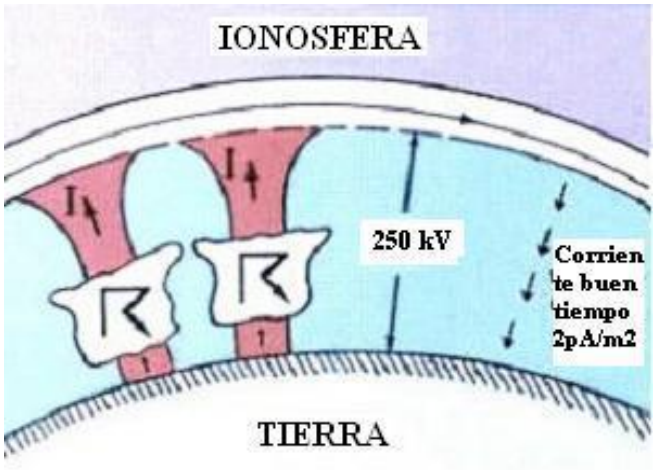
DESCARGAS ELÉCTRICAS

Adolfo Marroquín Santoña
Meteorólogo del Estado
Director del C.M.T. en Extremadura

Un rayo es una descarga eléctrica y como tal, un arco eléctrico entre dos centros con distinta carga. Esta descarga puede tener lugar entre dos puntos de la misma nube, o entre dos nubes distintas, o bien entre la nube y el suelo. Por tanto, para que se produzca un rayo es necesario que exista un salto de potencial eléctrico entre centros de carga. La cuestión es ¿cómo tiene lugar la carga de electricidad de una nube y cómo se producen los polos de distinto signo entre los que "saltará" la descarga que es el rayo?.

Electricidad atmosférica

La fina capa gaseosa en la que vivimos está formada fundamentalmente por nitrógeno y oxígeno, dando lugar a una atmósfera inerte, desde le punto de vista eléctrico, que constituye un buen aislante. No obstante, pese a que en conjunto la atmósfera es un dieléctrico (un aislante), lo cierto es que esa atmósfera es cruzada continuamente por distintos tipos de radiación, unas procedentes del Sol, como la ultravioleta, y otras procedentes del espacio exterior, radiación cósmica. Este conjunto de radiaciones ionizan la atmósfera, haciéndola más o menos conductora, según la energía de ionización recibida en cada zona. Las partículas eléctricas cargadas (iones) están presentes por toda la atmósfera, pero se distribuyen de forma heterogénea por ella, apareciendo en las capas altas una zona, de gran importancia para las telecomunicaciones, llamada ionosfera, con la máxima concentración iónica y por tanto con la máxima conductividad.



Por otra parte, la superficie de la Tierra está cubierta en sus tres cuartas partes por agua, y el agua contiene iones en disolución, iones que facilitan la conducción eléctrica. Hay que tener en cuenta que el agua está presente no solamente en los mares y océanos, sino prácticamente por todas partes del planeta, infiltrándose a través de grietas y fisuras, de forma que facilita la conducción eléctrica en la corteza terrestre.

Tenemos así constituido un enorme condensador eléctrico esférico, con dos superficies "razonablemente" conductoras (ionosfera, cargada positivamente, y corteza terrestre, cargada negativamente) separadas por un dieléctrico, "razonablemente" aislante (atmósfera), dando lugar al llamado circuito global de corriente continua (DC, de sus siglas en inglés).

Iones en el circuito global DC

El sistema eléctrico atmosférico terrestre intercambia cargas entre la superficie del planeta y la alta atmósfera, a través de una combinación de la separación de cargas que tiene lugar en las tormentas y de las corrientes verticales de conducción iónica, que tienen lugar durante los períodos, proporcionalmente mucho más largos, de buen tiempo. Las corrientes de conducción únicamente

pueden circular por existir partículas cargadas (iones) presentes, suficientemente móviles como para ser aceleradas por el pequeño campo eléctrico presente en la atmósfera. En consecuencia, los iones desempeñan un importante papel en el mantenimiento del circuito global DC.

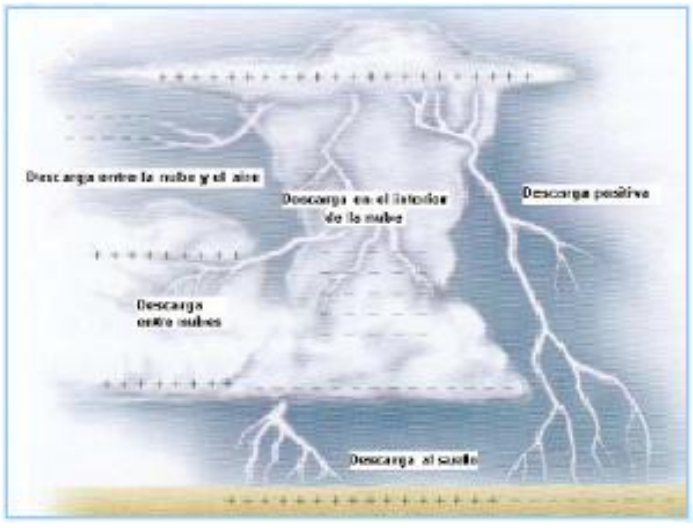
En la atmósfera existen aerosoles cargados (iones) de muy diferentes tamaños, desde los más pequeños, de unos pocos nanometros (1 nanometro = 1 nm = 10^{-12} metros), a los más grandes, con decenas de micrometros (1 micrometro = 1 μm = 10^{-9} metros). Habitualmente, aunque no existe una barrera definida para la separación entre el grupo de iones llamados pequeños y los grandes, se consideran como iones pequeños aquellos con dimensiones del orden de 1 nm, mientras que los iones grandes alcanzan decenas o cientos de nanometros, siendo en consecuencia mucho menos móviles desde el punto de vista de su participación en la corriente eléctrica. Por el contrario, desde el punto de vista físico, los pequeños iones pueden ser acelerados por los campos eléctricos atmosféricos habituales, contribuyendo por tanto directamente a la conductividad del aire.

Los pequeños iones se forman por la interacción entre la radiación de alta energía y las moléculas de aire, mientras que los grandes iones se forman de manera totalmente diferente; resultan de las colisiones entre aerosoles preexistentes y pequeños iones, que son absorbidos por la partícula mayor, a la que prácticamente no aportan masa, pero sí su carga, creándose un ión grande, al cual se pueden ir añadiendo nuevas cargas a medida que más iones pequeños chocan con él.

Campo eléctrico y conductividad

Como consecuencia de la ionización que hemos comentado, el aire deja de ser un aislante (dieléctrico) perfecto, por lo que el campo eléctrico atmosférico no se mantiene constante. En condiciones de buen tiempo el campo eléctrico atmosférico roda los 100 V/m, mientras que en el interior de las nubes (no tormentosas) se alcanzan valores entre 100 y 1000 V/m, llegándose a valores de 100 kV/m en el caso de las tormentas

Cuando existe contaminación en las capas bajas de la atmósfera la captura de los iones por los aerosoles cercanos a la superficie de la tierra incrementan fuertemente los valores del campo eléctrico, alcanzándose en las proximidades del suelo valores del orden de 500 V/m, muy superiores a los que se pueden encontrar en verano, en una capa bien mezclada, donde los valores del campo eléctrico en la superficie de la tierra rondan los 100 V/m.



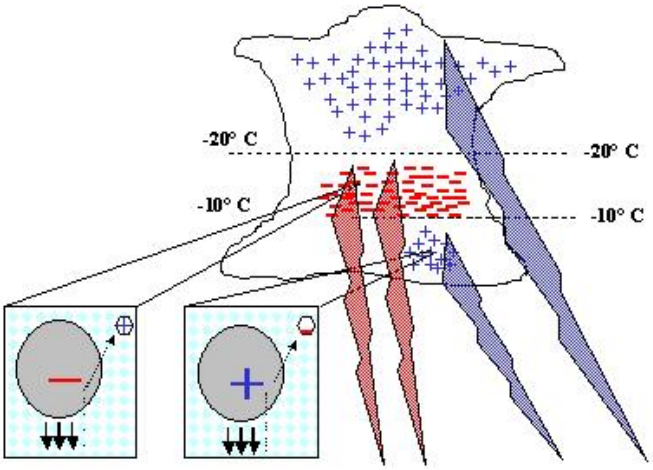
Las cargas positivas se moverán en la atmósfera hacia potenciales decrecientes, es decir hacia la superficie terrestre, y lo contrario sucederá con las cargas negativas. En condiciones de tiempo estable, las corrientes eléctricas atmosféricas permanecen constantes con la altura ya que son proporcionales al producto de la conductividad por el campo eléctrico y estas dos magnitudes varían de forma inversa con la altura.

En ausencia de fenómenos tormentosos, la corriente eléctrica generada entre las dos placas del enorme condensador atmosférico se denomina “corriente de buen tiempo”, fluyendo desde la ionosfera hacia el suelo, transportando cargas positivas, siendo su intensidad muy pequeña, del

orden de 2 pA/m^2. Esta corriente es independiente de la altitud y pese a ser muy débil, al integrarla a escala planetaria, nos da una corriente del orden de los 2000 A, lo que produciría la descarga del condensador eléctrico atmosférico en pocos minutos. Ahora bien, dado que este hecho no se produce en la realidad, resulta evidente que debe existir algún mecanismo que se encargue de mantener la diferencia de potencial entre las dos placas del condensador; ese mecanismo está constituido por las tormentas, que son las principales responsables de la reposición y mantenimiento del circuito global, a través de los procesos que comentaremos después.

La conductividad de este gigantesco condensador queda definida por la interacción entre la radiación procedente del Sol, sobre todo la ultravioleta, y la procedente del espacio exterior al sistema solar, sobre todo los fotones de rayos X, modulados los efectos de todas las radiaciones por la disminución con la altura de la densidad del aire, a partir de la superficie de la tierra. La radiación cósmica es la más energética y rige la ionización y la conductividad eléctrica a altitudes desde 0 hasta los 50 km. Esta radiación es isotrópica, con características constantes y homogéneas, por lo que la conductividad en la baja atmósfera presenta simetría esférica. Por el contrario, la radiación ultravioleta procedente del Sol, que es fuertemente absorbida en la ionosfera, es muy anisótropa (poco constante y homogénea), dando lugar asimetrías en la conductividad entre los hemisferios que en cada instante están expuestos a la luz y a la sombra solar.

En cuanto a las capas bajas de la atmósfera, en ellas los pequeños iones son los principales encargados del transporte de cargas. Sobre los océanos, las partículas de aerosoles son escasas, y la conductividad crece exponencialmente con la altura, siendo mínima sobre la superficie y presentando marcados contrastes entre los océanos y la tierra firme. El circuito global DC se desarrolla por tanto en un condensador esférico, con resistividad variable entre sus placas.



Las fuentes de suministro para el circuito DC son en principio cualquier mecanismo que separe verticalmente las cargas positivas y negativas, distribuyéndolas entre la placa conductora inferior (suelo) y la superior (ionosfera). En la práctica, esos mecanismos son varios, por ejemplo el transporte vertical de cargas en la capa límite planetaria, el descenso gravitatorio selectivo de aerosoles cargados eléctricamente (iones) en la atmósfera, y la separación de cargas eléctricas mediante procesos microfísicos, relacionados con el hielo, en las nubes de tormenta.

Se sabe que la parte superior de las nubes de tormenta posee carga positiva, mientras que en la parte central y baja predominan las cargas negativas, con lo que la nube tomaría forma de "dipolo eléctrico". Sin embargo, frecuentemente se presenta un pequeño centro, cargado positivamente, en la parte inferior de la nube, pasando por tanto a tomar la forma de "tripolo eléctrico". Como consecuencia, en el interior de la nube existe un campo eléctrico variable, diferente en cada punto de la misma, presentándose la región de máxima intensidad de campo eléctrico entre las dos zonas principales de distinta polaridad, la positiva superior y la negativa central-inferior.

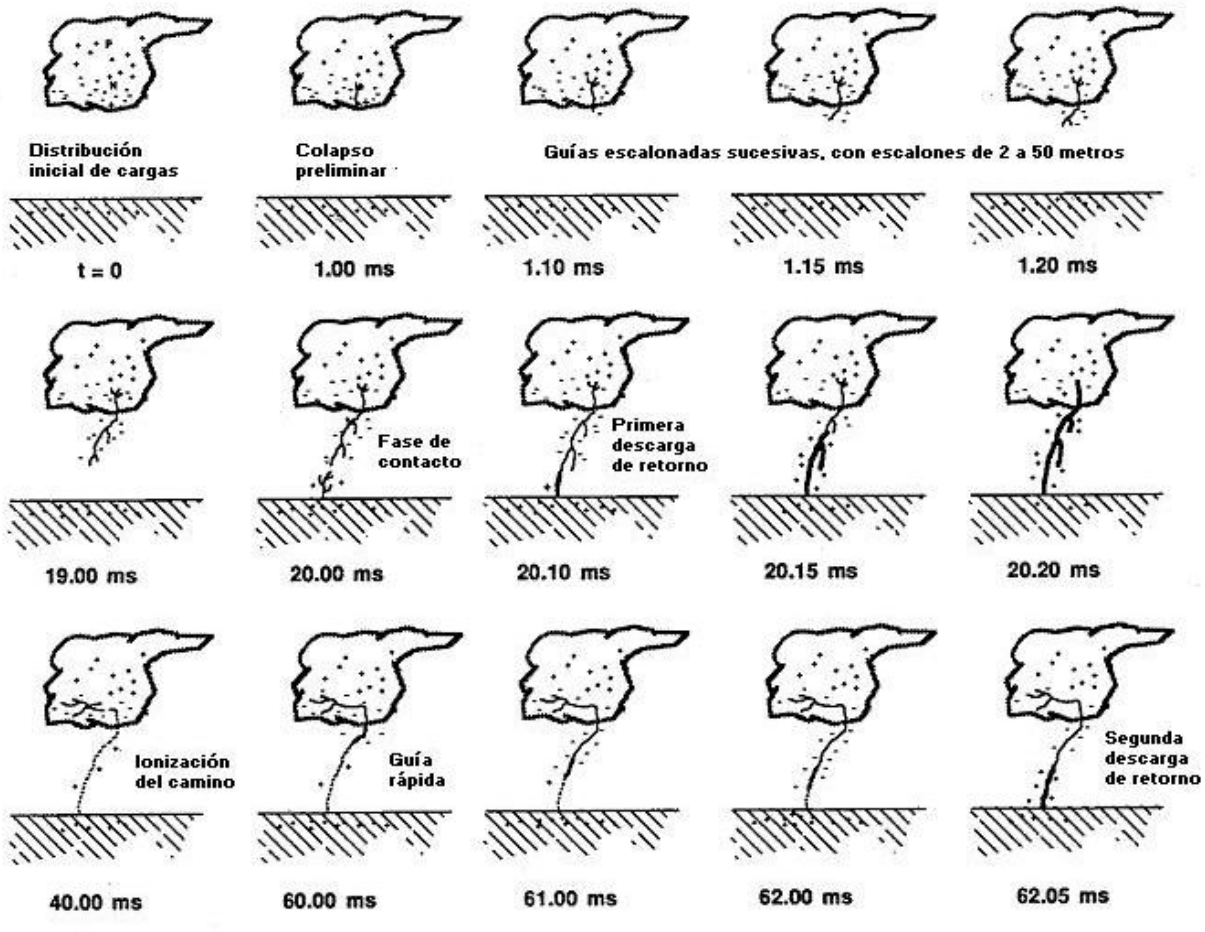
Existen varias teorías que tratan de explicar cómo se produce la electrificación de una nube, sin embargo, aunque no hay unanimidad sobre las condiciones necesarias para que se produzca el

fenómeno, sí es cierto que la mayor parte de los investigadores opinan que es imprescindible la presencia de cristales de hielo puesto que las descargas no se observan, en general, hasta que las nubes no alcanzan un desarrollo bastante notable, con hielo en las capas superiores.

En experimentos de laboratorio se ha demostrado claramente el papel que desempeñan las partículas de hielo en la electrificación de las nubes. Se ha comprobado que cuando se congelan soluciones diluidas de agua, se originan grandes diferencias de potencial eléctrico entre el agua y el hielo. Mientras el hielo adquiere carga eléctrica negativa el agua retiene carga positiva. Fuera del laboratorio, en las nubes "reales", se ha encontrado que existe una temperatura crítica, por debajo de la cual las partículas de granizo se cargan negativamente, mientras que por encima de esa temperatura el granizo se carga positivamente. Esa temperatura crítica, en la que tiene lugar la inversión de carga, está entre los –10 ºC y los –20 ºC; esta zona, denominada "zona de carga", es la única dentro de la nube en la que coexisten el hielo y el agua subenfriada, situándose a una altitud del orden de los 5 a 7 km.

Otras teorías sostienen la idea de que la precipitación, y en particular los cristales de hielo, no son necesarios para la formación de los grandes centros de carga en las tormentas. Y aunque estas teorías difieren en principio entre sí, ninguna de ellas requiere la presencia de partículas de hielo. Todas están basadas en la captura de iones por parte de las gotitas de nube. Uno de los argumentos de sus defensores es el haber observado relámpagos en pequeñas nubes convectivas en las que no existía hielo. Si esto es así, es evidente que las partículas de hielo no serían imprescindibles, y que las teorías basadas en la captura de iones serían más sólidas.

Descargas de rayos



Durante las fases de gestación de una nube convectiva, los mecanismos de generación y separación de cargas tienden a aumentar la energía eléctrica del conjunto. Cuando la energía acumulada supera el umbral máximo que la nube puede soportar, se produce el rayo, es decir la descarga eléctrica que tiende a rebajar la energía acumulada, a redistribuir las cargas eléctricas y, en definitiva, a restablecer las condiciones de equilibrio entre la nube, en el suelo y la atmósfera de su entorno.

Existen varios tipos de descargas, las N-N (Nube-Nube, bien dentro de la misma nube o entre dos nubes próximas) y las N-T (Nube-Tierra), las cuales a su vez pueden ser positivas $NT^{(+)}$ o negativas $NT^{(-)}$, según el signo de la carga eléctrica de su área de procedencia, así las NT negativas, descargarán entre la base de la nube y el suelo, mientras que las NT positivas lo harán desde la parte superior de la nube, o bien desde el pequeño núcleo positivo de la base de la misma. En general son mucho más abundantes, del orden de cinco veces más, las descargas NN que las NT, y dentro de éstas son más frecuentes las negativas, $NT^{(-)}$, que las positivas, $NT^{(+)}$.

Todos los tipos de rayos, tanto los NN como los NT, contribuyen al reequilibrio global de cargas buscado por las tormentas, sin embargo, desde el punto de vista de los efectos de las descargas sobre los seres vivos y sobre los elementos materiales, son evidentemente los rayos NT los actores principales más implicados, y dentro de ellos los $NT^{(-)}$, por lo que pasaremos revista a las sucesivas etapas que se suceden en el desarrollo de este tipo de descargas. La gestación de la descarga comienza entre la región principal de carga negativa y la superficie terrestre (cargada positivamente por inducción).

El camino preparatorio de la descarga comienza dentro de la nube con la formación de un canal de baja corriente, del orden de 1 kA, y baja luminosidad, que se va creando por sucesivos impulsos, desde la nube a tierra, dando lugar a la llamada "guía escalonada" (stepped leader) que arrancando en la zona de cargas negativas de la nube, va trazando caminos, con tramos de entre 2 y 50 metros y pausas del orden de unos 50 μs, acercándose a tierra. Estos tramos sucesivos "en zig-zag", invisibles para el ojo humano dada su rapidez y lo escaso de su luminosidad, van preparando un camino ionizado de mínima resistencia para la corriente eléctrica. Este camino es un canal, de varios centímetros de diámetro, lleno de plasma ionizado, que va a unir eléctricamente zonas con una diferencia de potencial del orden de decenas de millones de voltios.

La guía escalonada procedente de la nube, se dirige hacia la zona del suelo en que se ha producido la acumulación de cargas positivas inducidas, siendo atraída por las "sondas de conexión" que desde el suelo se van alzando al paso de la nube. Estas sondas de conexión tienen su origen por una parte en la acumulación de cargas en el suelo y por otra en el conocido como "poder de las puntas", dando como resultado un acercamiento de las cargas del suelo hacia las de la nube. Es justamente cuando la guía descendente enlaza con la sonda ascendente cuando tiene lugar la fase de contacto y se produce la primera "descarga de retorno" (return stroke), que es la de máxima intensidad, del orden de 40 kA. Al pasar esta corriente por el canal de plasma conductor, éste se calienta por efecto Joule, alcanzándose temperaturas de unos 20 000 ºK, con lo que el brusco calentamiento del gas da lugar a

ondas de choque que producen el sonido conocido como trueno.

Sobre el terreno, el objeto de los pararrayos es precisamente el facilitar la creación de las sondas de conexión para canalizar las descargas a través de vías controladas, y justamente por la misma razón, si queremos protegernos de las descargas, hay que evitar a toda costa generar con nuestro cuerpo ese tipo de sondas.

Llegados a este punto, es muy conveniente remarcar que las descargas eléctricas son bastante "miopes", en el sentido de que cuando la guía escalonada está en marcha y se va acercando al suelo, no elegirá la sonda de conexión teóricamente más perfecta, sino la que encuentre "más a mano", de forma que aunque exista un pararrayos a unas cuantas decenas de metros, es muy probable que opte por un árbol, un animal o una persona en un área despejada. De ahí que conviene tomar una serie de medidas, que luego comentaremos, para evitar ofrecerle al rayo sondas de conexión.

Tras la primera descarga de retorno, las cosas están preparadas para nuevas guías escalonadas, esta vez ya sin intentos sucesivos, sino utilizando el canal ya abierto a través de esa "guía rápida" (dart leader), de manera que nuevas descargas de retorno tienen lugar, en fracciones de segundo, por el mismo camino. Se han llegado a medir hasta varias decenas de descargas sucesivas, aunque todas ellas se confundan en una sola para el ojo humano, dado que el proceso completo tiene lugar en menos de una décima de segundo.

Medidas de protección

Si nos vemos inmersos en una tormenta, existen algunas medidas de protección para minimizar el riesgo de sufrir daños como consecuencia de las descargas eléctricas. En primer lugar conviene saber a qué distancia se están produciendo las descargas para poder actuar adecuadamente a tiempo, para lo cual pueden ser de utilidad las siguientes reglas:

1.- Contar los segundos que trascurren entre la visión del relámpago y la recepción del sonido del trueno. Dividiendo este resultado por 3 tendremos la distancia en km a que se ha producido la descarga.

2.- Si el tiempo registrado ha sido menor o igual a los 30 segundos, las descargas se están produciendo a menos de 10 km, por lo que conviene poner en marcha las medidas de protección adecuadas, como son:

- Evitar los lugares elevados y abiertos como montes, torres, campanarios, terrazas, azoteas o tejados.
- En los descampados, conviene "hacerse una bola" en el suelo aprovechando una zanja o cualquier fisura del terreno, especialmente si se percibe olor a ozono o se aprecia erizamiento del pelo o del vello de la piel.
- Si se va en grupo por el campo, lo mejor es dispersarse, separándose entre sí 30 metros o más. Separándose también en lo posible del ganado. si es que está presente.
- No cobijarse bajo árboles aislados o incluso en pequeños grupos de árboles. En un bosque, meterse siempre hacia el interior, evitar quedarse junto a los primeros árboles del borde.
- Los campos de deportes, especialmente campos de golf, presentan alto riesgo.
- Es particularmente peligroso agitar un palo de golf, una caña de pescar o mantener en la mano un paraguas abierto.
- Suspender el baño en mar, río o piscina, alejándose del agua y en general, siempre que sea posible, de las zonas húmedas.
- Evitar moverse o, si no hay remedio, hacerlo lentamente y por supuesto no correr.
- No acercarse a líneas de tendido eléctrico, ni a vallas o alambradas metálicas.

- Alejarse de cualquier objeto metálico como tractores, motos, bicicletas o coches (salvo que se esté en su interior, preferiblemente con el motor parado) y despojarse de cualquier objeto metálico.
- Dentro de la casa, cerrar herméticamente puertas y ventanas; para no crear corrientes de aire. Desconectar la toma de antena de los equipos y retirarlos de las proximidades del conector. Una buena medida global puede ser cortar el suministro eléctrico exterior. No conviene hablar por teléfono o bañarse, ni utilizar electrodomésticos. Las chimeneas de las casas son particularmente peligrosas, sobre todo si están encendidas.

Finalmente, dado que en un sistema convectivo compuesto por varias células tormentosas, a veces se producen pausas entre las descargas, una buena medida es la **Regla 30/30**: ***Poner en marcha las medidas de protección cuando la separación relámpago-trueno sea menor de 30 segundos y no desactivar las medidas hasta que el tiempo trascurrido desde la última descarga sea mayor de 30 minutos***.

AMS