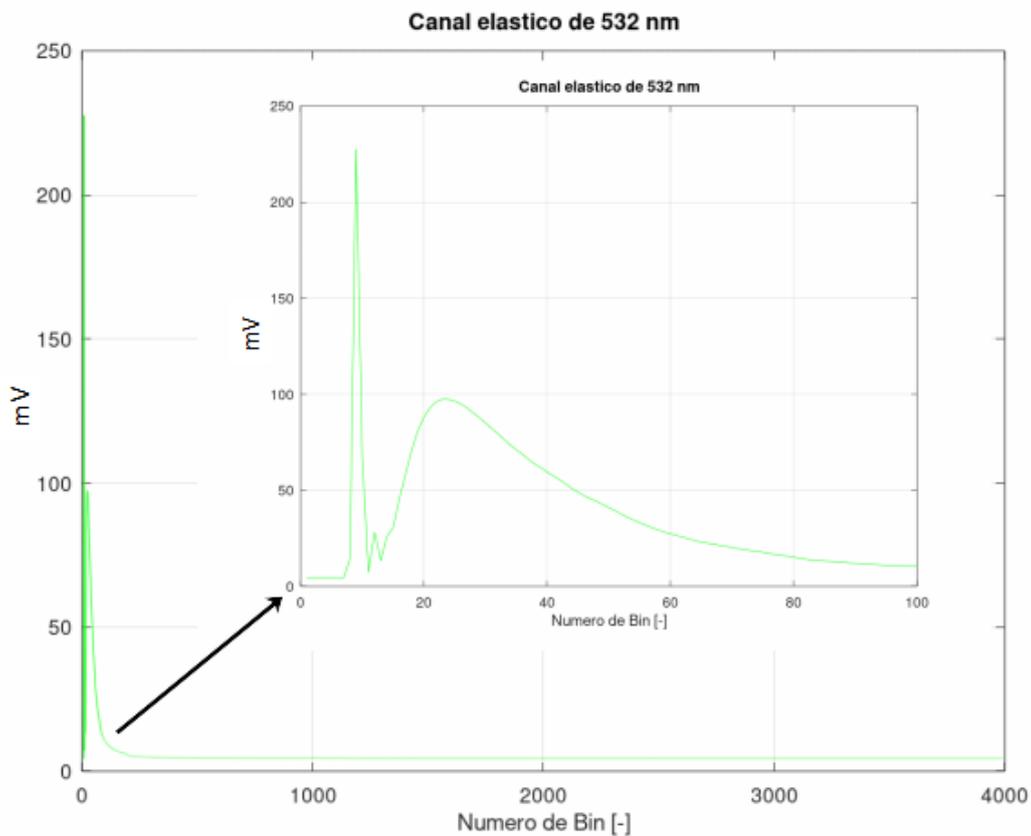
Todas las líneas del *header* poseen 80 *bytes* de largo, seguidas por un CRLF.

A continuación de los *datasets*, se encuentra una línea en blanco (solo CRLF) y luego se ubican cada uno de los perfiles lidar adquiridos (1 por cada *dataset*). Cada uno de los *bines* está representado por un entero de 32 bits, y al final de cada canal, como demarcador de los mismos, un CRLF.

Desde el servidor <http://saver.smn.gob.ar> es posible descargar el código *read\_licel.py* el cual permite la lectura de archivos de nivel L0 para su posterior procesamiento.

## 7. ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL LIDAR ELÁSTICA

En el presente apartado se detallan los pasos necesarios para generar señales corregidas en rango partiendo de señales de nivel L0 (*Raw Data*). Para comenzar, en la Fig. 2, se ilustra una señal lidar elástica del canal de 532 nm tal cual la extraemos del archivo (datos en nivel L0) junto a una ampliación de la misma para sus primeros 100 puntos.



**Figura 2:** Señal lidar del canal 532 nm nivel L0, junto con un zoom de la misma en la zona baja altura. La unidad del eje de abscisa está en número de bin. Para pasarlo a metros se debe multiplicar por 7,5.

Se observa en esta última figura que es muy difícil evidenciar información visual de la señal de nivel L0, por lo que es necesario realizar un *zoom* para observar alguna característica particular en su forma y evidenciar la presencia de nubes o el tope de la capa límite atmosférica. Para mejorar esto, se procede por graficar la señal “corregida en rango”, lo que permite una mejor visualización de los datos de nivel L1. Para esto, es necesario realizar:

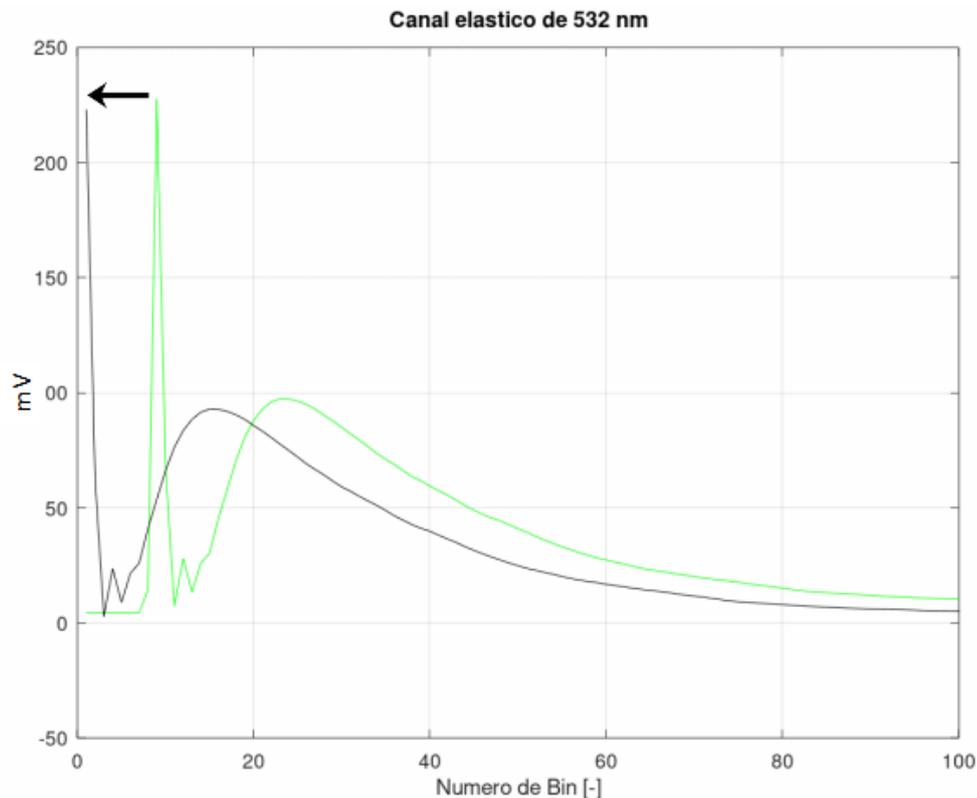
- Corrección de *offset*.
- Corrección de *bias*.
- Corrección en rango.

A continuación se describe cada uno de estos pasos.

## 7.1 Corrección de offset de la señal lidar.

Debido a que la electrónica de adquisición comienza a guardar datos antes que el láser sea emitido, es necesaria una corrección de *offset* en la señal. Este procedimiento se basa en remover los primeros puntos adquiridos para hacer coincidir la emisión del láser con la toma de datos. La obtención de cuantos puntos (*bines*) deben removerse se puede obtener en el *zoom* de la Fig. 2, en donde se observa un gran pico, cuyo

máximo se logra en el bin número 9. Este pico es el correspondiente a un reflejo del láser al ser emitido, y por lo tanto, puede utilizarse como medida del “tiempo cero”. Esto significa que los bins previos deben ser retirados de la señal, haciendo corresponder a la altura cero al bin número 9. Por lo tanto, esta corrección de *offset* consta de adelantar la señal como se observa en la Fig. 3.



**Figura 3:** Señal lidar antes (verde) y después (negro) de la corrección del *offset*.

Luego de esta corrección podemos asegurar la correspondencia en tiempo y rango de la misma. Cabe aclarar que el *offset* de 9 puntos aplicado a esta señal de ejemplo corresponde a las señales adquiridas en el lidar de la estación de Aeroparque, por lo que se recomienda verificar la posición del primer gran pico para la obtención de este valor en cada señal lidar que se analice.

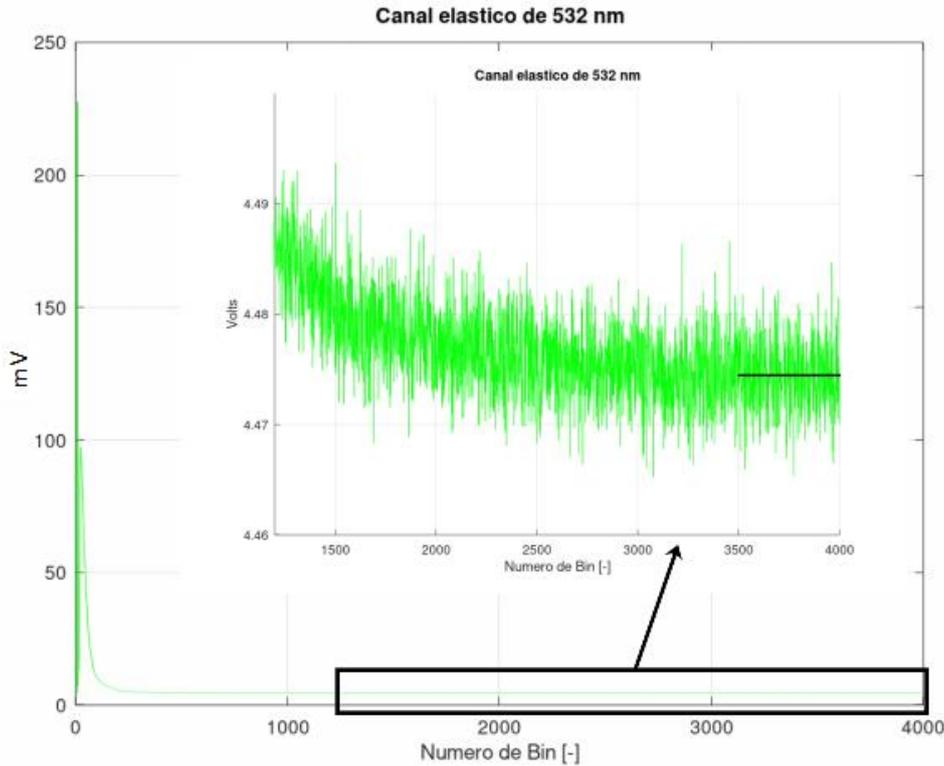
A continuación, se procede con la corrección del *bias* de la señal lidar, la cual se describe a continuación.

## 7.2 Corrección de bias de la señal lidar

En este procedimiento, lo que se busca es eliminar la radiación de fondo detectada por el sistema, producto de fuentes lumínicas diferentes al láser (radiación solar o iluminación dentro del contenedor). Esta radiación espuria genera que la señal lidar se vea montada sobre una componente extra de continua.

Para eliminar la componente de señal no deseada, es necesario considerar que en los últimos puntos de la señal lidar no hay fotones detectados producto de la retrodispersión del láser, y que la señal que se tiene en estos puntos es sólo producto de la radiación de fondo. Esto significa que se tiene que observar una señal continua (ruido de fondo) sumada a un ruido aleatorio del tipo Gaussiano, sin una estructura decreciente.

Teniendo en cuenta esto, solo hay que tomar el valor medio de estos últimos puntos como muestra del *bias*. Para los lidares de la red SAVER-Net en donde se adquieren 4096 bines, esta media se puede obtener de los últimos 500 puntos. Esto se observa gráficamente en la siguiente Fig. 4.



**Figura 4:** Señal lidar elástica sin corrección del bias y un zoom de la imagen en sus últimos puntos. Se observa de manera gráfica el valor medio de los últimos 500 bines (línea negra).

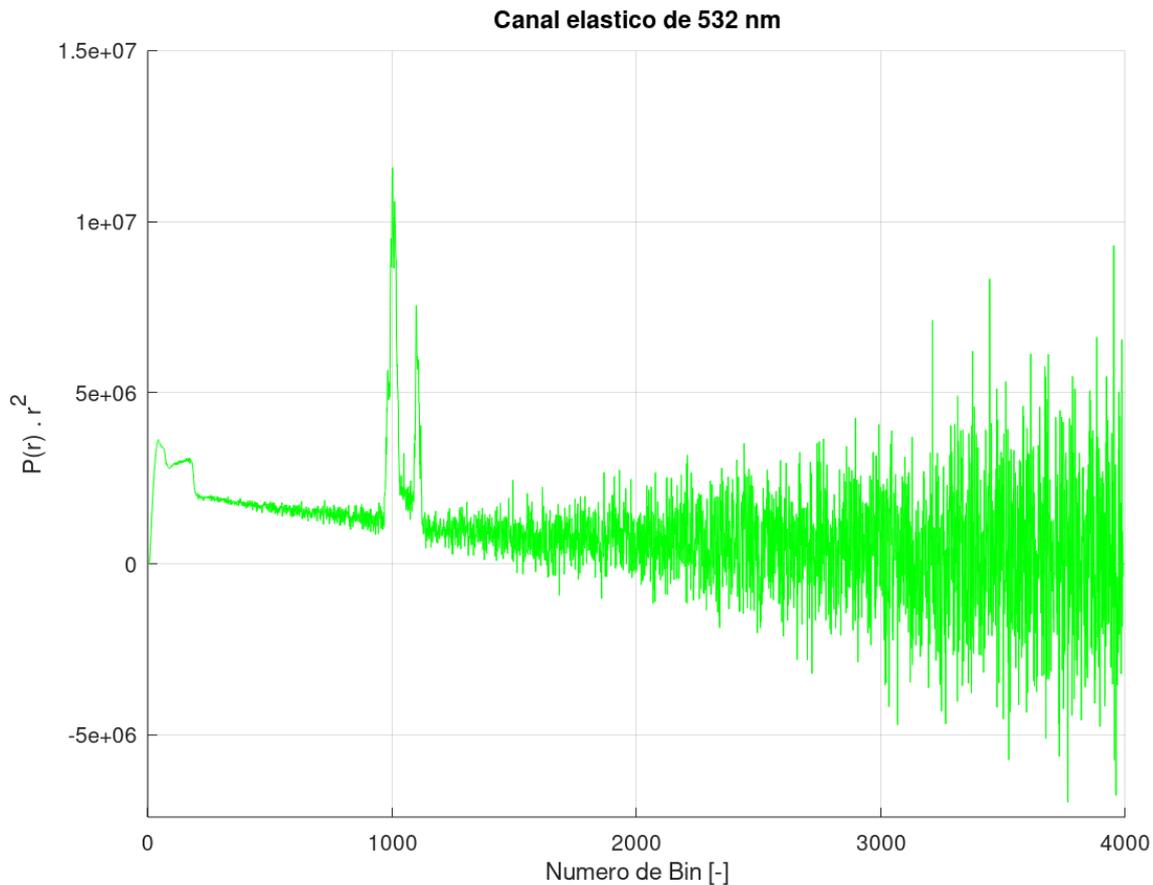
Finalmente, para eliminar el bias de la señal lidar, se debe restar este valor a todos los puntos de la misma. De esta manera se logra eliminar el *bias* de la señal lidar, pudiendo ahora estar en condiciones de realizar la “corrección de rango”.

### 7.3 Corrección de rango de la señal lidar

Luego de las correcciones de *offset* y *bias*, ya se está en condiciones de obtener la señal lidar corregida en rango, lo que hará que la visualización de la misma sea más conveniente para la detección de altura de capa límite y perfiles de nubes. Este paso consta simplemente de multiplicar la señal lidar por el rango al cuadrado ( $r^2$ ). Reescribiendo la ecuación (2) sin la componente de *bias* ( $B$ ) y multiplicada por  $r^2$  en ambos términos nos queda:

$$P(r) * r^2 = K_i^2 * [\beta_m(r) + \beta_a(r)] * T_m^2(r) * T_a(r) \tag{6}$$

y si graficamos esta expresión para la longitud de onda elástica de 532 nm obtenemos:



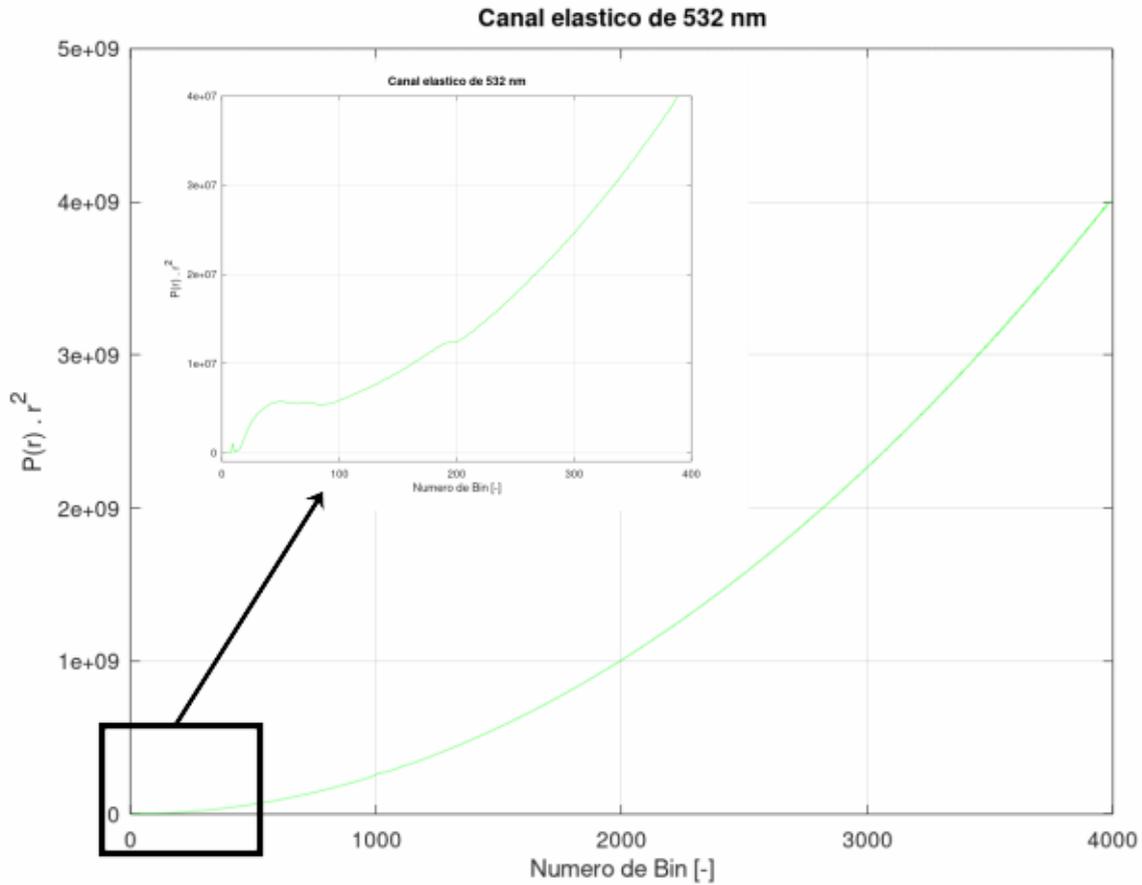
**Figura 5:** Señal lidar elástica del canal 532 nm corregida en rango.

Se observa una clara diferencia entre la Fig. 5 y la Fig. 2, ya que se elimina la dependencia de  $1/r^2$  en la señal adquirida, reduciendo su rango dinámico. Esto significa que se reduce la amplitud de valores de la señal, haciendo su visualización más cómoda para el ojo humano permitiendo la detección de diferentes estructuras de la atmósfera sin la necesidad de realizar un *zoom* en algún rango en particular.

Es importante remarcar que es posible realizar filtrados de la señal lidar para reducir el ruido aleatorio observado, ya que el ruido es también multiplicado por el rango al cuadrado, aumentando su amplitud en rangos lejanos. Estos filtros pueden ser del tipo temporal (promediar varias señales adquiridas consecutivamente) o espacial, como filtros de media móvil.

## 7.4 Posible error en la obtención de la señal corregida en rango

Un error muy común en este tipo de procedimiento se puede dar en la corrección de *bias*, lo que generará una señal corregida en rango defectuosa, como la que se muestra en la Fig. 6.

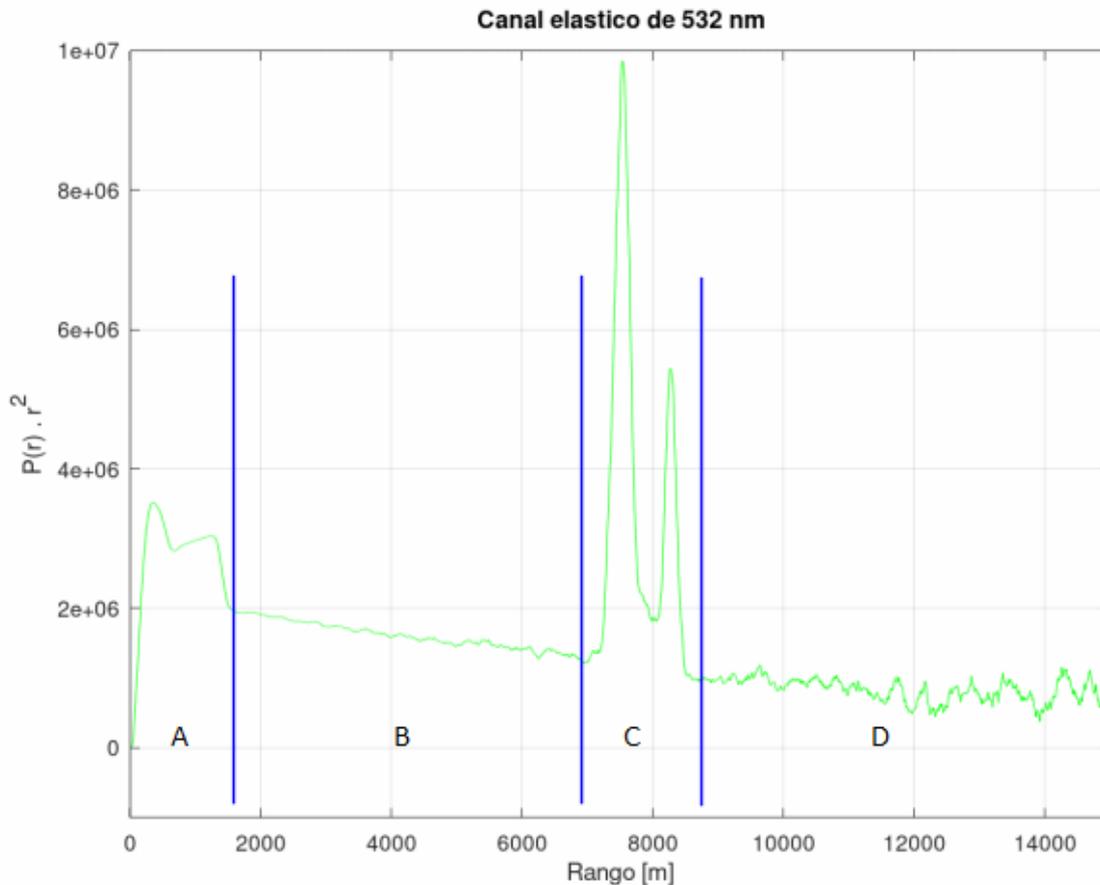


**Figura 6:** Señal corregida en rango errónea producto de una defectuosa corrección de bias.

La forma de esta última señal es producto de un remanente de *bias* de la señal a la que se le multiplicó por  $r^2$ , el cual queda también multiplicado por  $r^2$  generando la forma cuadrática en función del rango. Ante esta situación es necesario realizar la corrección del *bias* nuevamente.

## 7.5 Interpretación visual de la señal lidar corregida en rango

Pudiendo obtener la señal lidar elástica corregida en rango, se está en mejores condiciones de detectar la capa límite atmosférica y los perfiles de nubes. Se muestra en la Fig. 7 la misma señal de la Fig. 5 con un suavizado de media móvil de 21 puntos. Además, se marcan los límites de diferentes puntos a tener en cuenta en el análisis de los productos de nivel L1:



**Figura 7:** Señal de la Fig. 5, con un suavizado espacial de 21 puntos. Se marcan también los límites entre las zonas moleculares puras con las zonas aerosólicas o con nubes.

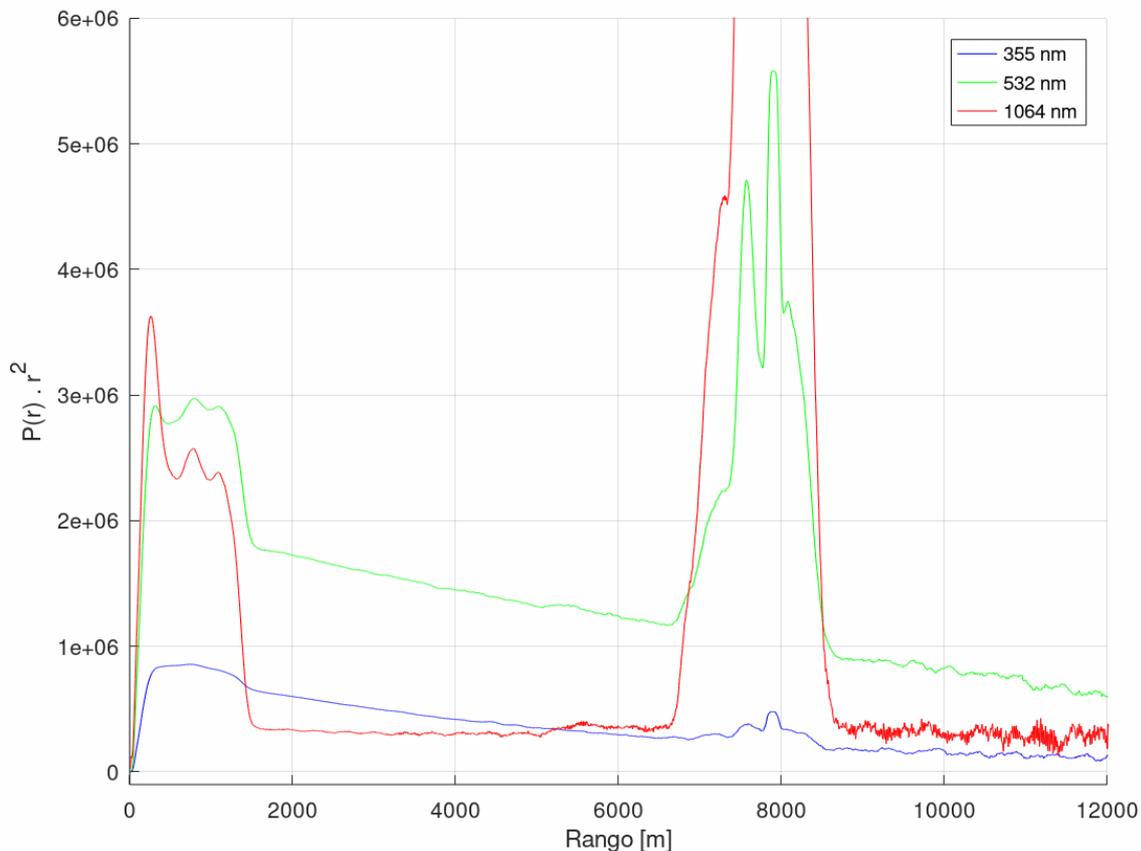
Se observan en esta última figura que la señal posee dos tipos de comportamientos en función del rango que, resumidamente, se pueden describir como:

- Dependencia suave en función del rango (zonas B y D, mayormente molecular o de poco contenido aerosólico/nubes). Esta dependencia solo se ve alterada por el ruido aleatorio de la señal (mayor en rangos altos), pero su pendiente no se ve mayormente modificada.
- Dependencia variable y aleatoria en función del rango (zonas A y C, no moleculares puras). Se observan comportamientos variables producto de la interacción con aerosoles o nubes. Cabe remarcar una característica en los primeros rangos de la señal lidar (primeros puntos de la zona A), en donde se observa que la señal asciende desde cero hasta un primer pico. Este comportamiento es debido a que el láser no entró completamente en el campo de visión del telescopio, por lo que estos primeros puntos no deben ser tenidos en cuenta para ningún tipo de análisis.

Estos conceptos son un primer paso para la detección de altura de capa límite y nubes de manera observacional a través de las señales lidar elásticas corregidas en rango. Conociendo estos conceptos y observando la última figura podemos determinar los siguientes parámetros:

- **Altura de capa límite atmosférica:** Este valor se obtiene de la primera transición entre la zona A y la B. Para el ejemplo de la Fig. 7, este valor está aproximadamente a los 1800 m. Podemos definirlo como la primera transición brusca hacia el perfil molecular de la señal lidar.
- **Nubes/plumas de aerosoles:** todos los picos que se observan a rangos superiores al de la capa límite atmosférica pueden ser considerados como retrodispersiones producto de nubes/plumas aerosólicas. Hay casos particulares en los que las nubes y plumas de aerosoles se encuentran a muy baja altura, estando dentro de la capa límite atmosférica, por lo que se pueden observar picos de retrodispersión en alturas menores al tope de la CLA.

Como se aclaró anteriormente, lo ideal para la detección de estas características son los canales de las longitudes de onda más largas disponibles. Esta diferencia se observa en la Fig. 8, en donde se grafican los 3 canales elásticos (355, 532 y 1064 nm) contenidos en un mismo archivo, y por lo tanto, adquiridos en el mismo momento.



**Figura 8:** Señales lidar elásticas de 355, 532 y 1064 nm.

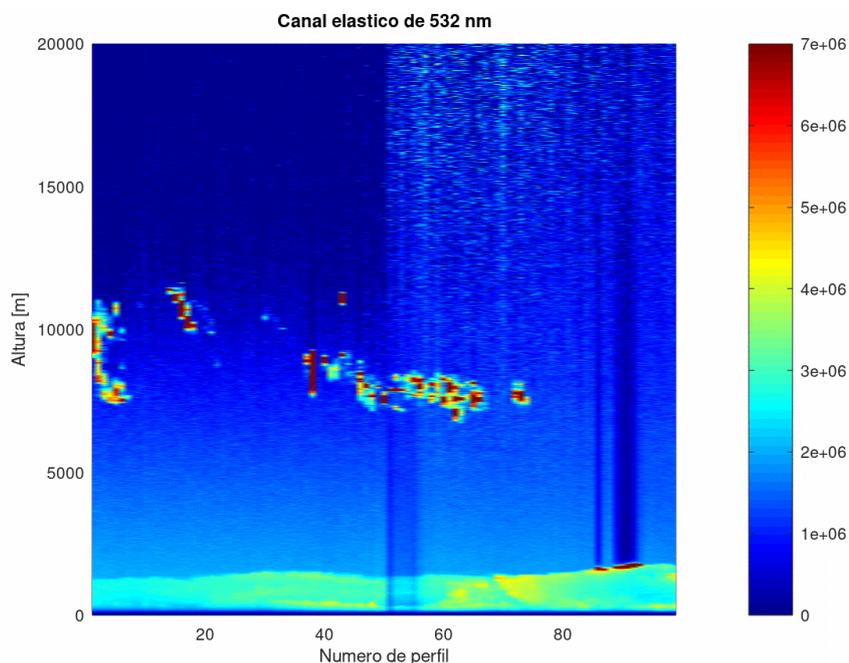
Se observa en esta última figura la diferencia de forma que poseen las 3 señales para la misma situación atmosférica. En un extremo, la señal de 1064 nm presenta un cambio muy marcado en las transiciones de zonas mayormente moleculares a zonas de aerosoles/nubes, por lo que es la señal ideal para la detección de los datos de nivel L1. Esto es producto de la diferencia en la eficiencia de interacción de los fotones de 1064 nm con las moléculas y las partículas. En el otro extremo, la señal de 355 no presenta una marcada diferencia en la interacción con estos dos componentes, haciendo más difícil la extracción de los parámetros buscados.

Es importante remarcar que no es importante para este análisis la amplitud de las señales, ya que estas dependen de la constante de instrumental de cada canal, las cuales, son diferentes. Lo importante es la diferencia de la intensidad de señal para los diferentes componentes atmosféricos.

Existen diferentes trabajos en los que describen métodos para la detección automática de estos parámetros, por ejemplo, Kovalev y Eichinger (2004), Melfi y otros (1985), Shiv y otros (1992), Flamant y otros (1997), Matthias y otros (2004), Hopper (1986), Piironen y otros (1995). La mayoría de estos métodos están basados en la cuantificación de la variabilidad de la señal lidar a través de la aplicación de la varianza o su gradiente. Para esto es necesario de un filtrado adecuado previo, ya que el ruido aleatorio hace que sus derivadas diverjan fácilmente. En Pallotta y otros (2017) se abarca el problema desde otro punto de vista, ya que en vez de buscar los cambios en las derivadas, lo que se busca es la similitud de la señal elástica con un perfil lidar molecular puro. Este procedimiento está basado en un método de testeo de calidad de señal lidar denominado Rayleigh-Fit (Freudenthaler 2009).

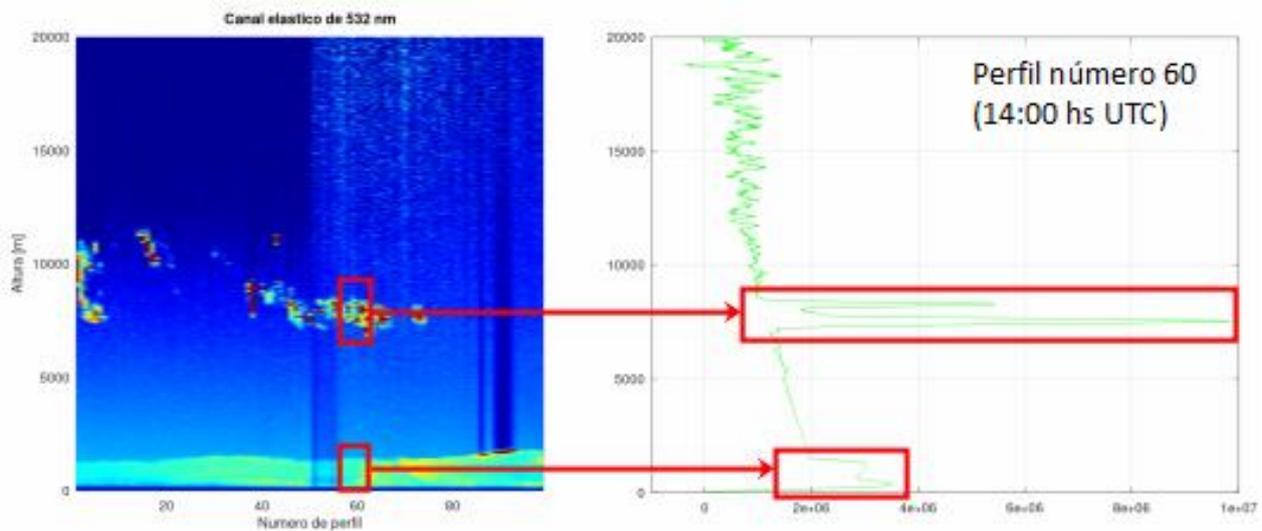
## 7.6 Visualización a través de un PCOLOR

Una manera práctica de visualizar la evolución temporal y de los parámetros de nivel L1 es por medio de un *pcolor* (pseudo-color). De esta manera, se visualiza en el eje de abscisa el número de los diferentes perfiles (o el tiempo en que fueron adquiridos) y en el eje de ordenada la altura. La intensidad de la señal corregida en rango se representa por medio de una escala de colores. Un ejemplo de *pcolor* se observa en la Fig. 9.



**Fig 9:** Evolución temporal de la señal lidar del canal de 532 nm.

Una correspondencia cualitativa entre el *pcolor* y la señal corregida en rango se observa en la Fig. 10:



**Figura 10:** Imagen *pcolor* (izquierda) y su correspondencia con el perfil de la señal corregida en rango.

La Fig. 10 ilustra las dos formas más utilizadas para la presentación de señales corregidas en rango. En un caso mostrando la evolución temporal de la atmósfera (*pcolor*) y en el otro un perfil para un tiempo determinado. Ambos casos permiten visualizar fácilmente la estructura de la atmósfera, en lo que refiere a la telemetría de la CLA, nubes y partículas en suspensión, pudiendo tener valores de su telemetría de forma rápida y aproximada con una inspección visual.

## 8. Conclusiones

Se ha descrito en esta nota técnica los primeros pasos en el procesamiento de una señal lidar elástica para la obtención de los productos de nivel L1. Se explicó las bases del procesamiento de las señales desde la lectura de los archivos hasta la generación de la señal corregida en rango. Esta señal permite poder obtener la altura de capa límite atmosférica y perfiles de nubes de manera visual y rápida. También, quedaron asentadas las bases teóricas para quien quiera obtener estas características por medio de un código propio, o por medio de métodos ya conocidos a través de las publicaciones citadas.

Estos conceptos son los mínimos en la observación de las señales lidar en la que todo lidarista tiene en cuenta cuando observa una señal. Para el resto de los niveles de datos se deben sumar nuevos conceptos y datos para realizar la sinergia correcta en la obtención de sus productos.

## 9. APÉNDICE I - Modos de adquisición: fotocorriente y fotoconteo

Existen dos modos diferentes de adquirir electrónicamente la señal de retrodispersión lidar: fotocorriente y fotoconteo, y la utilización de cada una es función, generalmente, de la cantidad de fotones recibidos. Para esto, la electrónica de adquisición posee diferentes entradas para cada modo, por lo que se debe definir previamente en qué modo se va a adquirir. Se describe a continuación una breve introducción a cada uno:

- **Fotocorriente:** Utilizado cuando la tasa de arribo de fotones es alta, en el caso de la red SAVER-Net, para la detección de señales elásticas para rangos dentro de la troposfera. En este modo, la electrónica encargada de digitalizar la señal toma una muestra de tensión que emite el fotomultiplicador, guardando el número ADC en el archivo lidar. Para la red SAVER-Net, la frecuencia de adquisición es de 20 MHz, lo que representa un periodo de muestreo de 50 us y una resolución espacial del lidar de 7,5 m.  
La resolución digital es de 12 bits, lo que representa que el máximo de tensión permitido (20, 100 y 500 mV) sea dividido en 4096 ( $2^{12}$ ) divisiones.
- **Fotoconteo:** Utilizado cuando la tasa de arribo de fotones es baja, en el caso de la red SAVER-Net, para la detección de señales Raman.  
En este modo, y debido a la baja radiación detectada, la señal que se obtiene a la salida de fotomultiplicador son pulsos muy cortos, en donde la cantidad de estos pulsos es proporcional a la cantidad de fotones detectados. Por lo tanto, en este modo, la electrónica de adquisición no se encarga de tomar muestras de la tensión entregada por los fotomultiplicadores, si no que cuenta estos pulsos siempre que superen un umbral previamente definido. Este conteo es realizado dentro de una ventana temporal, la que define el ancho del *bin*, y es la misma que la que se utiliza en fotocorriente.  
No se abordará más en este tipo de adquisición, ya que las señales adquiridas de esta manera no son las ideales para el objetivo de esta nota técnica.

Es necesario remarcar que se puede utilizar el modo de fotoconteo en señales elásticas, si el arribo de fotones es bajo, como por ejemplo, en rangos distantes. De esta manera, existen técnicas de pegado de las señales lidar adquiridas en los dos modos, en donde se utiliza la señal de fotocorriente en rangos cercanos y la de fotoconteo para los rangos lejanos, logrando de esta manera extender el rango de medición.

## 10. APÉNDICE II - Hardware específico por lidar

Para un preanálisis de las señales lidar es necesario conocer bien la cantidad de canales y las características de cada uno de ellos, tal como fueron presentados en apartados anteriores. No obstante, para otro tipo de análisis, más exhaustivos, puede ser necesario conocer la configuración del sistema lidar y sus características. Para eso se presenta el *hardware* y configuración específica para cada uno de los lidars de la red SAVER-Net/Argentina.

<b>LIDAR SMN Head Quarters (Buenos Aires)</b>	
<b>Transmitter</b>	<b>Specification</b>
Laser type	Solid state Nd:YAG laser. Surelite I 30 - Continuum
Wavelength	1064 nm, 532 nm, 355nm
Pulse energy	410 mJ @ 1064nm
Repetition	30 Hz
Divergence	0.5 mrad
Pulse duration	4 - 7 ns
Expander	not used
FOV	---
Rain proof	yes
Emission	Coaxial
<b>Receiver</b>	<b>Specification</b>
Telescope	Newtonian. Diameter = 20 cm. Focal length = 1 m
Detectors	PMT 355o - Hamamatsu H10721-110 PMT 355p - Hamamatsu H10721-110 PMT 532o - Hamamatsu H10721-20 PMT 532p - Hamamatsu H10721-20 APD 1064 - LICEL APD 3.0
<b>Data acquisition</b>	<b>Specification</b>
Detection range	350 m - >13 km (approximate)
Range resolution	7,5 m
Elastic channels	355s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TUSB-0212ADM2-TURTLE ) 355p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 1064o: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL)
Raman channels	no used

<b>LIDAR BARILOCHE Airport (Río Negro)</b>	
<b>Transmitter</b>	<b>Specification</b>
Lasers type	Solid state Nd:YAG laser. Brilliant - Quantel
Wavelength	1064 nm, 532 nm, 355nm
Pulse energy	360 mJ @ 1064nm
Repetition	20 Hz
Divergence	< 0.7 mrad
Pulse duration	4 - 6 ns
Expander	not used
FOV	---
Rain proof	yes
Emission	Coaxial
<b>Receiver</b>	<b>Specification</b>
Telescope	Schmit-Cassegrain. Diameter = 20 cm. Focal length = 2 m
Detectors	PMT 355 - Hamamatsu H6780-03 PMT 532 - Hamamatsu H6780-20 APD 1064 - LICEL APD 3.0 PMT 387 - Hamamatsu H6780-03 PMT 408 - Hamamatsu H6780-03 PMT 607 - Hamamatsu H6780-20
<b>Data acquisition</b>	<b>Specification</b>
Detection range	350 m - >13 km (approximate)
Range resolution	7,5 m
Elastic channels	355o: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532o: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 1064o: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL)
Raman channels	387 - Transient recorder. 250 MHz photon counting. (TR20-AP-LICEL) 408 - Transient recorder. 250 MHz photon counting. (TR20-AP-LICEL) 607 - Transient recorder. 250 MHz photon counting. (TR20-AP-LICEL)

LIDAR Neuquen Airport (Neuquen)	
Transmitter	Specification
Lasers type	Solid state Nd:YAG laser. Surelite I 30 - Continuum
Wavelength	1064 nm, 532 nm, 355nm
Pulse energy	410 mJ @ 1064nm
Repetition	30 Hz
Divergence	0.5 mrad
Pulse duration	4 - 7 ns
Expander	not used
FOV	---
Rain proof	yes
Emission	Coaxial
-	
Receiver	Specification
Telescope	Newtonian. Diameter = 20 cm. Focal length = 1 m
Detectors	PMT 355o - Hamamatsu H10721-110 PMT 355p - Hamamatsu H10721-110 PMT 532o - Hamamatsu H10721-20 PMT 532p - Hamamatsu H10721-20 APD 1064 - LICEL APD 3.0
-	
Data acquisition	Specification
Detection range	350 m - >13 km (approximate)
Range resolution	7,5 m
Elastic channels	355s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TUSB-0212ADM2-TURTLE ) 355p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 1064o: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL)
Raman channels	no used

<b>LIDAR Río Gallegos Airport (Río Gallegos)</b>	
<b>Transmitter</b>	<b>Specification</b>
Lasers type	Solid state Nd:YAG laser. Surelite I 30 - Continuum
Wavelength	1064 nm, 532 nm, 355nm
Pulse energy	410 mJ @ 1064nm
Repetition	30 Hz
Divergence	0.5 mrad
Pulse duration	4 - 7 ns
Expander	not used
FOV	---
Rain proof	yes
Emission	Coaxial
<b>Receiver</b>	<b>Specification</b>
Telescope	Newtonian. Diameter = 20 cm. Focal length = 1 m
Detectors	PMT 355o - Hamamatsu H10721-110 PMT 355p - Hamamatsu H10721-110 PMT 532o - Hamamatsu H10721-20 PMT 532p - Hamamatsu H10721-20 APD 1064 - LICEL APD 3.0
<b>Data acquisition</b>	<b>Specification</b>
Detection range	350 m - >13 km (approximate)
Range resolution	7,5 m
Elastic channels	355s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TUSB-0212ADM2-TURTLE ) 355p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 1064o: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL)
Raman channels	no used

LIDAR Obs. Meteorológico de Tucumán (Tucumán)	
Transmitter	Specification
Laser type	Solid state Nd:YAG laser. Surelite I 30 - Continuum
Wavelength	1064 nm, 532 nm, 355nm
Pulse energy	410 mJ @ 1064nm
Repetition	30 Hz
Divergence	0.5 mrad
Pulse duration	4 - 7 ns
Expander	not used
FOV	---
Rain proof	yes
Emission	Coaxial
Receiver	Specification
Telescope	Newtonian. Diameter = 20 cm. Focal length = 1 m
Detectors	PMT 355o - Hamamatsu H10721-110 PMT 355p - Hamamatsu H10721-110 PMT 532o - Hamamatsu H10721-20 PMT 532p - Hamamatsu H10721-20 APD 1064 - LICEL APD 3.0
Data acquisition	Specification
Detection range	350 m - >13 km (approximate)
Range resolution	7,5 m
Elastic channels	355s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TUSB-0212ADM2-TURTLE ) 355p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532s: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532p: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 1064o: Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL)
Raman channels	no used

<b>LIDAR</b> <b>Obs. Meteorológico y Geofísico (Cordoba)</b>	
<b>Transmitter</b>	<b>Specification</b>
Lasers type	Solid state Nd:YAG laser. Surelite II 10 - Continuum. with SI-2000S injection seeding
Wavelength	1064 nm, 532 nm, 355nm
Pulse energy	650 mJ @ 1064nm
Repetition	10 Hz
Divergence	0.5 mrad
Pulse duration	4 - 7 ns
Expander	not used
FOV	---
Rain proof	yes
Emission	Coaxial
<b>Receiver</b>	<b>Specification</b>
Telescope	Newtonian. Diameter = 20 cm. Focal length = 1 m
Detectors	PMT 355o - Hamamatsu H10721-110 PMT 355p - Hamamatsu H10721-110 PMT 532o - Hamamatsu H10721-20 PMT 532p - Hamamatsu H10721-20 APD 1064 - LICEL APD 3.0 PMT 387 - Hamamatsu H10721-110 PMT 408 - Hamamatsu H10721-110 PMT 607 - Hamamatsu H10721-20
<b>Data acquisition</b>	<b>Specification</b>
Detection range	350 m - >13 km (approximate)
Range resolution	7,5 m
Elastic channels	355s - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 355p - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532o - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 532p - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 532HSR - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 1064 - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL)
Raman channels	387 - Transient recorder. 250 MHz photon counting. (TR20-AP-LICEL) 408 - Transient recorder. 250 MHz photon counting. (TR20-AP-LICEL) 607 - no used

<b>LIDAR CITEDEF (Villa Martelli)</b>	
<b>Transmitter</b>	<b>Specification</b>
Laser type	Solid state Nd:YAG laser. Surelite II 10 - Continuum. with SI-2000S injection seeding
Wavelength	1064 nm, 532 nm, 355nm
Pulse energy	650 mJ @ 1064nm
Repetition	10 Hz
Divergence	0.5 mrad
Pulse duration	4 - 7 ns
Expander	not used
FOV	---
Rain proof	yes
Emission	Coaxial
<b>Receiver</b>	<b>Specification</b>
Telescope	Newtonian. Diameter = 20 cm. Focal length = 1 m
Detectors	PMT 355o - Hamamatsu H10721-110 PMT 355p - Hamamatsu H10721-110 PMT 532o - Hamamatsu H10721-20 PMT 532p - Hamamatsu H10721-20 APD 1064 - LICEL APD 3.0 PMT 387 - Hamamatsu H10721-110 PMT 408 - Hamamatsu H10721-110 PMT 607 - Hamamatsu H10721-20
<b>Data acquisition</b>	<b>Specification</b>
Detection range	350 m - >13 km (approximate)
Range resolution	7,5 m
Elastic channels	355s - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 355p - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL) 532o - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 532p - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 532HSR - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-LICEL) 1064 - Transient recorder. 12 Bit, 20Ms/s. (TR20-AP-LICEL)
Raman channels	387 - Transient recorder. 250 MHz photon counting. (TR20-AP-LICEL) 408 - Transient recorder. 250 MHz photon counting. (TR20-AP-LICEL) 607 - no used

## 11. REFERENCIAS

Bucholtz, A., 1995: Rayleigh-scattering calculations for the terrestrial atmosphere. *Appl. Opt.* 34, 2765–2773.

Fernald, F.G., 1984: Analysis of atmospheric lidar observations: some comments. *Appl. Opt.* 23, 652–653

Flamant C. et al., 1997: Lidar Determination Of The Entrainment Zone Thickness At The Top Of The Unstable Marine Atmospheric Boundary Layer. *Boundary-Layer Meteorology* 83, 247–284, Kluwer Academic Publishers.

Freudenthaler V., 2009: Lidar Rayleigh-fit criteria. EARLINET-ASOS 7th Workshop.

Hopper W. et al., 1986: Lidar Measurements of Wind in the Planetary Boundary Layer: The Method, Accuracy and Results from Joint Measurements with Radiosonde and Kyttoon, *Journal of climate and applied meteorology*, vol. 25, 990-1001.

[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1986\)025<0990:LMOWIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1986)025<0990:LMOWIT>2.0.CO;2)

Klett, J.D., 1985: Lidar inversion with variable backscatter/extinction ratios. *Appl. Opt.* 24, 1638–1643.

Kovalev V., Eichinger W., 2004: *Elastic Lidar. Theory, Practice, and Analysis Methods*, John Wiley & Sons, Inc.. <https://doi.org/10.1002/0471643173>.

Massimo Del G. et al., 1993: One Year of Cloud Lidar Data From Dumont d'Urville (Antarctica). General Overview of Geometrical and Optical Properties," *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 98. <https://doi.org/10.1029/93JD01476>

Matthias V. et al., 2004: Vertical aerosol distribution over Europe: Statistical analysis of Raman lidar data from 10 European Aerosol Research Lidar Network (EARLINET) stations. *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, D18201. <https://doi.org/10.1029/2004JD004638>

Melfi, S. H. et al., 1985: Lidar Observations of Vertically Organized Convection in the Planetary Boundary Layer over the Ocean, *Appl. Meteor.*, 24, 806–821. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1985\)024<0806:LOOVOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1985)024<0806:LOOVOC>2.0.CO;2)

Pallotta J. V et al., 2017: Method to Detect Molecular Ranges in Elastic Lidar Signal. *Opt. Pura Apl.* 50 (3) 267-278. DOI: 10.7149/OPA.50.3.49015

Papandrea S., 2020: Red SAVERNET. Descripción general, instrumental involucrado y productos generados. Nota Técnica SMN 2020-70

Piironen A. K. et al., 1995: Convective boundary layers mean depths and cloud geometrical properties obtained from volume imaging lidar data. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 100, 569-576. <https://doi.org/10.1029/94JD02604>

Sasano, Y., Nakane, H, 1984.: Significance of the extinction/backscatter ratio and the boundary value term in the solution for the two-component lidar equation. *Appl. Opt.* 23, 1–13.

Shiv R. et al., 1992: Automated method for lidar determination of cloud-base height and vertical extent, Appl. Opt., Vol. 31, 10.

Weitkamp C., 2006: Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere (Vol. 102). Springer Science & Business.

## Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía ([rdelia@smn.gov.ar](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martín Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto:mrugna@smn.gov.ar)) de la Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo ([macevedo@smn.gov.ar](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).