



Agencia Estatal de Meteorología

PIB-M. FASE PRESENCIAL. 2022
TELEDETECCIÓN PRÁCTICA
RAYOS

INTRODUCCIÓN AL USO DE DESCARGAS ELÉCTRICAS

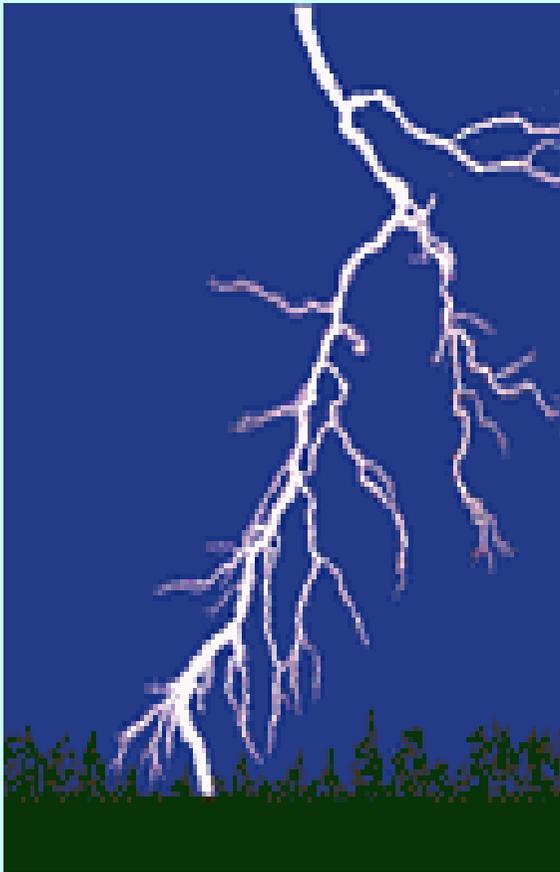
Jesús Riesco Martín.
jriescom@aemet.es

CONCEPTOS PRELIMINARES: Tormentas y Rayos

TORMENTAS (Algunos aspectos básicos)

- Hay varios **tipos de tormentas** dependiendo de su grado de organización y severidad
- La **intensidad de las tormentas** no se mide por el número de rayos sino por la **intensidad de las corrientes verticales**.
- Hay situaciones en que puede haber muchos rayos y poca precipitación (**tormentas secas**) y al contrario (**lluvias cálidas**)
- **No hay teorías completas y fiables** sobre la repartición de rayos **para cada tipo de patrón convectivo**.

Un rayo es una descarga eléctrica originada por regiones de cargas positivas o negativas en una tormenta.



▪ Un rayo:

Consta de varias descargas (strokes). La media es de 3 ó 4.

▪ La duración de cada descarga:

Se encuentra aproximadamente en torno a los 30 microsegundos.

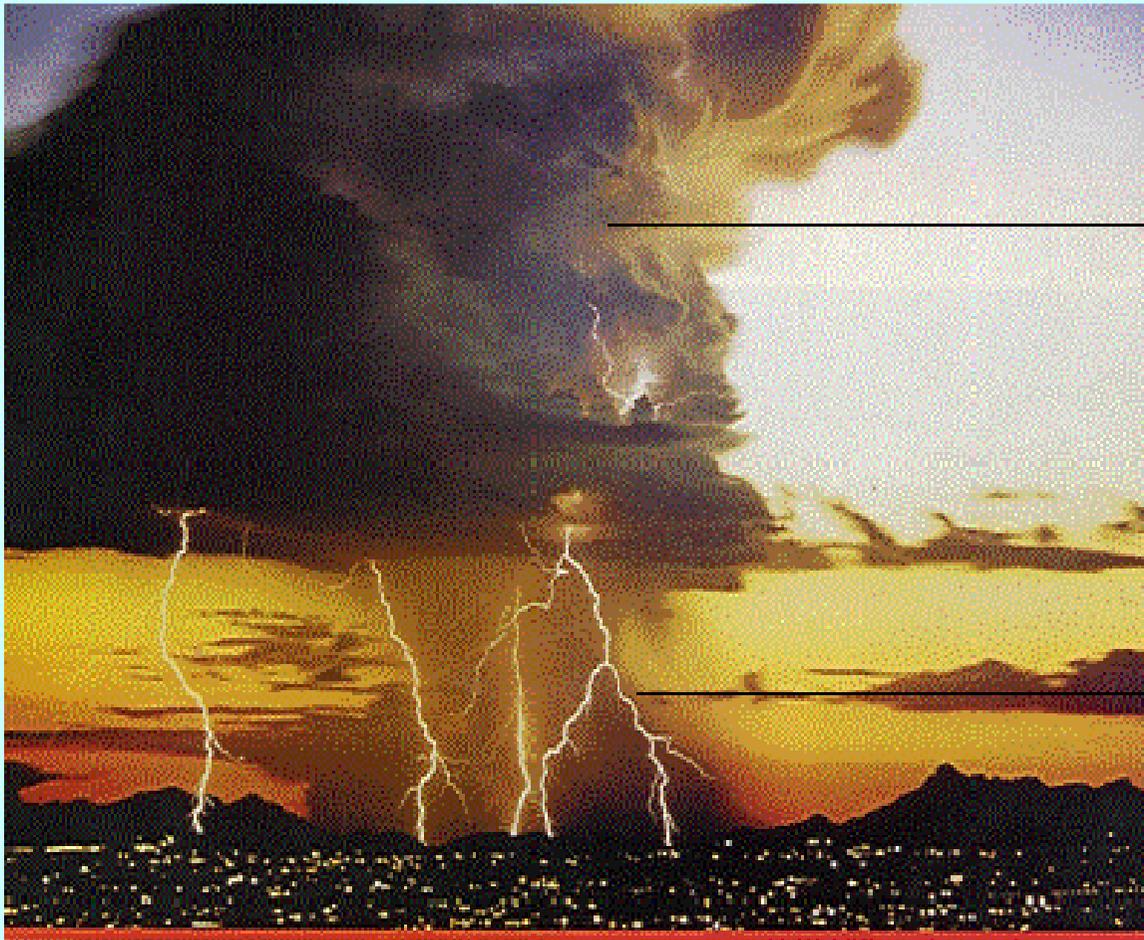
(La potencia media de cada descarga es de 10^{12} watts.)

EL RAYO (Definición)

El rayo es una **enorme chispa o corriente eléctrica que circula dentro de una misma nube, entre dos nubes o entre una nube y la tierra.**

El rayo puede cruzar kilómetros de distancia y se origina en un tipo de nube llamado *cumulunimbo* o nube de tormenta (los cumulonimbus son nubes de crecimiento vertical a menudo superan los 10 km de altura y se caracterizan por generar lluvias).

Es frecuente encontrar fuertes corrientes de aire, turbulencia, regiones con temperaturas muy inferiores a la de congelación, cristales de hielo y granizos dentro de este tipo de nube



Cumulunimbu

Rayo

Imagen 1. Producción de una descarga eléctrica
Fuente: Guía de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera
(NOAA), Enero, 1994.

El rayo es uno de los espectáculos más peligrosos de la atmósfera y **tiene una vida de pocos segundos.**

Siempre se presenta brillante, resplandeciente, pero casi nunca sigue una línea recta para llegar al suelo, quedando en ciertas ocasiones momentáneamente suspendido en el aire en forma de las raíces de un árbol.

El rayo representa una descarga eléctrica.

El **relámpago** es la manifestación luminosa del rayo.

El **trueno** es el ruido asociado a la caída de un rayo. El motivo del ruido es el siguiente: el canal de descarga es un conductor gaseoso de un diámetro del orden de los 10 cm. Al recorrer el canal un gran pulso de corriente, se produce un calentamiento casi instantáneo del aire contenido (hasta 25.000°C).

Como consecuencia de este calentamiento rápido, el aire se expande localmente con una velocidad mayor que la del sonido, produciéndose una onda similar a la de una explosión.

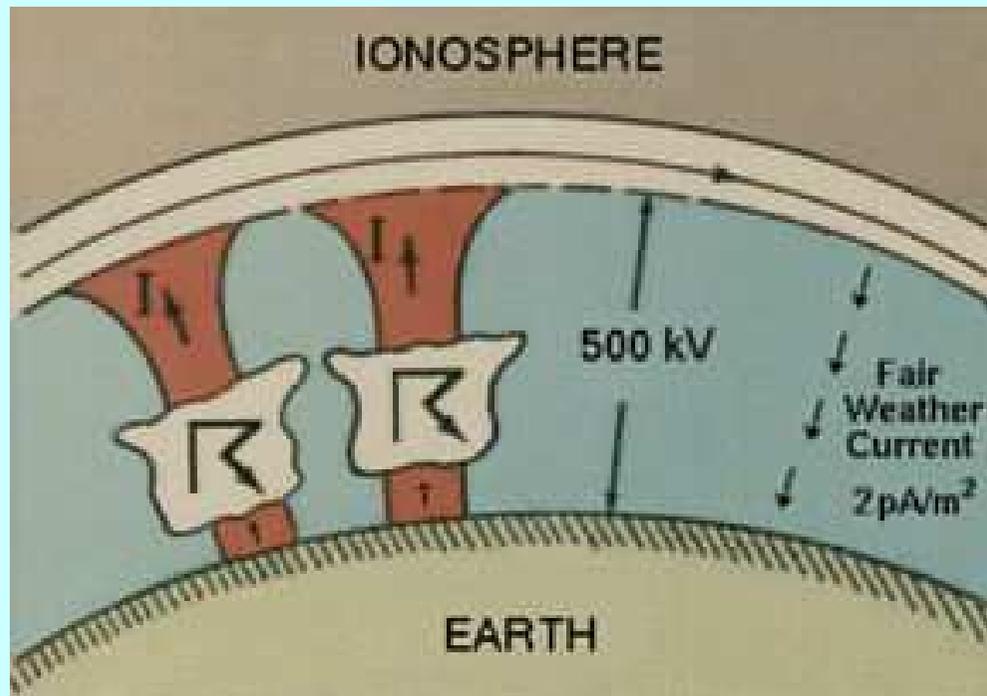
ELECTRICIDAD ATMOSFÉRICA:

Formación de cargas.
La Chispa eléctrica: El rayo

El circuito eléctrico global

Durante el buen tiempo, hay una diferencia de potencial de unos 200.000 a 500.000 Voltios entre la superficie terrestre y la ionosfera, estableciéndose una corriente de buen tiempo de 2×10^{-12} A/m².

Se cree que esta diferencia de potencial se mantiene gracias a la distribución de tormentas existentes en el mundo en cada momento



Condensador
Telúrico

Campo eléctrico de buen tiempo



Alta troposfera

Superficie

Medidas hechas recientemente, indican que la intensidad de la corriente que llega a la estratosfera durante una tormenta típica es de 1 Amperio.

Luego, para mantener la corriente eléctrica de buen tiempo hacia la superficie terrestre, necesitaremos entre 2000 y 3000 tormentas activas simultáneamente.

Por ello, las tormentas son responsables de mantener una diferencia de potencial entre la ionosfera y la superficie terrestre y de la corriente eléctrica de buen tiempo. Los detalles no son completamente entendidos.

Formación de Cargas

Mientras los hidrometeoros crecen en las zonas nubosas, crecen e interactúan, algunos quedan cargados eléctricamente posible debido a las colisiones. Se piensa que las partículas más pequeñas tienden a adquirir carga positiva, mientras que las más grandes se cargan negativamente.

Estas partículas tienden a separarse debido a fuerzas ascensionales y a la gravedad hasta que:

La zona superior de la nube adquiere carga neta positiva y la baja se carga negativamente.

Separación de Cargas



Esta separación de cargas produce enormes diferencias de potencial entre:

- ✓ *zonas dentro de una misma nube,*
- ✓ *entre nubes*
- ✓ *entre nube y tierra*

Esta diferencia de potencial puede superar cantidades de millones de Voltios.

Cuando se supera un valor "disruptivo" se supera la "resistencia eléctrica del aire" y surge la descarga eléctrica (RAYO)

TIPOS DE DESCARGAS

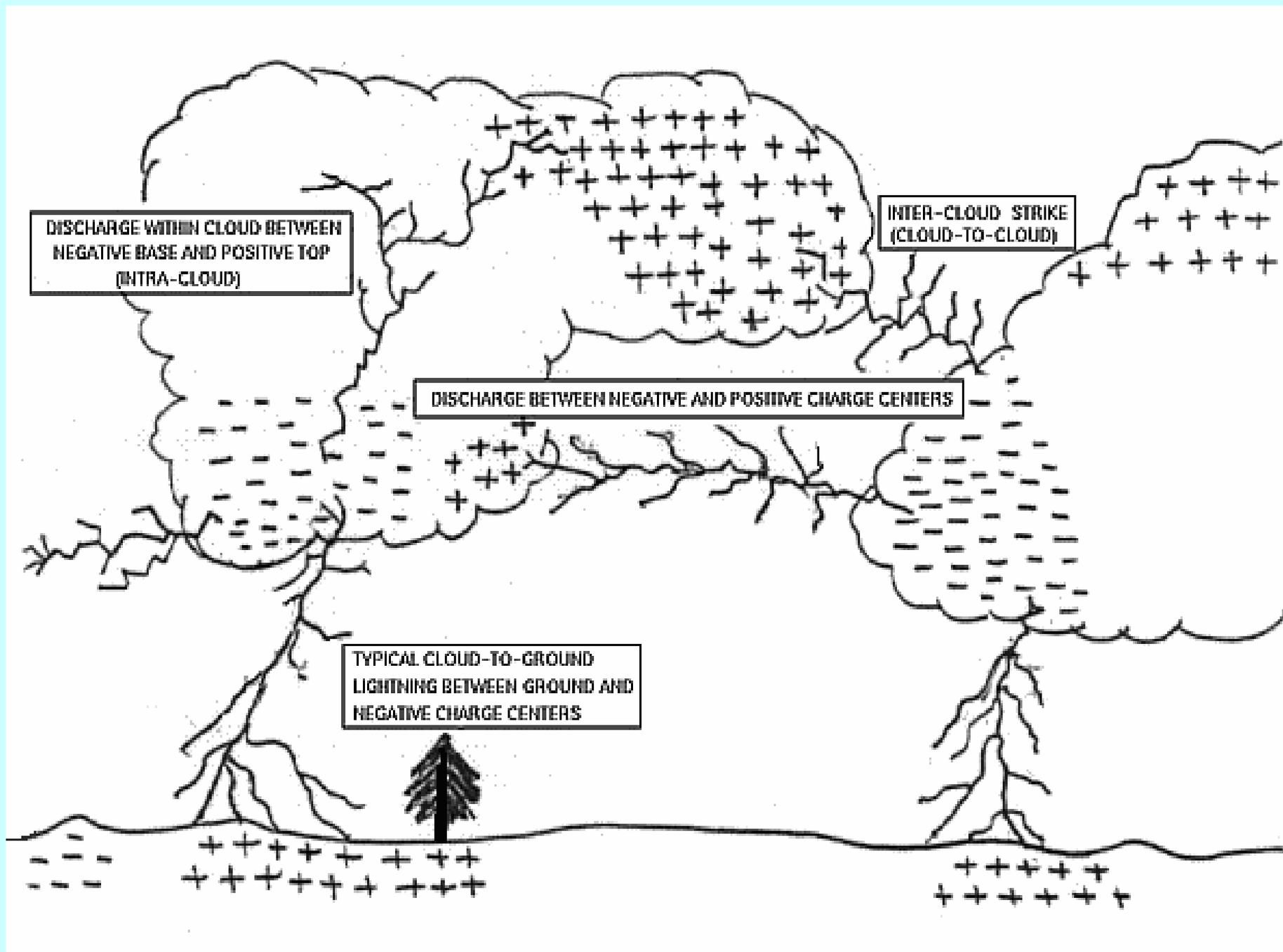
Tipos de descargas eléctricas

➤ Tipos comunes

- ✓ Nube-tierra (NT)
- ✓ Intra-nube y
- ✓ Entre Nubes (NN)

➤ Otros tipos:

- ✓ Rayos en bola, fuego de San Telmo, auroras boreales, etc.



Descargas Nube-Tierra

Es la manifestación más dañina y peligrosa.



La mayoría de las descargas son originadas por las cargas negativas que se acumulan en una zona cercana a la parte baja de las nubes convectivas y parten hacia tierra.

Sin embargo, hay una minoría de descargas que transportan cargas positivas desde la nube hacia tierra. Estas descargas ocurren frecuentemente durante la fase de disipación de una tormenta.

TIPOS DE DESCARGAS NUBE-TIERRA (NT)

La parte baja de la nube tormentosa presenta normalmente carga negativa. Y la zona superior, positiva.

La descarga desde la zona de carga negativa de la nube, transporta carga negativa a tierra. Esto es lo que se llama descarga negativa.

(NT-)

La descarga desde una zona positiva de la nube se llama descarga positiva (NT+)

Descargas NUBE-TIERRA (NT)

Hay muchas más descargas Nube-Nube (entre nubes o intra-nube) que Nube-Tierra

El cociente entre ambas (NN/NT) es aprox. 3

Las descargas NT pueden ser:

- Negativas **NT(-)** ó
- Positivas **NT(+)**.

En la mayoría de los casos las descargas NT(-) son las más numerosas.

¿Cómo se produce la descarga?

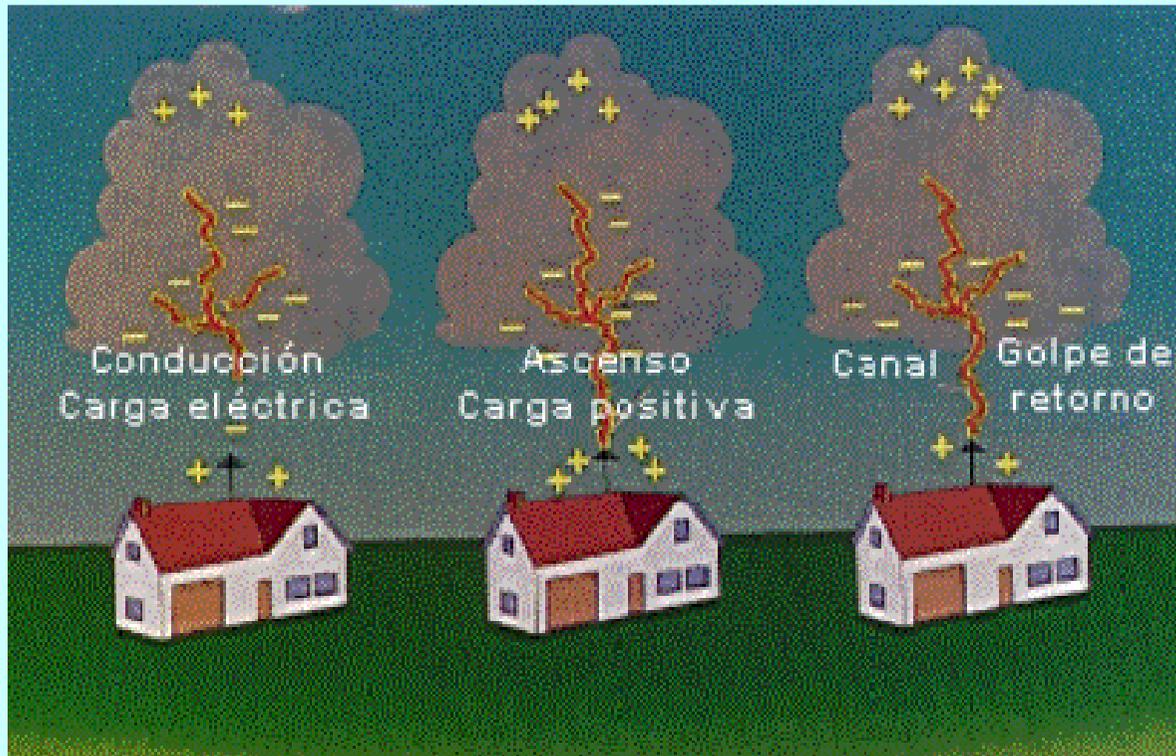


Imagen 2. Distribución de los diferentes campos de carga eléctrica (positiva y negativa) y su proyección.

Fuente: Guía de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA), Enero, 1994

Fases de una descarga nube-tierra.

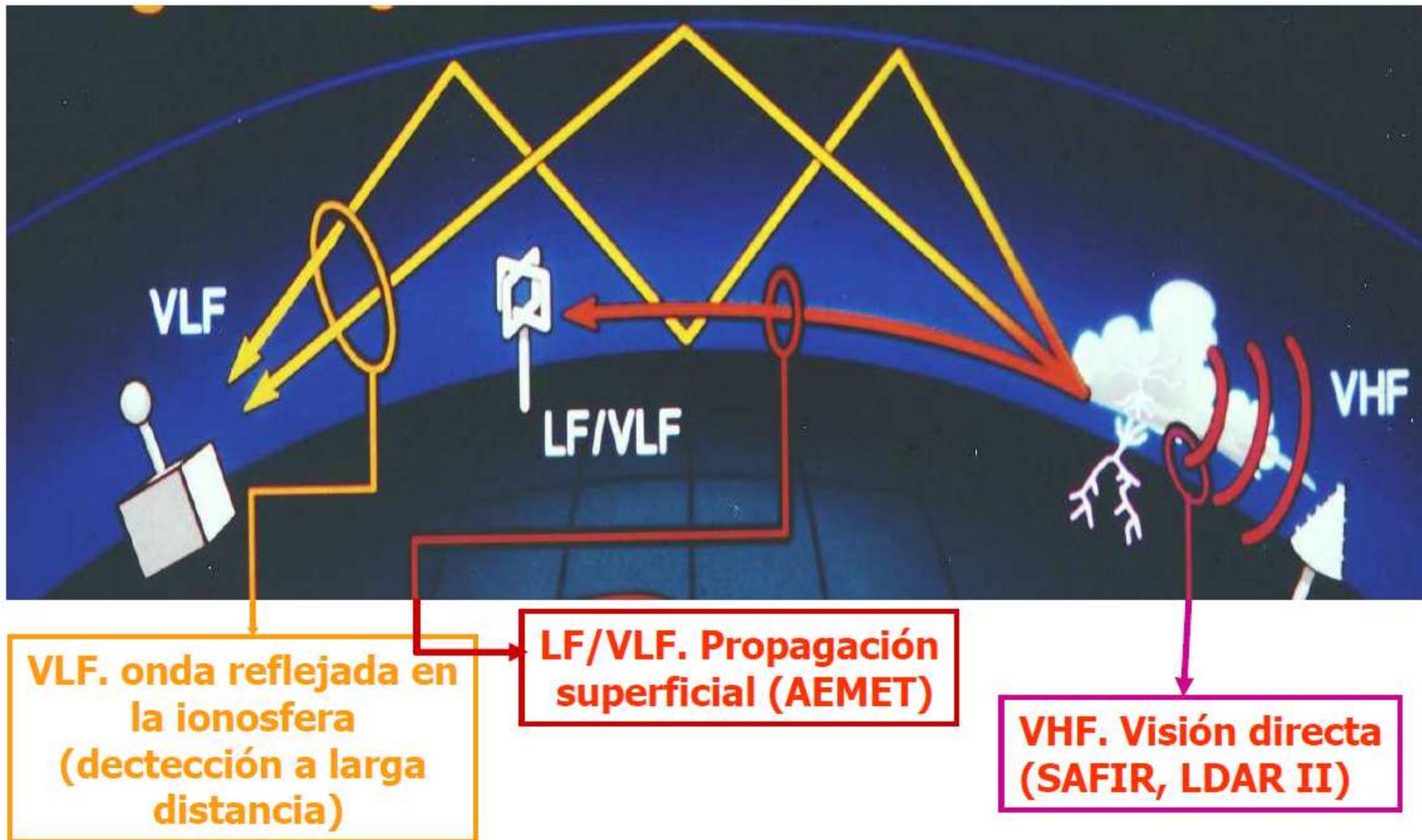
- Stepped Leader
- Streamer
- Return Stroke

REDES DE DETECCIÓN DE DESCARGAS

Las descargas eléctricas atmosféricas emiten en un amplio rango de frecuencias electromagnéticas:

- Trazadores descendentes y ascendentes, guía escalonada: emiten en el rango VHF
- Las descargas de retorno (emisiones más potentes), emiten en LF/VLF

Observación según la frecuencia



Sistemas de Localización de Descargas (Lightning Location System: LLS):

- **Satelital:** instrumento a bordo del satélite
(Ejemplo: GML: Geostationary Lightning Mapper, LI: Lightning Imager)
- **Terrestre:** detectores en tierra + procesador

Proporcionan:

Observación de la actividad eléctrica en la atmósfera
mediante mecanismos de teledetección

USO DE LOS RAYOS

- Vigilancia del tiempo y nowcasting
- Relación con fenómenos severos convectivos
- Aeronáutica: maniobras de aproximación y repostaje
- Información útil para eléctricas, aseguradores, Confederaciones Hidrográficas, actividades al aire libre, etc.
- Incendios forestales

RED DE DESCARGAS DE AEMET



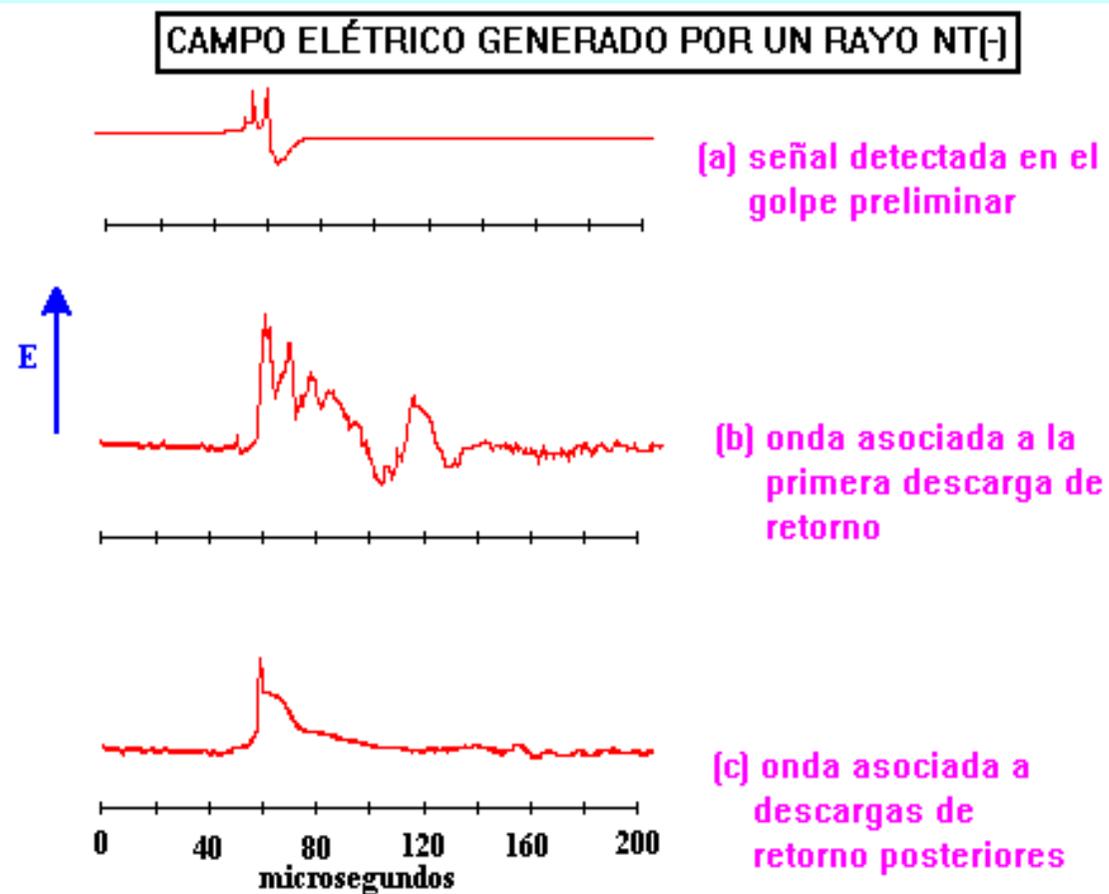
Detección VLF/LF: localización de descargas

Método combinado para detectar y localizar rayos:

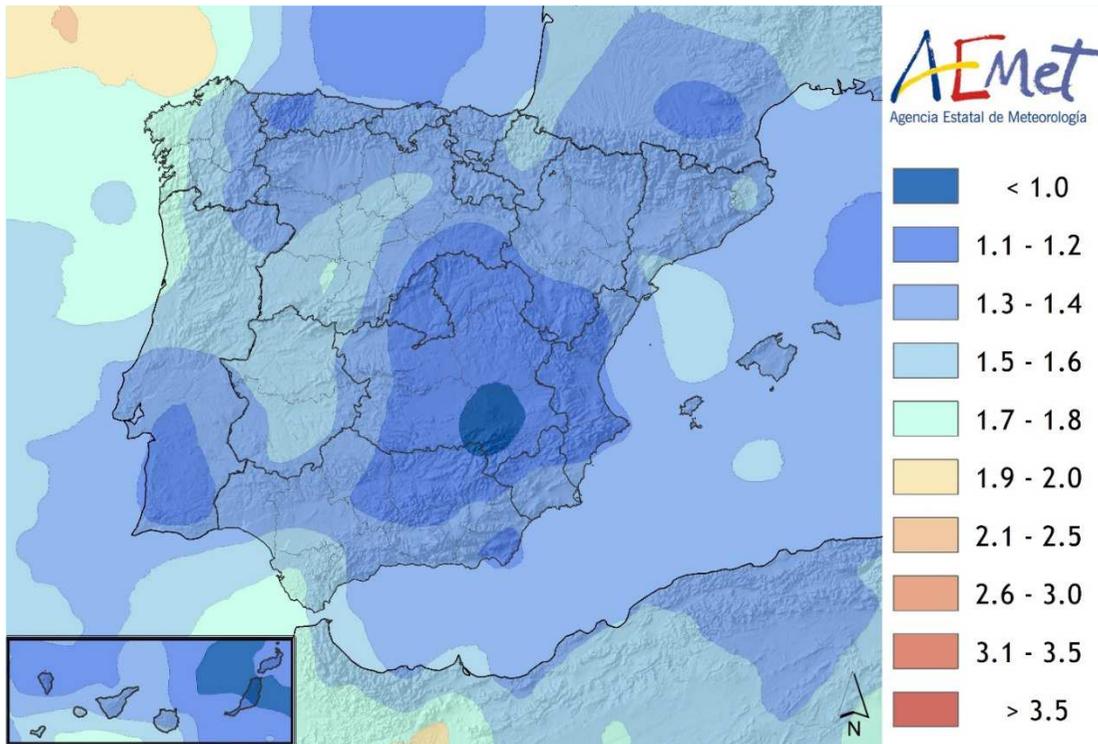
- Determinación de direcciones por medio del campo magnético
- Tiempo preciso de llegada de la señal

MÉTODO DE DETECCIÓN

La primera descarga de retorno es precisamente la que emplean la mayoría de los sistemas comerciales de detección de rayos, utilizando su señal característica para discriminarla de otras posibles descargas no deseadas.

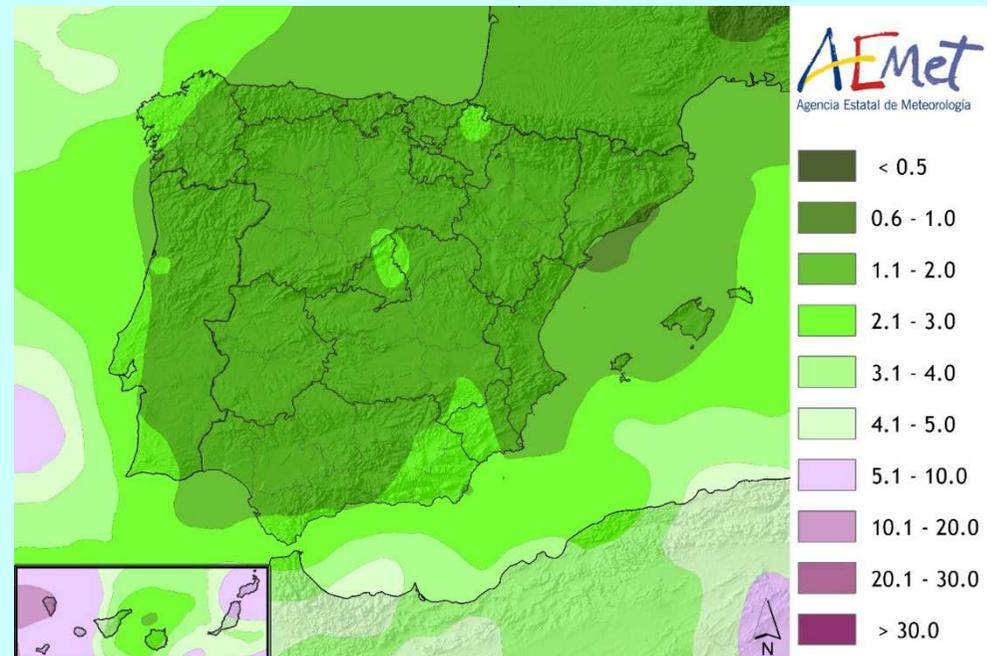


- El sistema puede detectar las descargas entre **nube y suelo** y entre **nube y nube**).
- Alcance nominal del detector: 370 Km de radio.
- Medidas más importantes:
 - Fecha y hora
 - Situación geográfica
 - Polaridad (rayos + ó rayos -)
 - Intensidad (kA)
 - n° de descarga
- Hay un cierto error de localización.



Chi-2

Semieje mayor elipse



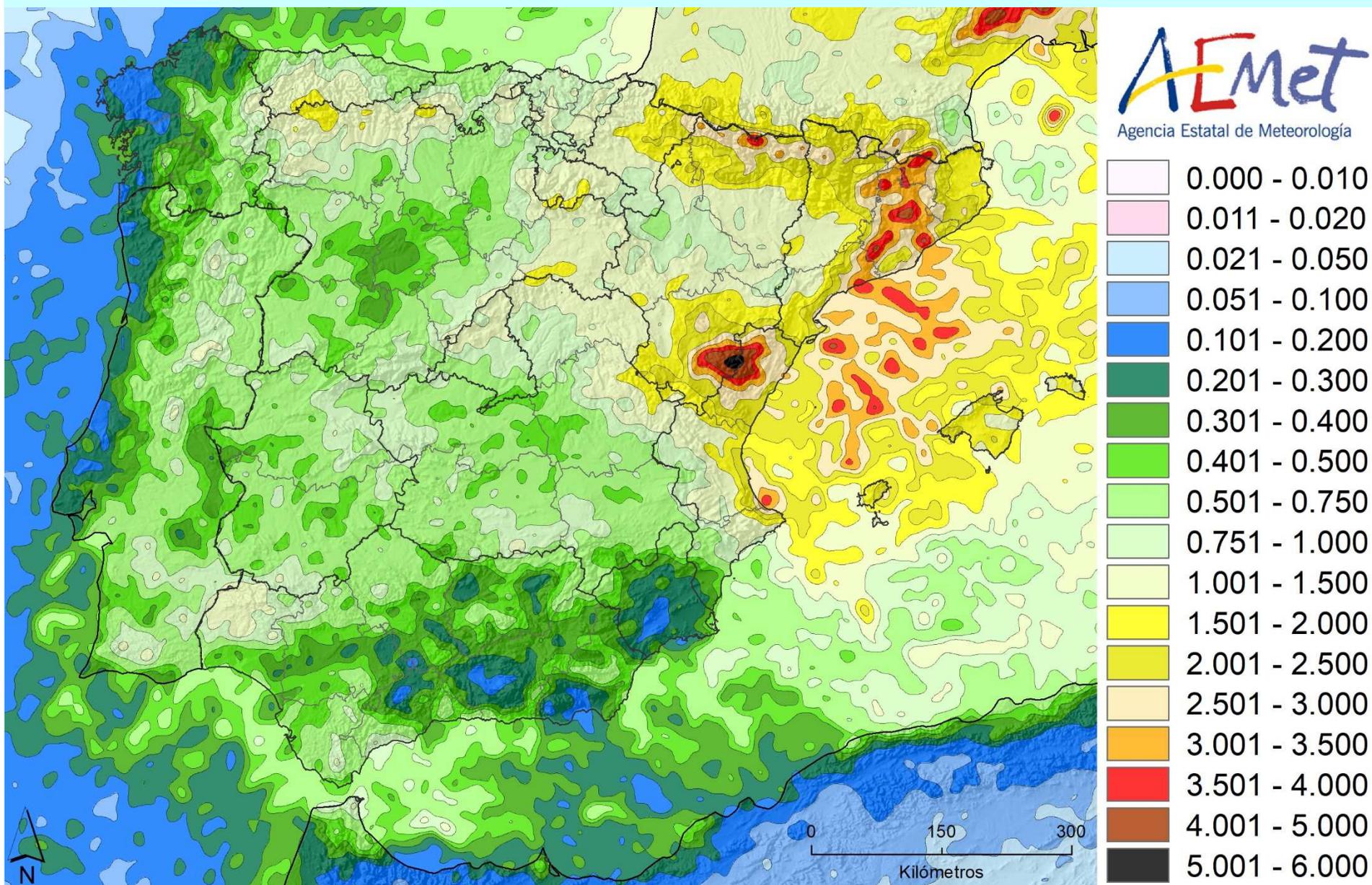
USO DE DATOS DE RAYOS

Tiempo real

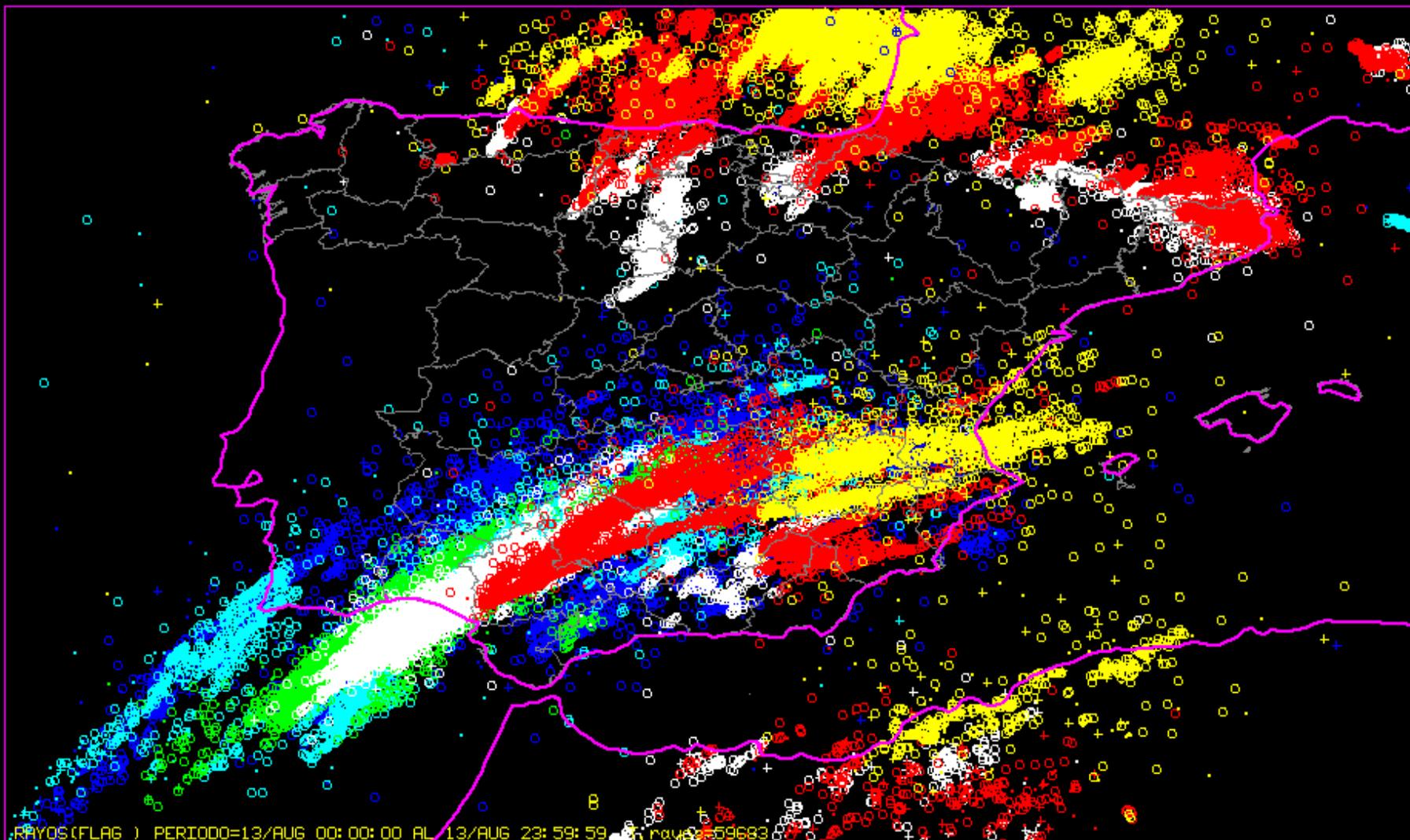
- Vigilancia
- Avisos
- Generación de productos automáticos

Tiempo pasado

- Certificados/informes
- Estadísticas



Descargas/km². Media anual



RAYOS(FLAG) PERIODO=13/AUG 00:00:00 AL 13/AUG 23:59:59 rays=59683
 T (hh: mm: ss) = <03: 59: 59<07: 59: 58<11: 59: 57<15: 59: 56<19: 59: 55<23: 59: 54
 RAYOS+(1611) = 216 167 75 383 484 286
 RAYOS-(9477) = 1017 1152 528 2761 2749 1270
 RAYOSo(48595) = 3913 4596 2707 15467 14303 7609

RAYOS TOTALES. Dia: 13 Aug 2022

McIDAS

1

36

Rayos nube-tierra (+/-) y nube-nube en un episodio

ALGUNAS CONCLUSIONES SOBRE UTILIZACIÓN DE DATOS DE RAYOS EN PREDICCIÓN OPERATIVA

- ❖ Toda tormenta, severa o no, generará un cierto número de descargas eléctricas
- ❖ La intensidad de la convección viene medida por la organización e intensidad de las corrientes verticales; no por el número de rayos
- ❖ Gran actividad eléctrica no implica importantes precipitaciones, ni viceversa.

➤ **Su utilidad se realiza al superponerlos con los datos de radar**, sobre todo allí donde los datos radáricos son ambiguos (zonas apantalladas, áreas con sombras, montañas,,...). La mismas ideas son aplicables a los datos de satélites.

➤ **Su potencialidad queda de manifiesto cuando la actividad eléctrica de una tormenta es notoria**, apareciendo gran cantidad de descargas. En estos casos podemos inferir, casi en tiempo real, la estructura celular tormentosa y el movimiento individualizado de cada de dichas células.

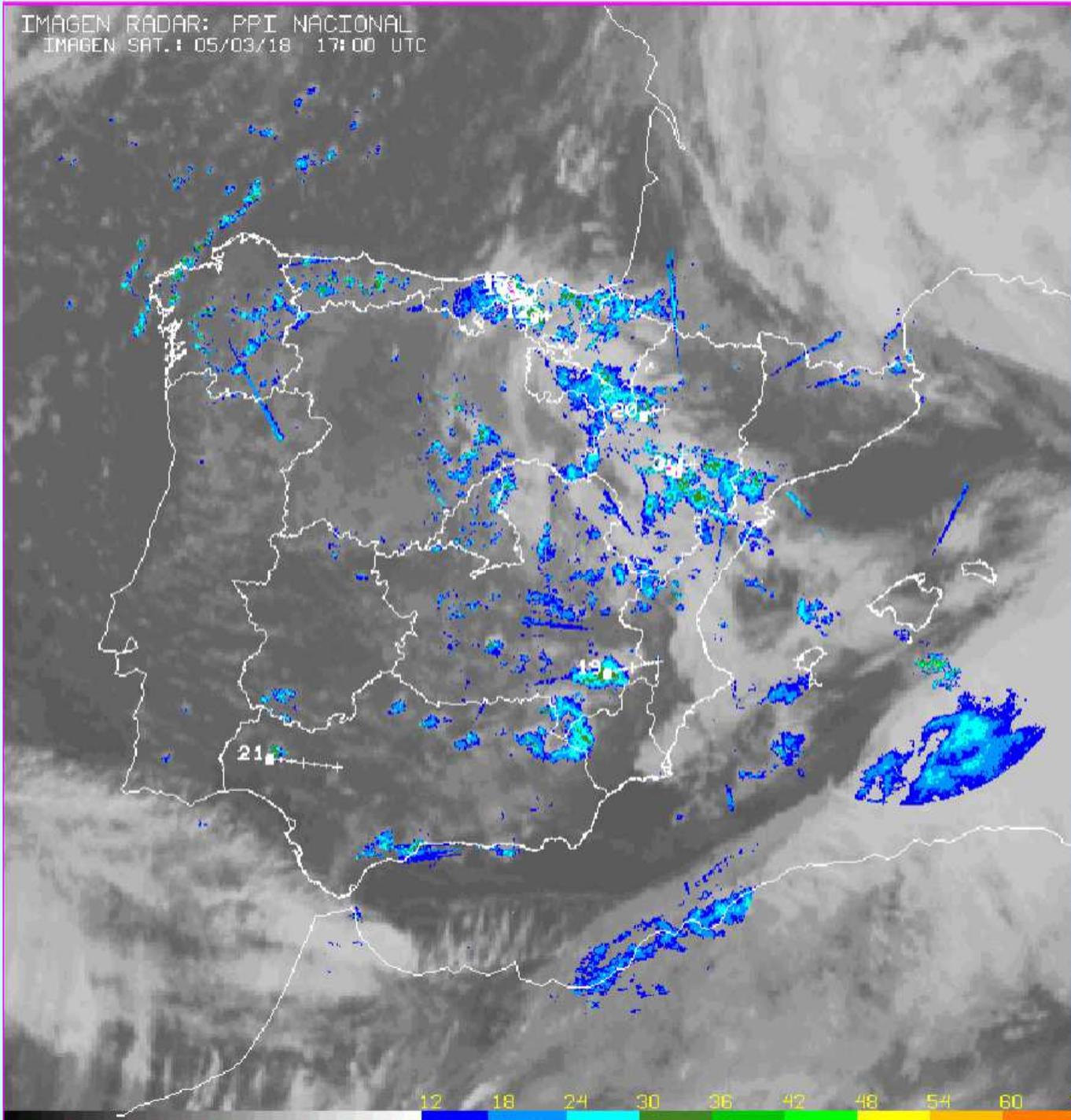
IMAGEN RADAR: PPI NACIONAL
IMAGEN SAT.: 05/03/18 17:00 UTC

DIAGNOSTICO NACIONAL
05/03/18 PAS=00 H+0

05/03/18 17:10 UTC

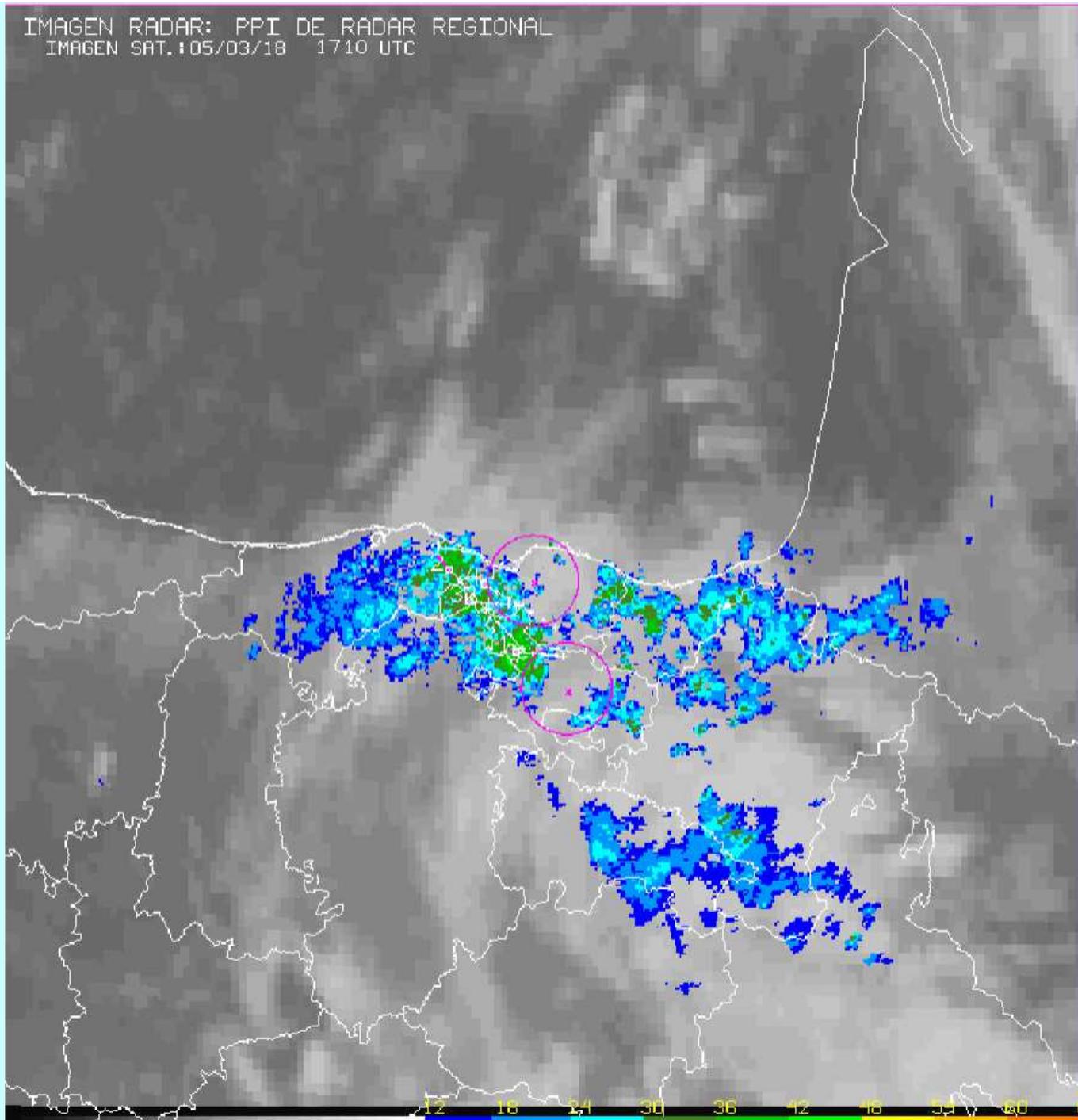
EST. NU.PIX. ZMAX ZMED RAYOS
- +

12	323	46	37
15	071	44	37
19	062	42	36
03	047	43	37
05	044	44	36
20	040	49	34
04	027	44	35
21	025	48	36
18	025	41	33



REFLECTIVIDAD (DBZ)

IMAGEN RADAR: PPI DE RADAR REGIONAL
IMAGEN SAT.: 05/03/18 1710 UTC



DIAGNOSTICO-2D

05/03/18 PAS=00 H+18

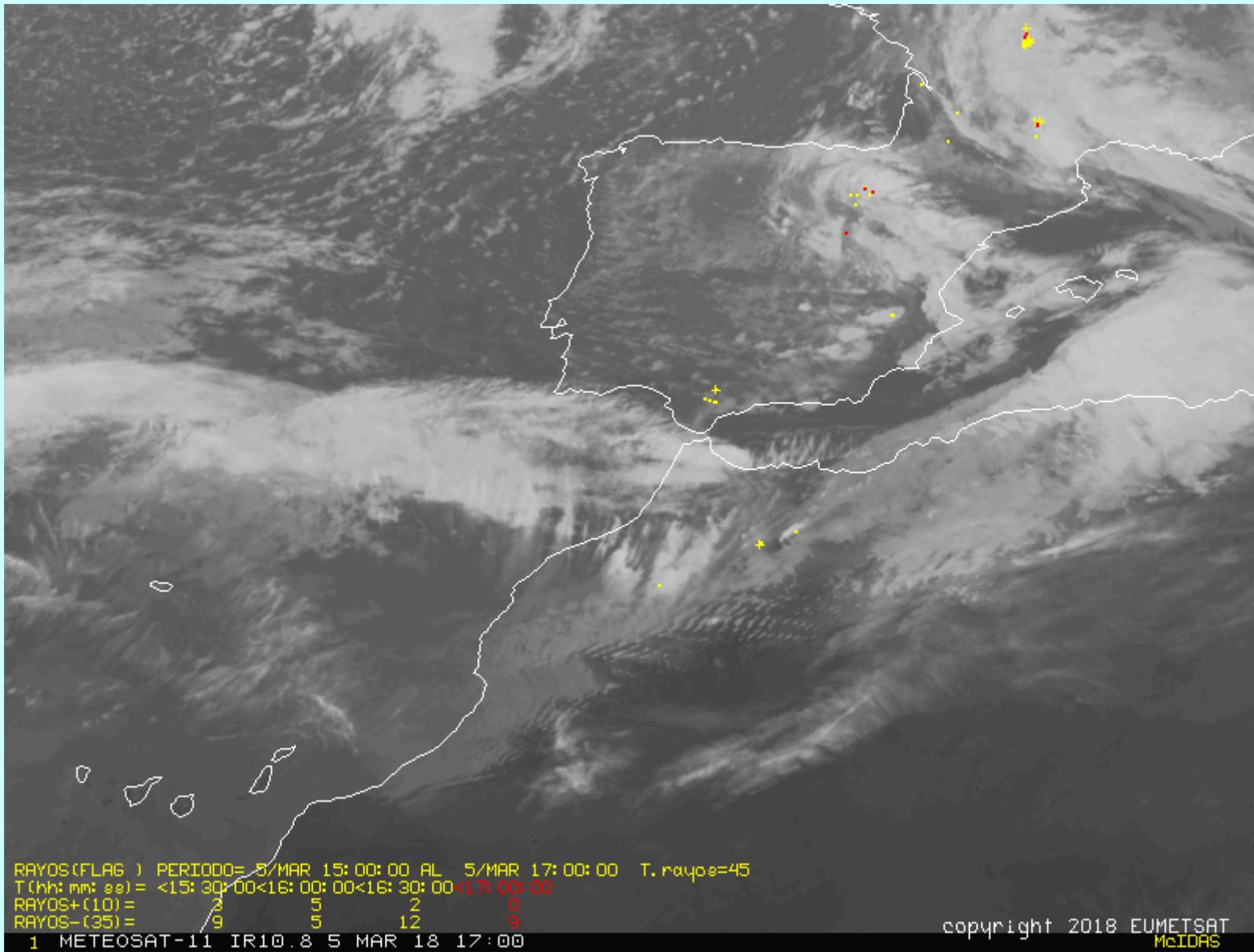
CAPE -999.9 J/Kg
LI 2.2 C
RH-7 83.9 %
ISOC 1435.6 m
ISOW 1303.4 m

05/03/18 17:10 UTC

EST.	NU. PIX.	ZMAX	ZMED	RAYOS
01	335	46	37	
02	102	43	36	
03	061	44	36	
04	014	43	33	

PUNTOA	EST.	NUMP.	DIS.
LEBB	04	014	22
LEVT	01	335	27
LESO			





NO EXISTEN ESQUEMAS FIABLES. NO OBSTANTE:

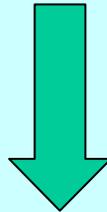
- Alta densidad de rayos negativos puede estar relacionada en muchas ocasiones (pero no siempre) con los máximos de intensidad de precipitación convectiva, severidad (tornados, reventones, etc.)
- Aumento relativo de los rayos positivos al crecer los ecos de precipitación de tipo "estratiforme" en los SCM
- Ausencia de rayos negativos y/o aumento relativo de los rayos positivos en ciertas estructuras radáricas convectivas potencialmente intensas

Descargas positivas en una nube convectiva

Están asociadas a :

- 1.- Fenómenos convectivos **severos**. (Inicio).
- 2.- **Fase de disipación** de una tormenta.

- Son más dañinas que las negativas porque liberan más energía.



Incendios forestales, daños en aeroplanos, etc.

- Hay más NT(+) en invierno que en verano.

Precipitaciones intensas y actividad eléctrica

La relación entre rayos e intensidad de lluvia presenta gran variabilidad y no existen resultados concluyentes. Depende de muchos factores como la localización, el tipo de tormenta, el estado dentro de su ciclo de desarrollo, etc. Así se encuentran tormentas con rayos y sin prácticamente lluvia (que se evapora en su caída) y también el proceso contrario, donde grandes cumulonimbos marinos producen lluvia pero muy pocos o ningún rayo.

Otros estudios muestran una correlación positiva entre rayos y cantidades de precipitación, con la evolución de la intensidad de rayos y la reflectividad radar altamente correlacionadas, con un buen ajuste entre la localización de la lluvia intensa y las zonas de alta densidad de rayos. Pero lo que es más importante, se ha comprobado en bastantes casos que la intensidad de rayos alcanzó máximos valores justo antes de llegar la precipitación al suelo, lo cual puede ser de gran interés para alertar de precipitaciones intensas.

Granizo y actividad eléctrica

La actividad eléctrica asociada al granizo suele presentar el máximo generalmente coincidente con el momento de la caída de granizo al suelo. En las tormentas con granizo, los rayos nube tierra pueden aparecer unos 10 minutos antes, aproximadamente, y unos 5 km corriente arriba del lugar donde comienza a caer el granizo, sugiriendo que los rayos nube-tierra comenzaron cuando el granizo se estaba desarrollando en el tope de la nube. También se han encontrado grandes correlaciones entre la intensidad de rayos y la intensidad de la tormenta de granizo.

Tornados y actividad eléctrica

Además, el pico de intensidad máxima eléctrica suele ser unos momentos antes de la ocurrencia de los tornados. En muchos estudios se ha observado actividad eléctrica anómala asociada con tornados, predominando descargas positivas.

Downbursts y actividad eléctrica

Se suele producir un decrecimiento de la actividad eléctrica en las proximidades del lugar donde aparece el downburst. También puede aparecer en ese momento un predominio de descargas positivas nube-tierra.

Fecha y hora petición:
 (dd/mm/aaaa) Jul.

Hora Final(utc)
 Elegir: (hh:mm)
 Hora más reciente

Día de hoy completo
 Día de ayer completo

Nº. horas a estudiar:

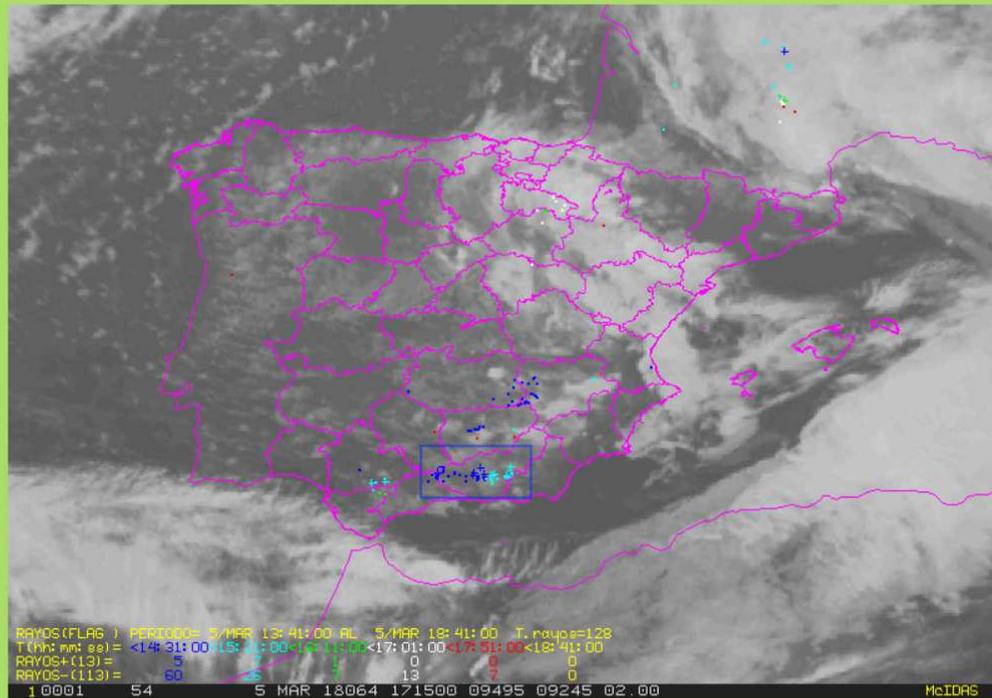
Intervalo temporal (min):

Selección actual:
 N:
 W: E:
 S:

[CARGA FOTO Y RAYOS](#)

[GRAFICO EVOLUCION RAYOS](#)

[AYUDA](#)



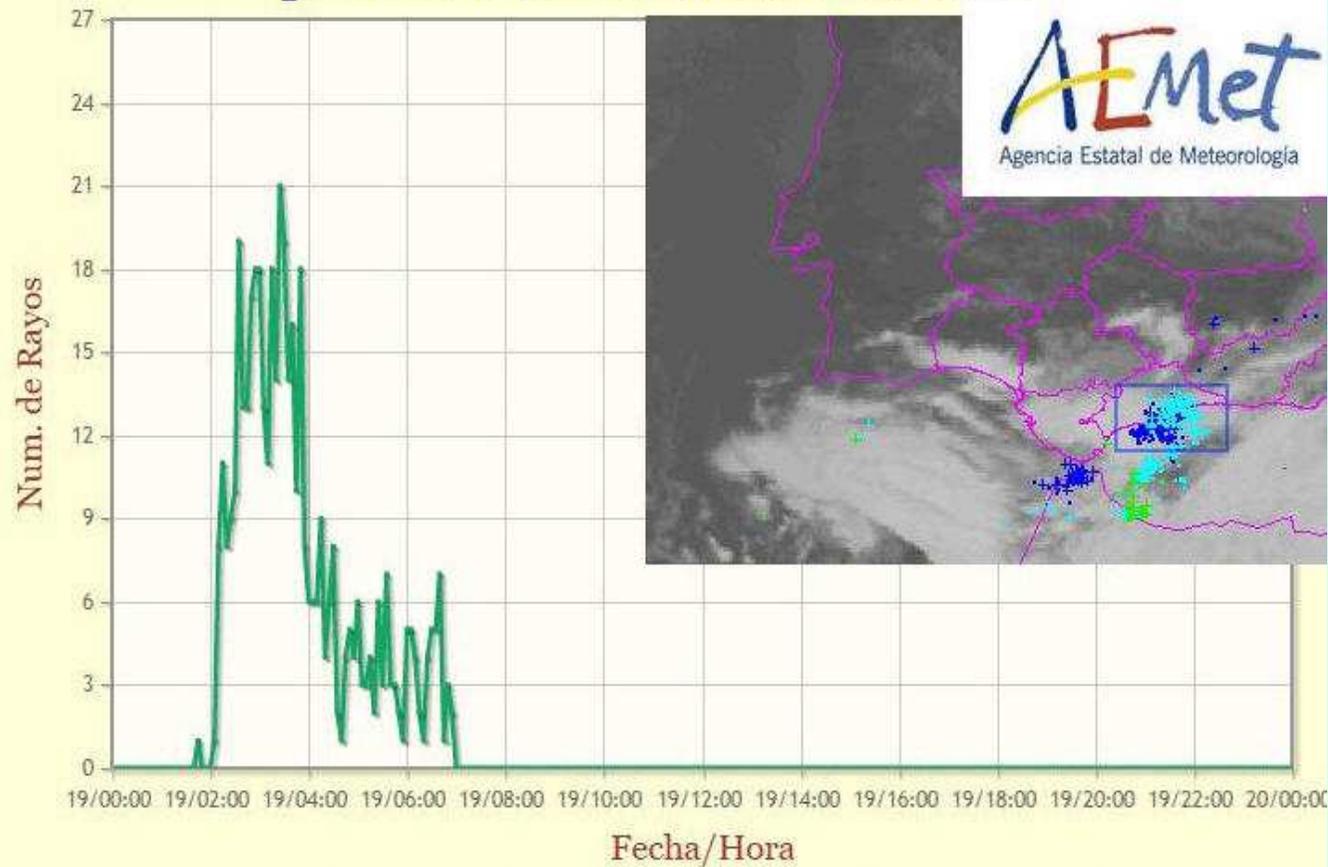
Navegación sobre la última selección realizada

[RAYOS-TIEMPO](#)

[FOTO](#)

[LISTADO_RAYOS](#)

Evolución de los rayos registrados en los 5 minutos previos a cada instante indicado

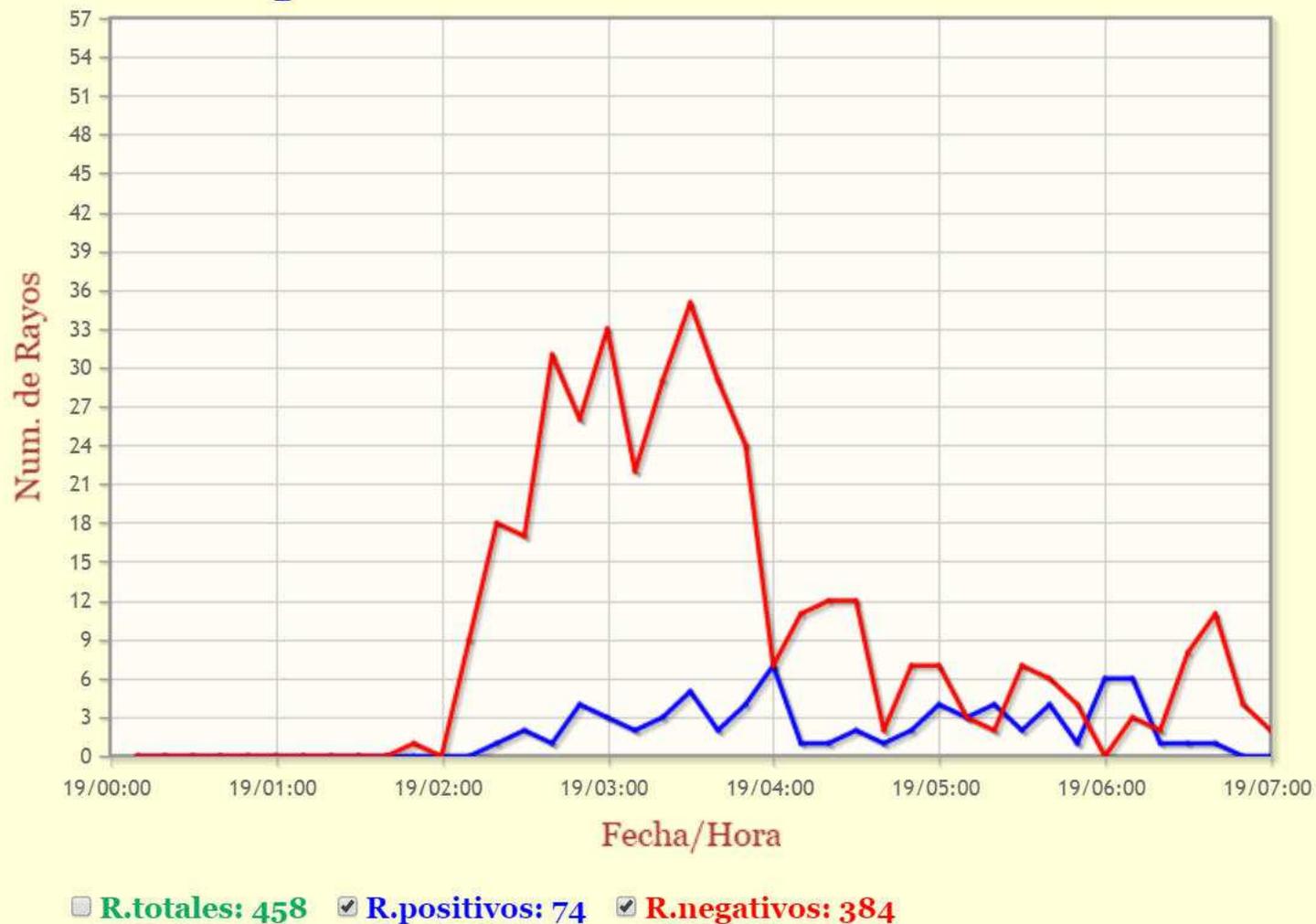


Resetear Zoom

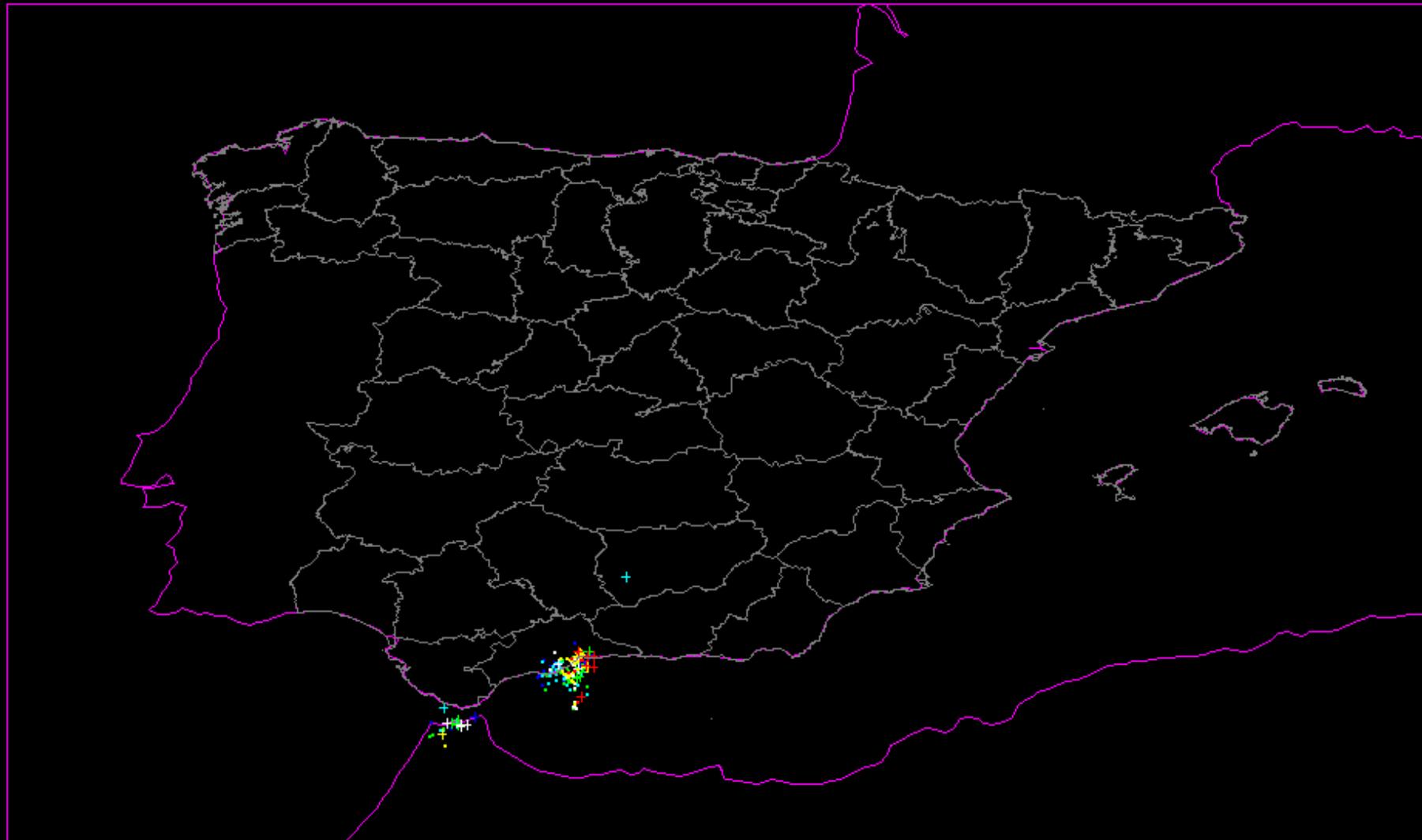
R.totales: 456 R.positivos: 74 R.negativos: 382

DIA	MES	ANHO	HORA	MINUTO	SEGUNDO	LAT	LON	Intens	NumDescarg	OrdenDescarg
19	2	2017	1	42	7	36,7067	-4,455	-26,68	1	1
19	2	2017	2	27	34	36,6256	-4,5815	18,58	1	1
19	2	2017	2	40	16	36,6524	-4,3643	-4,92	1	1
19	2	2017	2	40	43	36,615	-4,6625	-17,18	2	1
19	2	2017	2	44	31	36,5919	-4,591	-20,7	5	5
19	2	2017	2	44	31	36,5893	-4,5811	-17,99	5	4
19	2	2017	2	44	31	36,6065	-4,5956	-15,07	5	3
19	2	2017	2	44	31	36,6233	-4,6096	-9,41	5	2
19	2	2017	2	44	56	36,7263	-4,3007	-13,06	1	1
19	2	2017	2	48	18	36,6254	-4,6484	-39,84	3	3
19	2	2017	2	49	5	36,6173	-4,3199	-6,49	1	1
19	2	2017	2	50	33	36,6383	-4,6344	-30,96	1	1
19	2	2017	2	53	1	36,5672	-4,5428	-14,79	1	1
19	2	2017	2	53	33	36,5693	-4,5708	-10,79	1	1
19	2	2017	2	53	38	36,6719	-4,6254	-9,32	1	1
19	2	2017	2	54	3	36,5497	-4,4913	-8,3	1	1
19	2	2017	2	55	4	36,6846	-4,5925	-15,07	1	1
19	2	2017	2	55	44	36,5539	-4,5566	-13,89	3	3
19	2	2017	2	55	44	36,5566	-4,5575	-18,58	3	2
19	2	2017	2	55	44	36,5542	-4,5578	-13,46	3	1
19	2	2017	2	56	14	36,5814	-4,5318	-13,39	1	1
19	2	2017	2	56	41	36,5406	-4,5013	-23,32	1	1
19	2	2017	3	0	51	36,7683	-4,3234	-31,9	2	2
19	2	2017	3	0	51	36,6949	-4,3003	-27,42	2	1
19	2	2017	3	2	32	36,7	-4,3552	-15,16	1	1
19	2	2017	3	3	53	36,5615	-4,426	-55,02	1	1
19	2	2017	3	4	50	36,5413	-4,4777	-8,95	2	1
19	2	2017	3	4	51	36,5889	-4,4998	-13,73	2	2
19	2	2017	3	8	15	36,7241	-4,3099	-6,26	3	3
19	2	2017	3	8	15	36,7948	-4,3312	-23,9	3	2
19	2	2017	3	8	15	36,7178	-4,3072	-6,49	3	1
19	2	2017	3	8	48	36,6704	-4,3508	-6,1	1	1
19	2	2017	3	8	50	36,5521	-4,5108	-7,27	1	1
19	2	2017	3	9	28	36,7424	-4,2841	35,14	1	1
19	2	2017	3	9	46	36,5807	-4,5443	-17,39	1	1
19	2	2017	3	10	32	36,6425	-4,5691	-12,49	1	1
19	2	2017	3	11	11	36,8084	-4,3332	-26,52	1	1
19	2	2017	3	11	51	36,5635	-4,5911	-4,46	1	1

Evolución de los rayos registrados en los 10 minutos previos a cada instante indicado



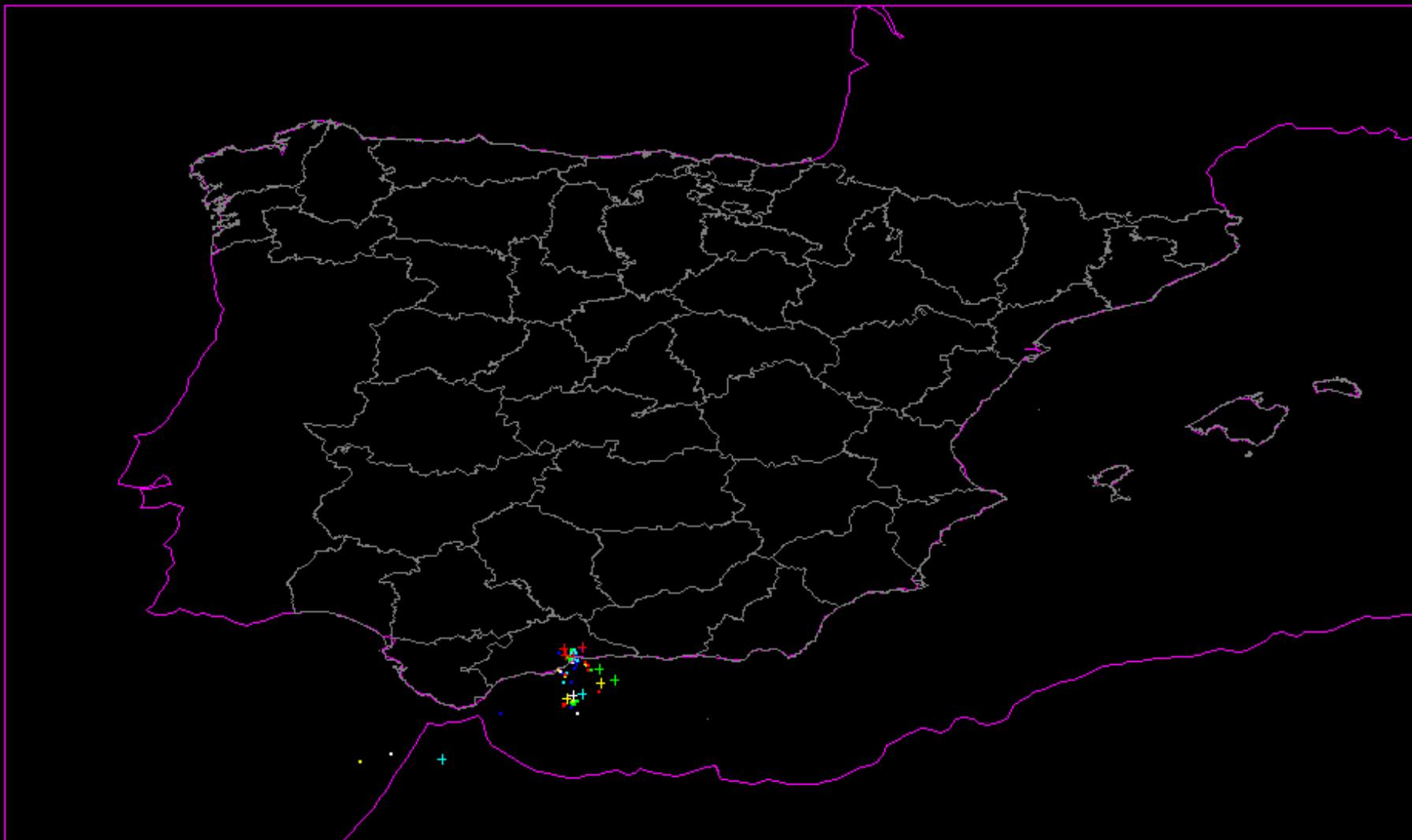
Loop de evolución espacio-temporal



RAYOS (FLAG) PERIODO=19/FEB 03:00:00 AL 19/FEB 04:00:00 T. rayos=196
T (hh:mm:ss)= <03:10:00<03:20:00<03:30:00<03:40:00<03:50:00<04:00:00
RAYOS+ (37)= 3 7 9 6 5 7
RAYOS- (159)= 24 33 39 31 25 7

19 Feb 2017. RAYOS de 3 a 4 UTC

HORA ACTUAL: 14:55 UTC



RAYOS (FLAG) PERIODO=19/FEB 04:00:00 AL 19/FEB 05:00:00 T. rayos=69
 T (hh:mm:ss)= <04:10:00<04:20:00<04:30:00<04:40:00<04:50:00<05:00:00
 RAYOS+ (12)= 1 2 2 1 2 4
 RAYOS- (57)= 13 12 12 4 8 8

19 Feb 2017. RAYOS de 4 a 5 UTC

HORA ACTUAL: 14:55 UTC



RAYOS (FLAG) PERIODO=19/FEB 05:00:00 AL 19/FEB 06:00:00 T. rayos=87
 T (hh: mm: ss)= <05: 10: 00<05: 20: 00<05: 30: 00<05: 40: 00<05: 50: 00<06: 00: 00
 RAYOS+ (21)= 3 5 2 4 1 6
 RAYOS- (66)= 7 7 14 16 13 9

19 Feb 2017. RAYOS de 5 a 6 UTC

HORA ACTUAL: 14:55 UTC



RAYOS (FLAG) PERIODO=19/FEB 06:00:00 AL 19/FEB 07:00:00 T. rayos=73
 T (hh:mm:ss)= <06:10:00<06:20:00<06:30:00<06:40:00<06:50:00<07:00:00
 RAYOS+ (15)= 6 1 1 2 4 1
 RAYOS- (58)= 20 6 8 12 5 7

19 Feb 2017. RAYOS de 6 a 7 UTC

HORA ACTUAL: 14:55 UTC



RAYOS (FLAG) PERIODO=19/FEB 07:00:00 AL 19/FEB 08:00:00 T. rayos=29
 T (hh:mm:ss)= <07:10:00<07:20:00<07:30:00<07:40:00<07:50:00<08:00:00
 RAYOS+ (6)= 4 1 0 0 1 0
 RAYOS- (22)= 6 4 3 3 4 2

19 Feb 2017. RAYOS de 7 a 8 UTC

HORA ACTUAL: 14:55 UTC

REFERENCIAS

- Cummins, K.L., M.J. Murphy, J.V. Tuel (2000) Lightning detection methods and meteorological applications. Presented at the IV International Symposium on Military Meteorology, Malbork, Poland, September 25-28, 85-100.
- Nag, A., M.J. Murphy, W. Schulz, and K.L. Cummins (2015) Lightning locating systems: Insights on characteristics and validation techniques, *Earth and Space Science*, 2, doi:10.1002/2014EA000051.
- Rakov, V.A. and M.A. Uman, (2003) *Lightning: Physics and Effects*. Cambridge University, Cambridge, 687p.
- Retallack, B.J. (1974) *Compendio de meteorología para uso del personal meteorológico de las clases I y II. Meteorología Física. Volumen I. Parte 2. N°364-OMM*.
- Santos, C. (2018) *Física del caos en la predicción meteorológica Edición digital*. Agencia Estatal de Meteorología, DOI:10.31978/014-18-009-X.
- Intranet de Aemet: Módulos Tempo
- Cursos internos impartidos por Imanol Guerra Peralta en AEMET