

Práctica: Análisis de datos del radar de nubes para distintas situaciones atmosféricas

Calzada Chávez, Alberto Valverde Amor, Ángela Lucía

Diciembre 2021

Índice

1	Introducción	3
2	Ejercicios	3
2.1	Ejercicio 1: Condiciones del cielo y estructuras observadas	3
2.1.1	Día 12 de septiembre	3
2.1.2	Día 30 de septiembre	6
2.1.3	Día 22 de octubre	6
2.2	Ejercicio 2: Perfil de Z promedio sobre la base de un cirro	7
2.3	Ejercicio 3: Variación temporal del perfil de Z un día de lluvia	7
2.4	Ejercicio 4: Localización de plancton atmosférico	7
2.5	Ejercicio 5: Localización de errores en la detección del tope de la nube	8
	Referencias	9

1 Introducción

En esta práctica vamos a trabajar con tres magnitudes físicas, relacionadas entre sí, para realizar un estudio de la situación atmosférica en la ciudad de Granada los días 12 y 30 de septiembre y 30 de octubre de 2019. Las magnitudes en cuestión son el factor de reflectividad equivalente, Z , la velocidad Doppler media, V , y la razón de despolarización lineal, LDR .

El factor de reflectividad equivalente se relaciona con el diámetro de las partículas, D_i , y con la concentración de éstas, N_i de la forma siguiente:

$$Z = \sum_i N_i D_i^6. \quad (1.1)$$

Por su parte, la velocidad Doppler media se puede obtener a partir de las velocidades medidas con un hidrometeoro y su expresión es:

$$V = \frac{1}{Z} \int_{v_{min}}^{v_{max}} v S(v) dv, \quad (1.2)$$

donde $S(v)$ es la potencia espectral medida para cada velocidad. Por último tenemos la razón de despolarización lineal, cuya expresión es:

$$LDR = \frac{Z_{cross}}{Z_{co}}, \quad (1.3)$$

donde Z_{cross} y Z_{co} son las reflectividades medidas en las direcciones perpendicular y de incidencia, respectivamente.

El objetivo de esta práctica es el de familiarizarnos con estas magnitudes físicas, entendiendo su significado, y ser capaces de utilizarlas para describir la situación atmosférica durante el periodo de tiempo que nos interese.

2 Ejercicios

Pasamos ahora a resolver los ejercicios propuestos en el guión de la práctica.

Fuegi y Francis [2003](#)

2.1 Ejercicio 1: Condiciones del cielo y estructuras observadas

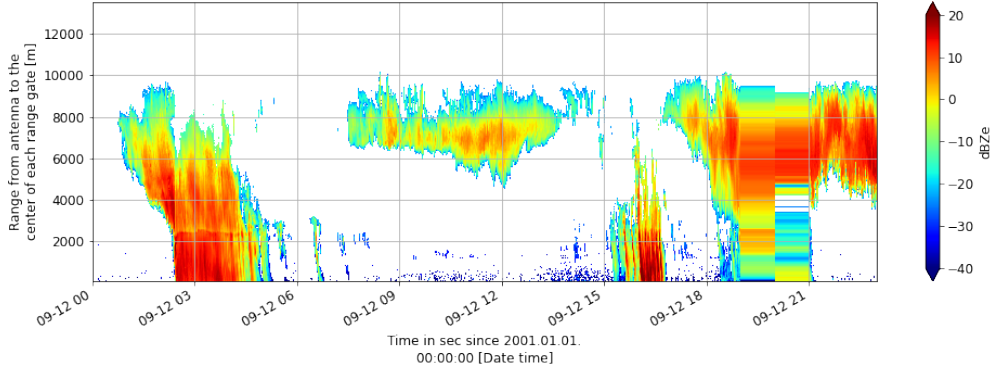
En este primer ejercicio vamos a describir las condiciones de cielo de cada uno de los días y las distintas estructuras que se observen.

2.1.1 Día 12 de septiembre

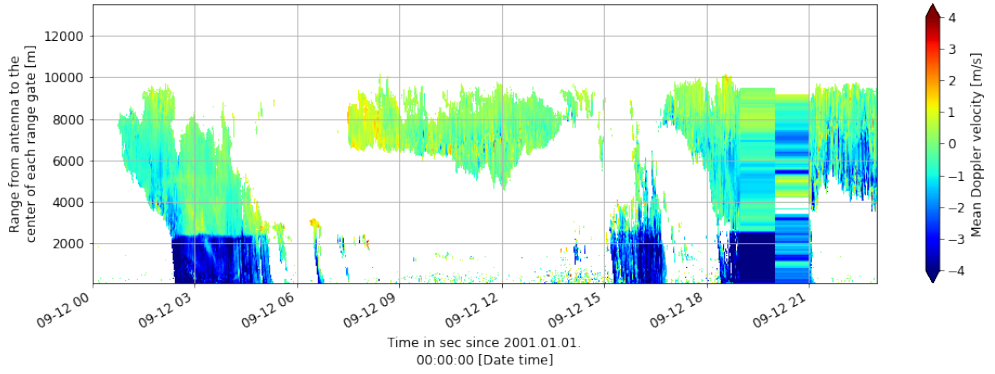
Comenzamos explorando la situación atmosférica el 12 de septiembre de 2019. En la figura Fig. 1 hemos representado las tres magnitudes de interés (factor de reflectividad, velocidad Doppler media y razón de despolarización) a lo largo de todo el día.

Como podemos observar, la situación atmosférica este día es bastante compleja, presentando distintas estructuras a lo largo del día. La primera de estas estructuras la localizamos en la Fig. 1a al comienzo del día, desde la 01:30 hasta las 05:00h aproximadamente. Como vemos tiene un desarrollo vertical importante, que va desde superficie hasta unos 9000m a las 02:00h de la mañana. El valor de Z en esta estructura es muy grande, de aproximadamente

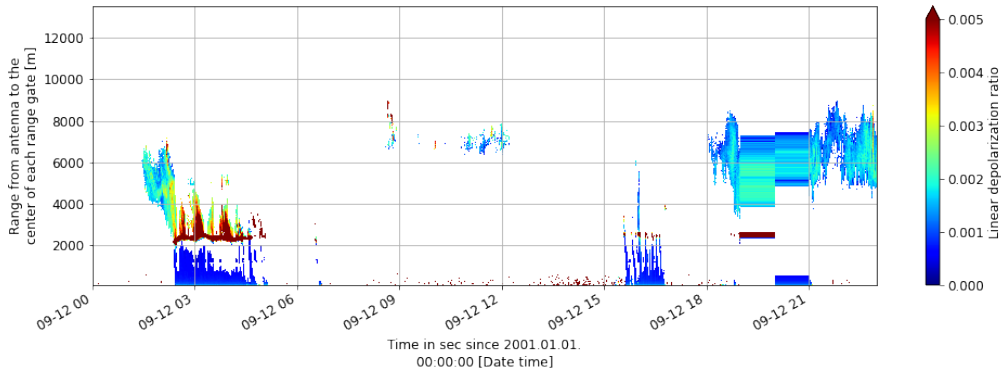
20dbZe en superficie y alrededor de 10dbZe a 4000m de altura. Esto significa, si recordamos la Ec. (1.1), que el producto de las concentraciones de los distintos tipos de partículas por sus diámetros asociados es muy significativo. En general, cuando el valor de Z es tan grande es porque el diámetro de las partículas lo es. Esto se debe a que el exponente del factor D_i es 6, mientras que el de N_i es simplemente 1. Así, tenemos que en esta estructura las partículas son probablemente gotas de agua o hielo.



(a) Factor de reflectividad equivalente.



(b) Velocidad Doppler media.



(c) Razón de despolarización equivalente.

Figura 1: Datos para el día 12 de septiembre de 2019 en el periodo 0 a 24h.

Por supuesto, esta hipótesis necesita ser contrastada. Para ello observamos ahora la Fig. 1b y nos centramos de nuevo en esta estructura. En esta figura, donde hemos representado la velocidad Doppler media, vemos que a una altura aproximada de 2500m hay un cambio brusco de la velocidad. Las partículas que están por debajo de esta altura se mueven rápidamente y hacia abajo (a unos 3 ó 4m/s), mientras que las que están por encima se mueven más lentamente (a 1m/s aprox.) y tanto hacia arriba como hacia abajo. Esto indica de forma clara

que a esta altura (unos 2500m) se encuentra la base de una nube. Por tanto, las partículas que están por debajo y caen son lluvia y las que están por encima son las que forman la nube.

Otro hecho que nos confirma que a unos 2500m tenemos la base de una nube de tormenta lo encontramos en la Fig. 1c. Tal y como podemos ver, a la altura indicada el valor de la razón de despolarización lineal es bastante alto; en concreto, de unos 0.005. Vimos en la Ec. (1.3) que esta magnitud indicaba la fracción entre la componente perpendicular de la polarización y la de incidencia. De esta forma, un valor alto significa que la componente perpendicular es significativa. Y esto ocurre cuando la señal emitida por el radar se refleja en partículas que no son esféricas. Identificamos estas partículas como cristales de hielo que comienzan a derretirse para precipitar como gotas de lluvia. Puesto que aún no se han derretido completamente conservan su forma no esférica, lo que hace que reflejen parte de la radiación del radar con una polarización distinta a la de incidencia. A la capa atmosférica en la que se produce este fenómeno se le conoce como «melting layer».

Todo esto nos indica que la estructura que estamos estudiando se trata de una **tormenta**.

La segunda estructura que podemos observar este día la localizamos, en la Fig. 1a, en el periodo de 07:30 a 14:00h y entre los 5000 y los 10000m de altura. Los valores de Z en esta estructura se encuentran entre los -15 y los 5 ó 10dbZe. Como podemos comprobar, el factor de reflectividad equivalente es ahora más suave que en la tormenta. En la Fig. 1b vemos que las partículas de esta estructura se mueven con una velocidad cercana a 1m/s y lo hacen tanto hacia arriba como hacia abajo, lo que indica que su movimiento es convectivo. En este caso no tenemos ningún problema para identificar el tipo de estructura, que se trata de una **nube**. La base de ésta se encuentra ligeramente por encima de los 6000m en un inicio (sobre las 07:00h) y desciende poco a poco a lo largo del tiempo hasta llegar a un mínimo de 5000m a las 12:00h. Después comienza a subir de nuevo. En la Fig. 1c vemos que tan solo en algunos puntos por encima de los 8000m de altura y poco antes de las 09:00h la razón de despolarización equivalente tiene valores relativamente altos. Esto quiere decir que, a excepción de estos pocos puntos, la nube estará compuesta principalmente por gotas de agua y no por cristales de hielo. Es por ello que pensamos que esta estructura podría tratarse de un **altocumulus**.

La tercera estructura que podemos localizar en los datos de este día la podemos observar en el periodo de 15:00 a 17:00h en la Fig. 1a. El valor de Z es muy alto en superficie y hasta una altura aproximada de 2500m. A partir de esta altura y hacia arriba el valor decrece de forma suave, dejando de tener datos válidos a los 4000m aproximadamente. De nuevo, podemos distinguir la altura de la base de la nube utilizando la velocidad Doppler media de las partículas, Fig. 1b. Al igual que ocurría con la primera estructura, por debajo de los 2500m de altura detectamos partículas que caen a unos 3 ó 4m/s y corresponden a lluvia. Además, en la Fig. 1c vemos de nuevo que la LDR es alta en esta capa. Si consideramos que está lloviendo, por ser ésta la única explicación plausible ante los datos tomados por el radar por debajo de los 2500m, deberíamos observar una nube por encima de los 2500m. Sin embargo no observamos esto. Por encima de esta altura observamos un par de columnas para las que sí tenemos datos, pero en general, y como dijimos antes, no tenemos datos válidos por encima de los 4000m. ¿Qué está ocurriendo entonces? ¿Hay una nube o no la hay? Veremos la explicación de lo que sucede en la Subsec. 2.5, cuando hablemos sobre la estimación del tope de la nube.

La última de las estructuras presentes este día en el cielo de Granada tuvo lugar desde aproximadamente las 17:00 hasta las 24:00h, tal y como podemos ver en la Fig. 1a. Sin embargo, no todos los datos que observamos en este periodo son realmente válidos. Podemos ver que a eso de las 19:00h y hasta las 21:00h los datos aparecen como dos columnas que, aparentemente, indican que la situación atmosférica fue completamente constante durante una hora (de 19:00 a 20:00h), cambia instantáneamente y vuelve a ser constante durante otra hora (de

20:0 a 21:00h). Esto, evidentemente, no es físicamente posible. Lo que ocurre en este intervalo de tiempo es que, por alguna razón, no tenemos suficientes datos y probablemente en el postprocesado de los datos estamos asignando a todo el periodo de una hora los datos de un instante particular de ese intervalo. Así, la situación parece que es constante cuando no lo es. Después, cuando volvemos a tener datos para otro instante, se repite la situación.

A partir de las 21:00h parece que los datos tomados vuelven a tener la resolución temporal adecuada. Podemos ver que desde ese momento y hasta final del día, encontramos una capa espesa de nubes entre los 4000 y los 9000m. El factor de reflectividad es bastante alto (Fig. 1a), con valores que rondan los 15dbZe. Lo que indica la presencia de las partículas que forman la nube. Además, en esta estructura observamos algo que no habíamos visto en las anteriores. Si fijamos nuestra atención en la Fig. 1b, vemos que, en la mitad inferior de la nube (desde los 5000 a los 10000m, aprox.), hay instantes para los que las partículas caen a razón de unos 3m/s y otros instantes para los que ascienden a unos 2m/s, alternándose. La explicación que encontramos a este fenómeno es que en ese rango de alturas las gotas de agua precipitan en forma de lluvia pero antes de llegar a la superficie vuelven a evaporarse y suben de nuevo. Por otro lado, en la Fig. 1c vemos que la LDR es pequeña pero no despreciable, lo que podría indicar que la nube está formada en cierta medida por cristales de hielo.

Con todo lo visto, pensamos que esta estructura corresponde a un **altostratus**.

2.1.2 Día 30 de septiembre

Pasamos ahora a describir la situación del día 30 de septiembre de 2019.

Tal y como podemos ver en la Fig. 2, este día el cielo se encuentra bastante despejado. La única presencia de nubes a lo largo del día la encontramos a partir de las 12 del mediodía y hasta las 18:00h. En un inicio las nubes tienen una altura de unos 500m y se encuentran muy dispersas. Hacia las 16:00h es cuando la nube comienza a ser algo más gruesa, al descender la base de la nube desde los 8000m a esta hora hasta los 7000m a las 18:00h. El factor de reflectividad equivalente se encuentra en el rango -25 a 0dbZe, lo que indica que, probablemente, la nube está formada por gotas de agua. Si observamos la Fig. 2c, vemos que no tenemos datos que puedan distinguirse del ruido para el intervalo temporal y el rango de alturas donde se encuentra la nube. Esto confirma que ésta está formada por gotas de agua.

—¿INSERTAR TIPO DE NUBE AQUÍ!!!

Algo que sí podemos ver en las tres magnitudes representadas en la Fig. 2 es una especie de «ruido» justo sobre la superficie y a lo largo de todo el día, aunque con especial relevancia durante las horas de luz. Este «ruido» no es realmente ruido, sino que es lo que conocemos como Plancton atmosférico o Aeroplancton. El plancton atmosférico está compuesto por partículas de origen biológico, como polen e insectos, y su presencia es especialmente importante durante el verano.

2.1.3 Día 22 de octubre

Veamos, para acabar el ejercicio, la situación el día 22 de octubre de 2019. Hemos representado las tres magnitudes de interés para este día en la Fig. 3. Vemos que la situación este día es bastante compleja, con multitud de estructuras que se van presentando a lo largo del día. Puesto que al analizar el día 12 de septiembre ya hemos explicado con detalle el porqué de cada uno de los fenómenos observados en los datos, trataremos ahora de ser más breves en

nuestras explicaciones.

La primera estructura que podemos observar este día la localizamos en la Fig. 3a en el periodo de 00:00 a 06:15h. Como vemos, se trata de una estructura con un espesor bastante grande, de unos 3000m de altura. No existe ninguna dificultad para identificar esta estructura como una nube. Su base se encuentra en un principio a unos 5000m de altura, pero desciende de forma suave hasta los 3000m aproximadamente a las 05:30h. Y se mantiene en el rango 3000 a 4200m hasta las 06:15h. Por su parte, con el tope de la nube ocurre algo parecido. Inicialmente (a las 00:00h) el tope de la nube se sitúa a unos 10000m de altura, descendiendo de forma suave a lo largo de la madrugada hasta alcanzar los 8000m a las 06:00h. El factor de reflectividad es bastante alto (de unos 15dbZe) en la mitad inferior de la nube. Si observamos esta misma zona en la Fig. 3b, podemos ver que la velocidad de las partículas en esta región es de unos 2 ó 3m/s hacia abajo. Esto quiere decir que en la parte inferior de la nube se forman gotas de lluvia que comienzan a caer. Puesto que no se observa que lleguen a superficie, suponemos que a medida que caen se evaporan y vuelven a formar parte de la nube. Otro indicio de que está ocurriendo una pequeña llovizna en la capa baja de esta nube es que en la Fig. 3c observamos señal en este rango de alturas y periodo temporal. Esto quiere decir, de nuevo, que probablemente hay cristales de hielo recubiertos de agua reflejando la señal del radar. Así sabemos que las partículas de hielo se están derritiendo, lo que concuerda con la hipótesis de que existe precipitación leve (aunque esta no llegue a la superficie).

Con todo, pensamos que esta estructura la podríamos clasificar como un **altostratus**.

El siguiente gran evento sucede la segunda mitad del día (Fig. 3). Hacia las 12:00h comienza a situarse sobre el radar una nube. Esta alcanza un espesor de 4km alrededor de las 13:30h, situándose la base de la nube algo por debajo de los 4000m. Aparentemente la nube desaparece a partir de las 14:30h. Tal y como podemos ver en la Fig. 3a, los valores de Z en esta estructura se encuentran en el rango -25 a 0dBZe, por lo que es probable que esté formada por gotas de agua. Si comparamos esta región de la imagen con la misma de la Fig. 3c podemos ver que no tenemos datos que superen el umbral de ruido, por lo que la señal debía ser prácticamente nula y, por tanto, confirmamos que corresponde a una nube de agua.

A partir de las 15:00 y hasta las 22:00h, podemos observar en la Fig. 3b que tenemos lluvias intensas. Ya vimos que esto lo podíamos deducir al comprobar que las partículas inmediatamente sobre superficie se mueven a gran velocidad hacia abajo, el factor de reflectividad equivalente es alto por debajo de la base de la nube (Fig. 3a) y aparece la melting layer justo por debajo de la base de la nube (Fig. 3c). Al igual que ocurría el día 12 de septiembre, parece que en el intervalo de 15:00 a 17:30h no hay ninguna nube a pesar de la lluvia tan intensa que registramos con el radar. De nuevo, esto lo explicaremos en la Subsec. 2.5.

2.2 Ejercicio 2: Perfil de Z promedio sobre la base de un cirro

2.3 Ejercicio 3: Variación temporal del perfil de Z un día de lluvia

2.4 Ejercicio 4: Localización de plancton atmosférico

En este ejercicio vamos a tratar de localizar los periodos y zonas de los tres días con los que trabajamos en los que podemos observar plancton atmosférico. El plancton atmosférico, como dijimos en la Subsubsec. 2.1.2, no es más que una «nube» formada por insectos y partículas de origen biológico, en especial polen, los cuales se encuentran suspendidos/as en el aire de la capa más baja de la Troposfera.

Para localizar el plancton, vamos a observar las Figs. 1a, 2a y 3a. Puesto que decimos que

el plancton está formado en parte por partículas de polen, que tienen menor tamaño que las gotas de agua, y por otras partículas o insectos capaces de suspenderse en el aire, esperamos que la intensidad de Z donde haya plancton sea baja, Ec. (1.1).

Así, podemos ver que el día 12 de septiembre (Fig. 1a) tenemos dos intervalos de tiempo en los que parece haber plancton. El primero de ellos sería el comprendido entre las 09:00 y las 12:00h y el segundo entre las 13:00 y las 15:00h. En ambos casos el plancton se encuentra localizado entre la superficie y los 700m aproximadamente.

El día 30 de septiembre, día completamente despejado, podemos observar (Fig. 2a) el plancton con mayor facilidad. A lo largo de todo el día y, en especial, entre las 09:00 y las 21:00h, observamos una señal tenue para Z entre la superficie y los 500m de altura. Identificamos esta señal con plancton atmosférico.

Por último, vemos que el plancton el día 22 de octubre (Fig. 3a) se localiza principalmente en el intervalo de 10:30 a 11:00h, de nuevo desde superficie hasta unos 400m. También es posible observar, aunque de forma muy dispersa, algo de plancton durante la madrugada de este día.

2.5 Ejercicio 5: Localización de errores en la detección del tope de la nube

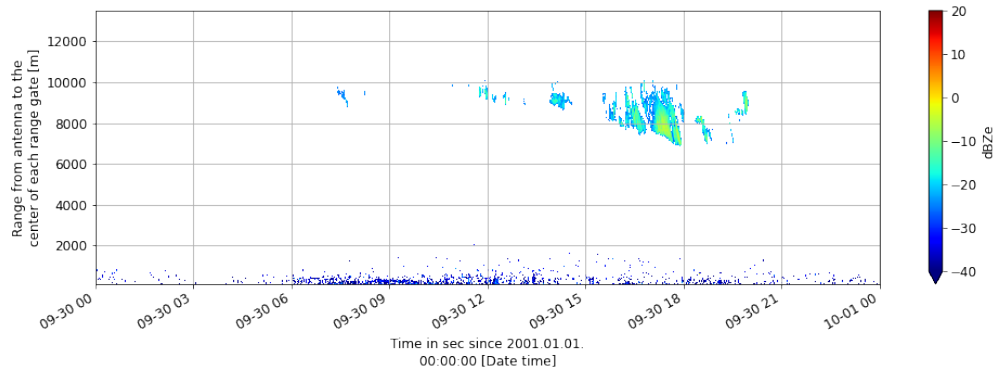
La detección del tope de la nube no será fiable bajo condiciones de lluvia intensa. Esto se puede explicar fácilmente si recordamos, aunque sea de forma esquemática, cómo funciona el radar. Como decimos, en su forma más básica el radar de nubes es un instrumento que emite un pulso de señal y la recoge tras reflejarse en las partículas que se encuentran en suspensión. Puesto que es de nubes lo calibraremos (longitud de onda, tamaño del pulso, etc.) para detectar partículas del tamaño de las gotas de agua y cristales de hielo que forman las nubes. Para que el radar detecte correctamente el tope de la nube, la señal debe ser capaz de atravesar las distintas capas (lluvia, melting layer o la propia nube) que separan el radar situado en superficie de la capa superior de la nube. Pero no sólo eso, sino que además debe reflejarse y volver hasta el radar con la intensidad suficiente como para distinguirse del ruido inherente a todos los tipos de medidas.

Siendo esta la situación (y no porque Juan Antonio nos lo explicase...), es fácil que nos imaginemos lo que ocurre un día de lluvia intensa. Para ello nos vamos a apoyar en la Fig. 4, donde hemos representado los datos tomados de Z el día 12 de septiembre entre las 15:00 y las 17:00h y que ya identificamos en la Subsubsec. 2.1.1. Como podemos apreciar en la figura y ya explicamos, la señal detectada en el tramo de alturas que va desde la superficie hasta unos 2500m corresponde a lluvia. Por encima de esta primera capa de lluvia, tenemos datos hasta una altura aproximada de entre 4000 y 6000m pero de forma discontinua. Lo que esperaríamos en una situación como esta, si no conociésemos las limitaciones del radar, sería una gran masa nubosa por encima de los 2500 metros durante todo el tiempo que está lloviendo. Sin embargo, la señal es incapaz de atravesar por segunda vez la capa de lluvia debido a que la gran concentración de gotas de agua hace que la señal se disperse una y otra vez en todas direcciones.

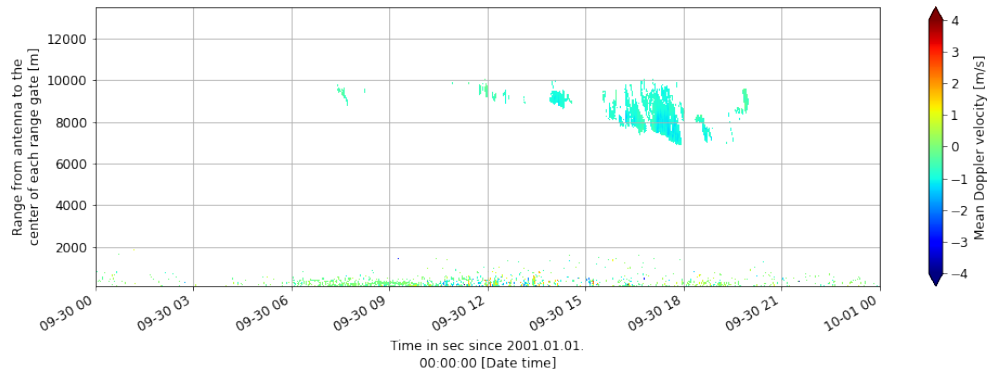
Esto mismo lo podemos observar, también, el día 22 de octubre entre las 15:00 y las 17:00h (Fig. 3b).

Referencias

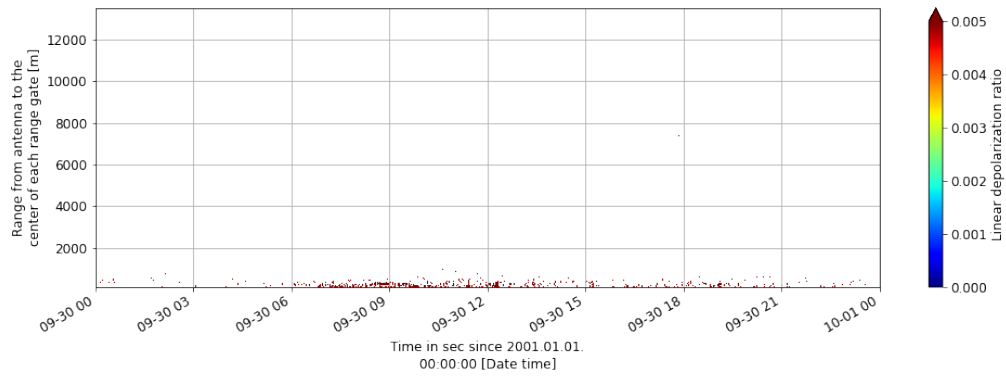
Fuegi, J. y J. Francis (2003). «Lovelace amp; Babbage and the creation of the 1843 'notes'». En: *IEEE Annals of the History of Computing* 25.4, págs. 16-26. DOI: [10.1109/MAHC.2003.1253887](https://doi.org/10.1109/MAHC.2003.1253887).



(a) Factor de reflectividad equivalente.

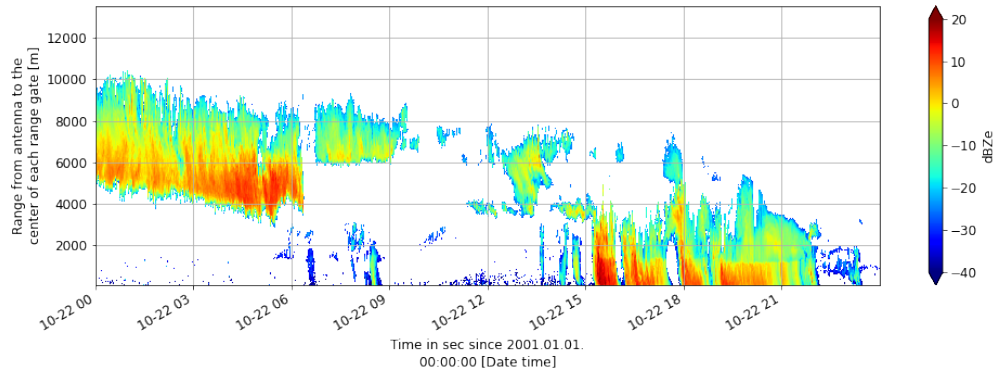


(b) Velocidad Doppler media.

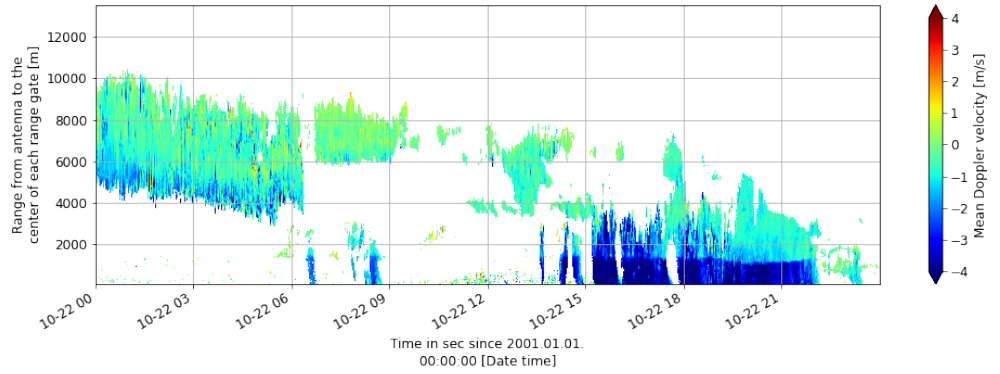


(c) Razón de despolarización equivalente.

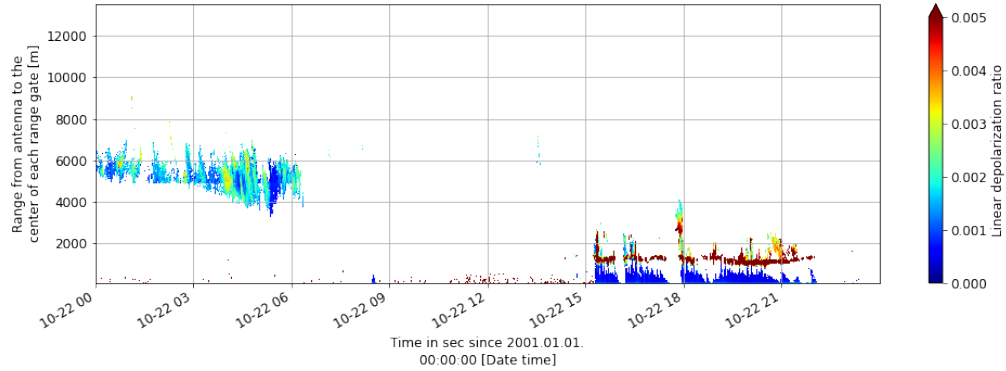
Figura 2: Datos para el día 30 de septiembre de 2019 en el periodo 0 a 24h.



(a) Factor de reflectividad equivalente.



(b) Velocidad Doppler media.



(c) Razón de despolarización equivalente.

Figura 3: Datos para el día 22 de octubre de 2019 en el periodo 0 a 24h.

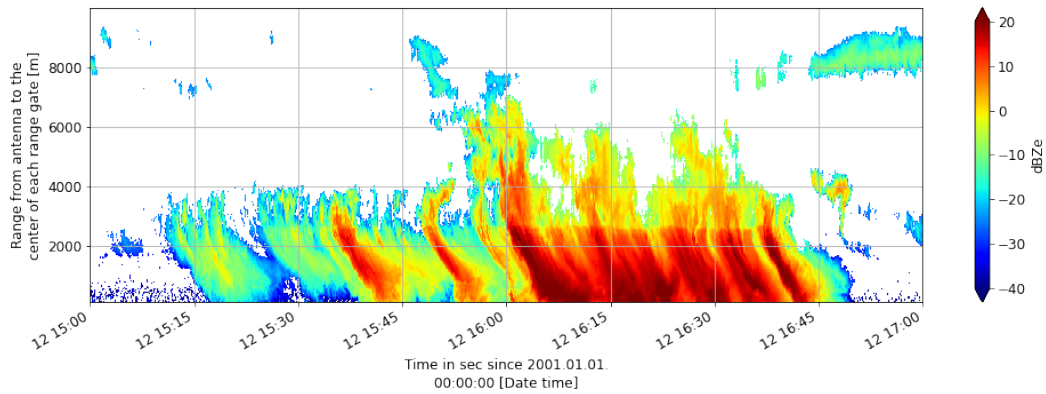


Figura 4: Factor de reflectividad equivalente el día 12 de septiembre de 2019 entre las 15:00 y las 17:00h.