

## **CAPÍTULO 13. LITOMETEOROS, ELECTROMETEOROS Y FOTOMETEOROS.**

En el presente capítulo se hará una descripción de los fenómenos meteorológicos visibles conocidos como los litometeoros, que son partículas sólidas microcópicas de las mas diversas naturalezas, cuyo tiempo de suspensión en la atmósfera depende de su tamaño; los electrometeoros, que corresponden a las manifestaciones de los fenómenos eléctricos que se producen en la atmósfera, cuyo principal exponente es el rayo; y los fotometeoros, término con el cual se hace referencia a los fenómenos de tipo óptico, como el arco iris o los espejismos.

### **13.1 LITOMETEOROS.**

Los *litometeoros* son, a semejanza de los hidrometeoros (ver Capítulo 6), sustancias que se encuentran presentes en la atmósfera. En este caso, se trata de partículas sólidas distintas del agua en cualquiera de sus estados, lo que supone un abanico muy amplio de elementos. Los litometeoros se encuentran o suspendidos en el aire, cuando su tamaño pequeño lo posibilita, o son temporalmente arrastrados y levantados del suelo por el viento, en el caso de partículas mayores que tienden a depositarse en la superficie. Por lo general, son producidos en regiones áridas y semiáridas, o al menos en zonas donde por su clima o por la estación en concreto en que nos hallemos, la humedad sea baja, ya que al humedecerse, aumenta el peso individual de las partículas, que tenderán a unirse formando grumos que serán más difícilmente levantados por los vientos. Cuando la humedad del ambiente es baja, las partículas tienden a disgregarse y a ser más fácilmente levantadas por los vientos. Los litometeoros más importantes son: *bruma seca o calima, tempestades, tormentas y torbellinos de polvo o arena, humo y partículas orgánicas en suspensión*, que los describiremos más detenidamente.

### ***13.1.1 Bruma seca o calima.***

La calima o bruma seca es polvo en suspensión, que flota debido a las corrientes de aire, puede ser tan tenue como una neblina, o llegar a ser tan espesa como la niebla, y puede llegar a afectar a las personas con problemas respiratorios. Al igual que la humedad al condensarse forma nubes, si el aire contiene muchos granos de polvo en suspensión, estos pueden llegar a formar una masa compacta que dificulta la visión. Esta suspensión en el aire de partículas secas, posee una principal característica diferenciadora, y es que son extremadamente pequeñas, de forma que resultan invisibles a simple vista, pero que cuando se concentran en una suspensión aérea son lo bastante numerosas como para proporcionarle al aire una leve opacidad (o no tan leve), dando como resultado un efecto de “aire turbio”. En otras palabras, la calima es un enturbiamiento de la atmósfera, producido por partículas microscópicas que en ocasiones, reducen la visibilidad hasta incluso a 4 o 5 km.

Las partículas en suspensión pueden formar una especie de polvareda microscópica de arena, humo, cristales de sal, polvo y hollín, pudiéndose encontrar también, un porcentaje bajo de gotitas de agua (menos del 70% de humedad relativa en el aire). La calima es frecuente cuando hay situaciones anticiclónicas en los continentes. Forma una especie de velo blanquecino, que atenúa los perfiles del paisaje. Por transparencia, parece azulada contra un fondo oscuro, y amarillenta contra un fondo blanco, mientras que la niebla es siempre grisácea.

### ***13.1.2 Tempestades de polvo o arena.***

Las fuentes principales de polvo o arena en el aire, son las regiones semi-desérticas y las áreas de tierra cultivada en las latitudes medias. Una tempestad de polvo o arena es el conjunto de partículas de polvo o arena, levantadas hasta grandes alturas por un viento fuerte y turbulento. La parte frontal de una tempestad de polvo o arena, puede tener el aspecto de una

*Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.*

alta y ancha pared llamada muro de polvo o arena. Cuando el viento sopla, son lanzados al aire polvo, arena, polen, etc. En casos extremos, se desarrollan verdaderas tormentas de arena, en especial sobre estepas y desiertos, favorecido por los fuertes cambios de temperatura que resultan causantes de vientos fuertes, junto a su reducido nivel de humedad que facilita la elevación de las partículas de arena arrastradas por esos vientos. En la figura 13.1 se observa una imagen de una tempestad de arena ocurrida en Pekín, el 20 de marzo del 2002, donde la visibilidad se redujo a menos de 500 m.

Figura 13.1 Tempestad de arena sobre Pekín, China.



En los desiertos el material pesado habitualmente no llega muy lejos, pero las partículas más finas son mantenidas en el aire, por los movimientos de turbulencia. La mayor parte de la materia levantada del suelo por el aire, es relativamente pesada, así que aunque en ocasiones hay tempestades de arena y ésta pueda ser arrastrada, el aire en conjunto está muy limpio, sobre todo de noche.

### ***13.1.3 Tormentas de polvo o arena.***

La diferencia principal con las tempestades de arena es su intensidad. Los fuertes vientos siempre pueden levantar el mantillo del terreno y esparcirlo por amplias regiones pero, en ocasiones, se combinan determinadas condiciones que producen enormes paredes de polvo que avanzan arrasando toneladas de tierra y escombros. Este tipo de sucesos suele ocurrir tras una larga sequía que haya dejado el terreno seco y polvoriento. Si en esa situación un frente frío atraviesa la zona, el aire ascendente puede levantar el mantillo del terreno y formar un muro de polvo imparable. El frente irá empujando el muro de polvo, que irá alimentándose de tierra a medida que avanza, creciendo en densidad. En la figura 13.2 se observa una tormenta de polvo sobre Alice Springs, Australia.

Figura 13.2 Tormenta de polvo sobre Alice Springs, Australia.



### *Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.*

Generalmente se considera que la nube de polvo es una tormenta de polvo si la visibilidad se ve reducida a menos de un kilómetro. Si disminuye a medio kilómetro o menos, se considera grave. El polvo puede elevarse hasta 3000 metros, desplazarse miles de kilómetros y mantenerse en el aire durante días. Por ejemplo, tormentas de polvo generadas por frentes intensos en el sureste australiano han llegado a llevar polvo a través del mar de Tasmania hasta Nueva Zelanda, produciendo nieve roja, teñida de polvo, en los Alpes neozelandeses. A veces las tormentas de polvo van precedidas de tolváneras que se han separado del frente principal, pero no suelen causar grandes daños. Las grandes tormentas de polvo con frecuencia dejan detrás de ellas una gran cantidad de polvo fino que se infiltra en todo los rincones de las casas y se abre camino incluso entre las páginas de los libros. El daño de mayor importancia que causan las tormentas de polvo es el barrido del mantillo fértil de las tierras de labranza y otros terrenos.

Figura 13.3 Tormenta de arena desde el Sahara hacia el Atlántico norte.



En ocasiones, las tormentas de arena la desplazan a zonas distantes, desde el desierto en que se originan, como sucede en el caso de las Islas Canarias, hasta donde suele llegar la arena que llevan los vientos del desierto del Sahara, en el noroeste de África, que se dirigen hacia las islas, como se observa en la imagen de satélite de la figura 13.3.

#### ***13.1.4 Torbellinos.***

Conjunto de partículas de polvo o de arena, a veces acompañadas por pequeños desechos, levantadas del suelo en forma de columna giratoria de altura variable, con diámetro pequeño y un eje aproximadamente vertical. Estos torbellinos, también llamados tolvaneras, se producen no necesariamente en presencia de corrientes de aire de tipo convectivo. Son particularmente visibles cuando una corriente de aire ascendente, llamada “corriente térmica” por los pilotos de planeadores, atraviesa las zonas de tierra seca y los campos arados, cuya tierra removida hace que se levanten nubes de polvo. Son frecuentes en las regiones áridas y desérticas, donde las variaciones térmicas entre el día y la noche, son muy pronunciadas y favorecen el arrastre de estas pequeñas partículas.

Los torbellinos tienen la apariencia de una diminuta tromba o tornado, con la diferencia que por lo general, no se asocian a una nube y se originan desde la superficie de la tierra hacia arriba. Por lo general, el promedio de altura que alcanzan son del orden de los 20 metros, y su duración varía según el tipo de suelo en que se produzcan.

#### ***13.1.5 Humo.***

El humo es suspensión en el aire, de pequeñísimas partículas producidas habitualmente por la combustión. En las grandes áreas industriales, pueden alcanzar concentraciones que afectan considerablemente la visibilidad, especialmente cuando el aire es estable.

Habitualmente estas partículas se consideran contaminantes ambientales, ya que salvo en condiciones excepcionales como grandes incendios naturales, no se encuentran de forma espontánea en la naturaleza, sino que se derivan de la actividad humana. A menudo se puede ver orlando las grandes ciudades una campana grisácea formada por los humos y partículas en suspensión. Estos contaminantes tienen diversas fuentes de origen, (ver Capítulo 11) entre ellas las principales son los motores de los vehículos, de industrias, aserraderos, incendios, erosión del suelo, etc. Las partículas liberadas a la atmósfera pueden tener múltiples orígenes, y ser de naturaleza tanto química, física o biológica, como ocurre por ejemplo con el polvo de harina liberado en las molindas. La imagen de la figura 13.4 muestra el efecto de una severa contaminación por humo sobre Beijing, tomada en marzo de 2000.

Figura 13.4. Contaminación por humo en Beijing, China.



### **13.1.6 Partículas orgánicas en suspensión.**

Existe otro tipo de partículas que pueden hallarse suspendidas en el aire pero que no se consideran estrictamente meteoros. Son partículas orgánicas en suspensión formadas por pólenes, hongos, mohos o esporas, y otros restos orgánicos, que estacionalmente pueden incluso saturar la atmósfera, dependiendo de la estación del año, en el caso de los pólenes, o de las condiciones ambientales como humedad y temperatura, en el caso de hongos y mohos.

## **13.2 METEOROS ELÉCTRICOS.**

Los meteoros eléctricos o electrometeoros son los fenómenos eléctricos que ocurren en la atmósfera. Su origen se debe a la existencia de carga eléctrica atmosférica y en diferente medida al campo magnético de la Tierra. Entre estos fenómenos, destacan el *rayo*, las *auroras boreales* y el *fuego de San Telmo*.

### **13.2.1 Rayo y relámpago.**

El rayo es un electrometeoro que se presenta brillante, resplandeciente, y casi nunca sigue una línea recta, sino que describe un camino tortuoso para llegar al suelo, como si se tratara de las raíces de un extraño árbol. Pero otras veces se presenta como una lámina de fuego y, en raras ocasiones, como una esfera intensamente iluminada que queda suspendida en el aire. Puede producirse entre dos nubes, en este caso se conoce como *relámpago*, o llegar desde las nubes a la tierra, denominándose *rayo*. El rayo es uno de los fenómenos más peligrosos de la atmósfera, su aparición es sólo momentánea, y dura unos pocos segundos, seguida a los pocos momentos por un *trueno*.

Es casi imposible determinar con antelación cuando o donde caerá exactamente un rayo, e incluso su mecanismo de formación es en gran parte

un misterio, sobre el que se han enumerado múltiples hipótesis, ninguna de ellas aceptada totalmente por la comunidad científica. Lo que sí se sabe a ciencia cierta es que el rayo es una enorme chispa o corriente eléctrica que circula entre dos nubes o entre una nube y la tierra, puede recorrer kilómetros de distancia desde su origen hasta su desaparición y se origina en los cumulonimbos o nubes de tormenta. En la figura 13.5 se muestra la imagen de un relámpago.

Figura 13.5 Rayo nube – nube o relámpago.



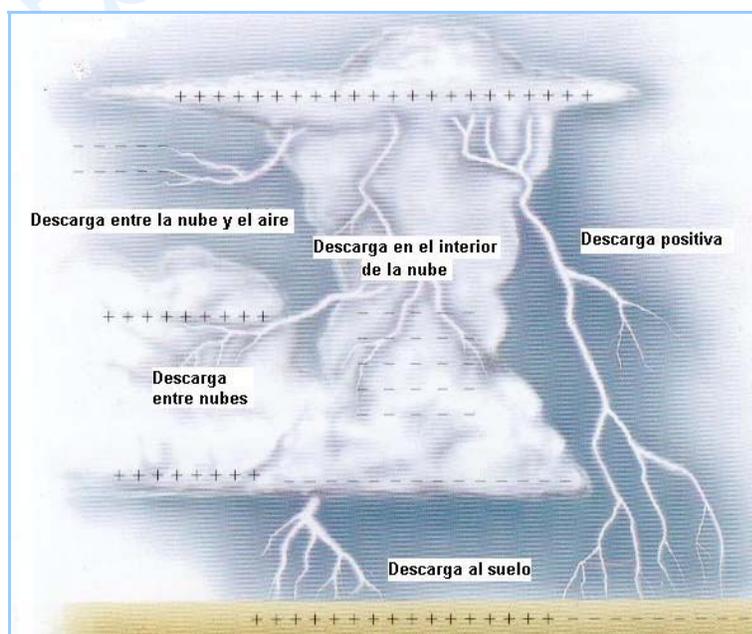
### *13.2.1.1 Como se produce un rayo.*

El rayo es una descarga eléctrica entre dos centros con distinta carga. Es decir, es condición indispensable para que se produzca un rayo que exista un gradiente de potencial eléctrico entre dos regiones de una nube, o entre una nube y el suelo. Pero, ¿cómo llega una nube a cargarse de energía eléctrica? Existen varias teorías que tratan de explicar cómo se produce

### Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.

este fenómeno. En primer lugar, se sabe que las partes superiores de las nubes de tormenta poseen carga positiva, mientras que en las partes centrales predominan las negativas. Algunas veces, un pequeño centro cargado positivamente aparece en la lluvia, en la parte inferior de la nube. La región de máxima intensidad de campo eléctrico se halla entre las dos zonas principales de distinta polaridad. En la figura 13.6 se muestra un esquema de la formación de rayos.

Figura 13.6 Esquema de la formación de un rayo.



#### 13.2.1.2 La presencia de cristales de hielo.

Sin embargo, no hay un consenso entre los científicos sobre las condiciones necesarias para que se produzca esta carga eléctrica. Para algunos, sería imprescindible la presencia de cristales de hielo, mientras que para otros, esto no sería necesario. La mayor parte de los meteorólogos opinan que la primera clase de hipótesis es la correcta, puesto que las descargas

### *Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.*

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.

Se cree que la formación de los centros de carga en las nubes de tormenta tiene lugar cuando el granizo recoge más agua líquida de la que puede ser congelada al instante. Una vez que se inicia la solidificación, parte del agua que no pasa inmediatamente al estado sólido es arrastrada por la corriente vertical de aire. Las pequeñas gotitas de agua, llevadas hacia arriba, constituyen la porción de carga positiva que corona la nube, mientras que las partículas de hielo más grandes caen hacia alturas menores. También se ha demostrado que la ruptura de una gota de agua en una fuerte corriente vertical de aire produce una separación de cargas eléctricas. En este proceso las grandes partículas de agua conservan el signo positivo, mientras que el aire adquiere signo negativo. Esta separación conduce a una polaridad opuesta a la que está asociada con los principales centros de carga de las tormentas, pero explica perfectamente el pequeño núcleo positivo cercano a la base de la nube.

#### *13.2.1.3 La captura de iones.*

Otros meteorólogos físicos 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 sus teorías difieren en principio, ninguna de ellas requiere la presencia de partículas de hielo. Todas están basadas en la captura de iones, diminutas cargas eléctricas en el aire, por parte de las gotitas de nube.

Las variaciones de estas teorías, llamadas de *captura de iones*, son muchas, y existen evidencias de laboratorio que confirman la efectividad de

algunas de ellas. Uno de los más fuertes argumentos de sus defensores es que dicen haber observado relámpagos en pequeñas nubes convectivas en las que no existía hielo. Si esas observaciones pueden ser corroboradas, es evidente que las partículas de hielo no son necesarias y que las teorías de captura de iones se harán más sostenibles.

En general, podemos decir que para que se forme un rayo, el gradiente de potencial eléctrico entre dos regiones de una nube, o entre una nube y el suelo, cualquiera que sea el origen de ese gradiente, debe ser mayor que el valor crítico de unos 10.000 volts por centímetro (la corriente doméstica moderna posee un voltaje de 220 voltios). En estas condiciones, se producirá la necesaria chispa eléctrica, el relámpago y luego el trueno.

#### ***13.2.1.4 El trueno.***

Cuando se produce el rayo se origina también el ***trueno***. El calor producido por la descarga eléctrica, calienta el aire y lo expande bruscamente, dando lugar a ondas de presión que se propagan como ondas sonoras. Cuando esas ondas sonoras pasan sobre el observador, éste percibe el ruido denominado trueno. La velocidad del sonido del trueno se propaga más lentamente que la del rayo, a unos 330 metros por segundo, por esta razón el trueno se oye después de desaparecer el rayo. El trueno se debe a que el sonido que se produce a lo largo de todo el recorrido de la descarga eléctrica, puede medir kilómetros de longitud.

#### ***13.2.1.5 Centellas.***

Es muy popular la expresión ¡rayos y centellas! Pero, ¿son conceptos iguales? Pues no exactamente, aunque sí comparten la misma naturaleza. Ambos son fenómenos relacionados con las descargas eléctricas. El rayo es una descarga principal, muy potente y destructiva. Es el tronco principal por donde se mueven los chorros de electrones en dirección nube-tierra o nube - nube. En cambio, una centella es una rama secundaria que

parte del rayo principal, una descarga menos potente que se ramifica del rayo protagonista. Su carga eléctrica es mucho menor y de alcanzar a alguien no suele producirle la muerte, aunque sí lesiones graves, como sordera, infartos, parálisis, quemaduras, etc. Se sobrevive a las centellas, no a los rayos. Son muchos los montañistas que habiendo dicho que les cayó un rayo encima no saben que en realidad fue una centella o quizás un rayo que cayó varios metros lejos de ellos.

### ***13.2.2 Auroras, fantasmas en el firmamento.***

En las noches claras de Alaska, Canadá, Noruega, Finlandia, del norte de Rusia o la Antártica, se ve a menudo en el cielo un resplandor verdoso, de sorprendente colorido y espectacularidad, al que se le conoce como *Aurora*, (figura 13.7). La luz de la aurora se produce a una altura de unos 100 km cuando los rápidos electrones que llegan del espacio golpean los átomos y las moléculas de la atmósfera. La pantalla de su computador, que muestra estas palabras, se ilumina probablemente de forma similar, mediante un haz de electrones acelerados eléctricamente hacia la pantalla, este haz se guía y se modula para que forme las letras y las imágenes.

#### ***13.2.2.1 La ubicación de las auroras.***

La ubicación de las auroras sobre la Tierra está muy dominada por el magnetismo terrestre. En el siglo XIX se observó que ocurrían más frecuentemente en un cinturón estrecho, la *zona auroral*, que circunvala el polo magnético. Sus arcos y cordones también están alineados aproximadamente con esa zona, localizada en las inmediaciones del polo norte magnético, a modo de círculos concéntricos, y el “circulo de fuego” auroral esta alineado, evidentemente con estos campos. La correspondencia magnética también está demostrada por el hecho de que los rayos de la aurora se sitúan a lo largo de las líneas del campo magnético y que en el campo magnético terrestre se observa por debajo una aurora brillante y activa que tiende a perturbarse.

Figura 13.7 Imagen de una aurora boreal.



#### ***13.2.2.2 La luz verde de las auroras.***

El color verde de la aurora tiene un orden definido de forma precisa en el espectro (*línea espectral estrecha*). Esos colores exactos son normalmente las firmas de los átomos que los emiten: por ejemplo, las ampollitas (dependiendo del vapor metálico que contengan) emiten generalmente la luz amarillo-naranja del sodio o la luz azulada del mercurio.

La luz verde de la aurora desconcertó a los científicos durante muchos años, puesto que no se adaptaba a ningún elemento conocido. Parece estar producida por átomos de oxígeno, pero bajo condiciones que, en nuestra atmósfera, solo existen en niveles altos muy rarificados. La aurora roja, vista en ocasiones, surge aún a mayores alturas y también se produce por electrones que golpean al oxígeno. Durante las tormentas magnéti-

cas, el resplandor puede moverse hacia el sur y de vez en cuando se puede ver en latitudes medias altas. Surge como un resplandor en el horizonte, parecido al que precede al amanecer, y por eso entre los científicos se le conoce como la aurora boreal (por comodidad la aurora), nombre en latín del “amanecer del norte”, aunque también se ve un fenómeno similar en las regiones polares del sur, la aurora austral.

### ***13.2.3 Fuego de San Telmo.***

El ***Fuego de San Telmo*** son pequeñas chispas o descargas eléctricas minúsculas que saltan de los objetos punzantes y metálicos. Se trata de un fenómeno que se puede observar en la alta montaña cuando se avecinan tormentas, aunque también se aprecia en los mástiles de los barcos (al nivel del mar). En general, todos aquellos objetos buenos conductores de la electricidad empiezan a desprender pequeños chasquidos debidos a la carga eléctrica atmosférica. Son descargas eléctricas continuas, de intensidad débil o moderada, que emanan de los objetos elevados sobre la superficie terrestre (pararrayos, veletas, mástiles de barcos, etc.).

Este fenómeno eléctrico, se atribuye a las llamadas ***descargas tranquilas***, que se producen por inducción eléctrica de una nube sobre los objetos terrestres terminados en punta, y que se observan sobre todo cuando las tormentas han pasado rozando la superficie. En estos objetos aparecen unas llamitas azules, acompañadas de un zumbido o chisporroteo, debido a las descargas. El Fuego de San Telmo es conocido desde la antigüedad por los marinos; de él se posee una descripción, en el relato del segundo viaje de Cristóbal Colón (1493) redactado por su hijo Fernando en el diario de a bordo del Almirante.

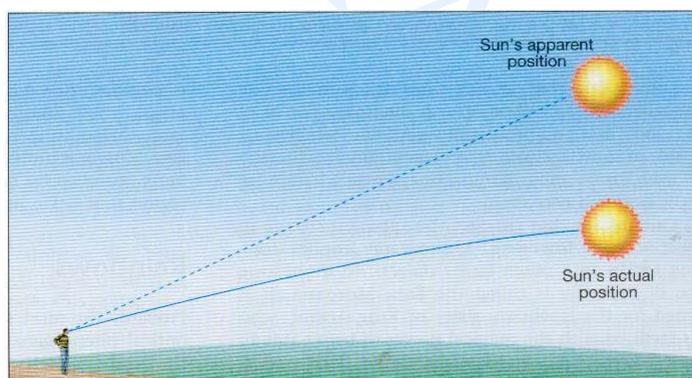
### ***13.3 METEOROS LUMINOSOS O FOTOMETEOROS.***

Los fotometeoros son fenómenos luminosos que se producen en la atmósfera terrestre por diversas propiedades de la radiación luminosa. Es

### Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.

decir, ocurren cuando se producen efectos especiales en la atmósfera con la luz solar. Estos efectos especiales pueden ser fenómenos de difracción, de reflexión, refracción, dispersión o interferencia de la luz solar directa o reflejada por las superficies. El más conocido por todos es por supuesto el **arco iris**, que se produce por la refracción de los rayos de luz en las gotas de lluvia. Pero existen otros, como los fenómenos de **halo** luminoso o **corona** solar y lunar, el **espejismo** en sus diversas manifestaciones o la **coloración del cielo**. En este grupo de fenómenos también se incluye la refracción atmosférica, que da por resultado el titilar de las estrellas y la deformación de las imágenes, como se ve en la figura 13.8, de la misma manera en que para un objeto inmerso en el agua se deforma su imagen y cambia su posición aparente viéndose en otro lugar. No obstante, la cantidad de fenómenos ópticos (y también eléctricos) que se producen en la atmósfera, es de tal magnitud que muchos de ellos se desconocen, tanto los fenómenos en sí como el origen de su formación.

Figura 13.8 Esquema de refracción en la atmósfera.



#### 13.3.1 El arco iris.

El arco iris es un arco luminoso de todos los colores del espectro de la luz: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, y violeta (figura 13.9). Se forma por refracción, reflexión total y por la dispersión de la luz. Es visible

*Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.*

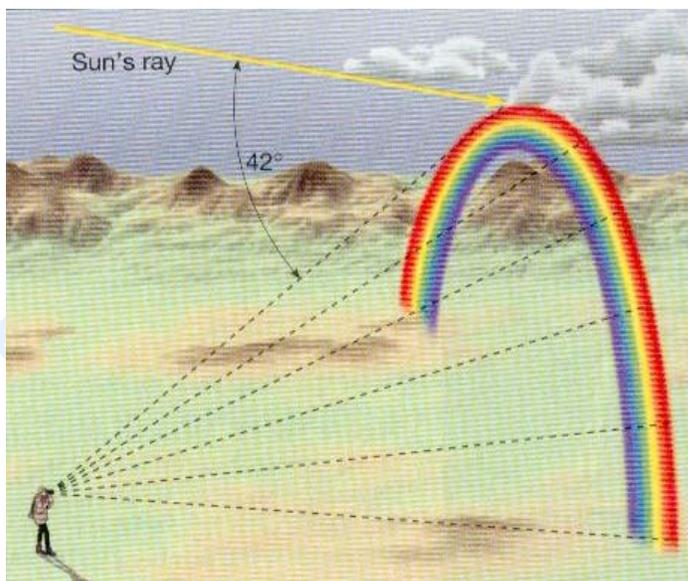
cuando el sol brilla a través del aire que contiene las gotas de agua y esto ocurre durante o inmediatamente después de la lluvia. Cuando la luz del sol penetra las gotas de agua, se refleja en las superficies interiores de éstas. Mientras pasa a través de las gotas, la luz se separa en los colores que la componen, lo que produce un efecto muy similar al de un prisma. Por un instante, cada gota de lluvia destella sus colores al observador, antes que otra gota de lluvia tome su lugar.

Figura 13.9 Arco iris.



Usualmente, un arco iris se puede observar en la dirección opuesta del sol. La luz del arco iris es reflejada al ojo, a un ángulo de 42 grados en relación con el rayo de sol, como se muestra en la figura 13.10. La forma de arco, es debida al cono de luz que es cortado por el horizonte. Debido a que el ángulo de inclinación de 42 grados es medido desde el ojo de cada observador, no hay dos personas que vean exactamente el mismo arco iris. Cada persona se encuentra en el vértice de su propio cono de luz. Desde un punto panorámico de lo alto de una montaña o de un avión, se puede observar en ciertas ocasiones, el círculo completo del arco iris.

Figura 13.10 Descripción de la forma de arco del arco iris.



### ***13.3.1.1 El orden de sus colores.***

A menudo se observa un arco iris secundario rodeando al primario. Es más débil que éste y forma  $51^\circ$  con el eje. El orden de los colores del arco iris primario es, del exterior al interior, rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul y violeta, siendo inverso el orden en el arco iris secundario. La anchura y el brillo de cada banda varía grandemente. Es posible incluso ver varias bandas “supernumerarias” alternantes de color rosa y verde en la parte interna del primario e incluso, a veces, en el secundario. El cielo entre ambos arco iris es más oscuro que fuera de ellos, zona conocida como la “banda de Alexander”, debido a la poca dispersión que sufre la luz solar entre los dos arcos.

La “pureza” de los colores del arco iris depende del tamaño de las gotas de agua. Las gotas grandes (diámetros de algunos milímetros) producen los arco iris brillantes con colores bien definidos; las gotitas pequeñas

(diámetros de cerca de 0,01 milímetros) producen los arco iris de colores lechosos casi blancos. Como nunca las gotas de lluvia tienen un solo tamaño sino una mezcla de muchos tamaños y formas, los arco iris no son homogéneos sino compuestos.

Por otro lado, cuando quedan 5 ó 10 minutos para que se ponga el sol desaparecen todos los colores, salvo el rojo; por dentro del arco iris el cielo toma un color rosa salmón y, por fuera gris azulado. Incluso con el sol puesto el arco iris puede seguir viéndose durante unos 10 minutos más, aunque con su base oculta por la sombra terrestre (no olvidar que al final del arco iris se encuentra una marmita llena de monedas de oro).

### ***13.3.2 Los halos luminosos.***

A menudo habremos observado un halo o sombra luminosa y coloreada alrededor del Sol o de la Luna, que sin tocarlo lo rodea formando un anillo de luz a su alrededor (figura 13.11). Este es el fenómeno del ***halo*** o ***corona*** solar o lunar. Los halos son fotometeoros que aparecen alrededor del Sol en forma de un gran arco o de circunferencia, ya sea completa o no. Este círculo luminoso se forma con el Sol en su centro geométrico cuando los rayos del sol inciden en los cristales de hielo de forma regular de las capas superiores de la atmósfera, que se encuentran en nubes altas, como cirros o cirroestratos. Estos cristales actúan a modo de prismas, produciendo un fenómeno de refracción de la luz. El halo se suele situar a unos 22 grados de radio, aunque en ocasiones se puede comprobar la existencia de un segundo halo mayor y exterior, de 46 grados de radio, concéntrico al halo principal.

#### ***13.3.2.1 La coloración de un halo luminoso.***

El halo tiene la coloración típica del arco iris, ya que como éste, se produce por refracción de la luz. Sin embargo, los colores se encuentran en él invertidos. Es decir, la coloración rojiza se encuentran en el interior,

### Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.

produciéndose una gradación cromática hacia el azul a medida que se avanza hacia el exterior del halo. En el segundo halo, el orden se invierte, quedando distribuida de forma similar a lo que ocurre con el arco iris: la coloración rojiza en el exterior y la azulada en el interior del halo.

Figura 13.11 Halo o corona solar.



Los dos halos mencionados antes pueden ir acompañados de otros fenómenos luminosos: podemos encontrar arcos luminosos tangentes al halo de 22 grados, o arcos espectaculares que duran incluso horas. O incluso un par de pequeños globos luminosos, los denominados *parhelios* o falsos soles (figura 13.12), que como su nombre indica, parecen ser dos pequeños soles, situados a la derecha e izquierda del arco menor. Normalmente los halos son difíciles de observar a simple vista, ya que la potente luz del Sol dificulta su observación directa. La cosa mejora si para observarlos se utilizan gafas de sol.

Por tanto, los halos indican siempre presencia de hielo, pero combinada con una ausencia de turbulencia, ya que exigen una orientación definida de las caras de los prismas de hielo. Los fenómenos de halo se han asociado a la aparición de frentes: suelen observarse uno o dos días antes de la llegada del frente.

Figura 13.12 Parhelios.



### ***13.3.3 Los espejismos.***

Todos estamos más o menos familiarizados con los espejismos. Normalmente son fenómenos que ocurren en países lejanos llenos de arena y mucho calor. Esto es cierto, pero también se producen espejismos, y muy frecuentemente, en nuestras latitudes. Sólo es necesario saber observarlos. La base física mediante la que se produce un espejismo es relativamente sencilla. Se fundamenta en la curvatura que sufre un rayo de luz al atravesar capas de aire de distinta densidad, por ejemplo cuando las capas más cercanas al suelo están sobrecalentadas.

En este fenómeno de refracción, se produce fundamentalmente la percepción de objetos alejados en forma de imágenes más o menos temblorosas, sencillas o complejas, derechas o invertidas, agrandadas o deformadas, o de alguna manera desplazadas de sus posiciones reales. Las consecuen-

### *Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.*

cias del espejismo son los desplazamientos laterales de la imagen, que apareciendo totalmente normal a la vista, resulta que, a causa de un doble efecto de visión la imagen se materializa en un lugar en el que no está en realidad. En la imagen de la figura 13.13, se observa un espejismo formado sobre una zona desértica calurosa.

Figura 13.13 Imagen de un espejismo.



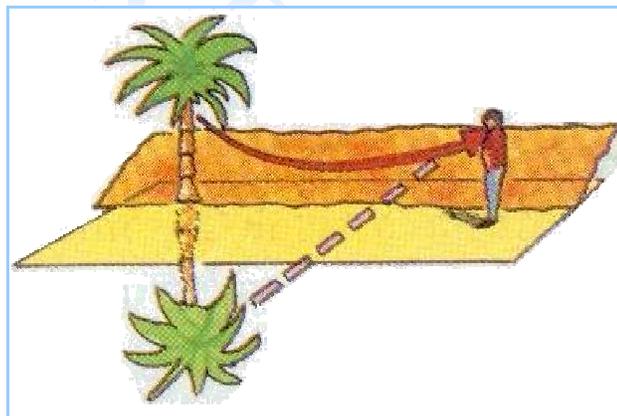
#### *13.3.3.1 Tipos de espejismos.*

Existen varios tipos de espejismos, que se producen en condiciones similares, pero en diferentes ubicaciones. Son los espejismos inferior, lateral y superior.

**a. Espejismo inferior.**

Son quizá los espejismos más conocidos por todos, que se producen en las carreteras, sobre el asfalto. A menudo, en los días de calor muy intenso, nos da la sensación de que hay una mancha de humedad, un charco de agua sobre el asfalto, que incluso refleja los objetos, como haría una superficie acuosa real. Se originan cuando la capa de aire que hay sobre el asfalto, al sobrecalentarse se hace menos densa que las capas superiores, más densas, de forma que los rayos de luz que inciden sobre ella oblicuamente se ven desviados ligeramente, de la misma manera en que lo harían si sobre esa superficie realmente hubiera una superficie húmeda, como se muestra en el esquema de la figura 13.14.

Figura 13.14 Espejismo inferior.



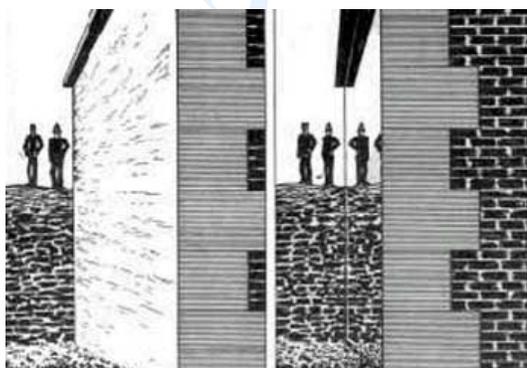
Para que este espejismo se produzca, es necesario que el aire recalentado, el menos denso, se encuentre debajo del aire más denso y pesado, que como tendencia natural debería estar debajo. Sin embargo, cuando la capa de aire caliente se desplaza hacia arriba, el extremo calor del asfalto hace que se recaliente la siguiente capa, de forma que hay un recambio continuo de aire poco denso sobre la superficie del suelo que permite que se produzca este fenómeno. Por eso, sólo se puede producir en condicio-

nes de mucho calor, donde haya temperatura suficiente para calentar continuamente nuevas capas de aire, como ocurre en carreteras asfaltadas, o en las arenas ardientes del desierto.

***b. Espejismo lateral.***

Un tipo especial de espejismo es el lateral. Se produce en superficies verticales, como paredes, muy recalentadas por el sol. Una persona apoyada en la pared, verá los rayos luminosos que inciden muy oblicuamente, y al igual que ocurre en el tipo de espejismo inferior, estos se desviarán al incidir en la capa recalentada de aire menos denso que hay junto a la pared, desviando los rayos como lo haría una superficie acuosa. El efecto será semejante a ver una mancha de agua sobre esa pared (figura 13.15).

Figura 13.15 Espejismo lateral.

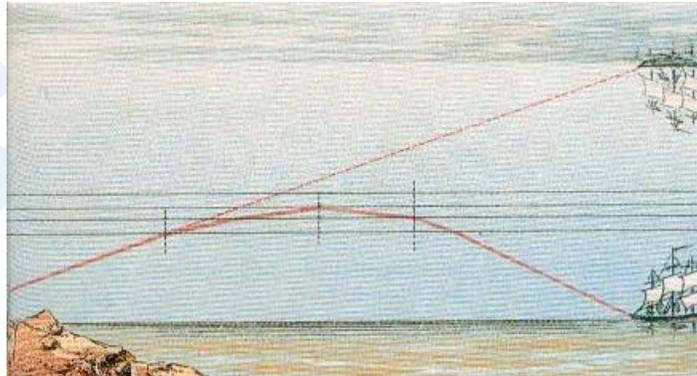


***c. Espejismo superior.***

Existe otro tipo de espejismo que al contrario que el inferior se produce precisamente en condiciones de frío, y no de calor. En estos casos, las imágenes de los objetos se forman en la atmósfera, no sobre las superficies, y además se desplazan por encima de su posición real (figura

13.16). Esto ocurre cuando el gradiente de temperatura cerca de las superficies es inferior al normal, especialmente cuando se dan condiciones de inversión térmica en los campos de nieve, los mares fríos, etc.

Figura 13.16 Espejismo superior.



#### ***13.3.4 Gloria o Corona de Ulloa.***

Las glorias consisten en una o más series de anillos coloreados que un observador puede ver alrededor de los objetos opacos al difractarse la luz en torno a ellos. La luz se concentra en una zona alrededor del objeto, zona que está por tanto más iluminada y contrasta fuertemente con la sombra del objeto al que envuelve (figura 13.17). El nombre tiene su origen en la observación del fenómeno en torno a una cabeza, dando la sensación de ser la aureola de un santo.

#### ***13.3.5 Irisación de nubes.***

Colores observados en las nubes, ya sean mezclados o bien con aspecto de bandas paralelas bien separadas y paralelas a los contornos de las nubes. Los colores más frecuentes son el verde y el rosa, a menudo como matices de tonos pastel (figura 13.18).

*Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.*

Figura 13.15 Gloria.



Figura 13.18 Nubes iridiscentes.



### **13.3.6 El color del cielo**

Entre los diversos colores que puede presentar la bóveda celeste, el más general es el tinte azul del cielo sin nubes, que puede variar desde el azul oscuro al azul pálido, casi blanco. Esta coloración se debe a la difusión de la luz solar por la atmósfera. Si no hubiera atmósfera, el cielo aparecería de color negro y el Sol se presentaría a nuestra vista, como un agujero circular brillantísimo. Ese es el aspecto del cielo, observado desde fuera de la atmósfera terrestre.

Según lo estudiado en el Capítulo 3, la difusión de la luz debido a las moléculas del aire, es más intensa para los rayos azules que para los rojos y por eso, los primeros predominan en el color del cielo. Al atardecer, a medida que el Sol se acerca al horizonte, el azul del cielo se torna verde amarillento y finalmente, amarillento anaranjado (figura 13.19). Una vez que el Sol se ha ocultado, en contraste con el color más oscuro superior, su luminosidad se llama arco crepuscular. En la parte opuesta del cielo, o sea al oriente, aparece una zona oscura limitada por un arco o reborde, de color vinoso, lo cual se atribuye a la sombra de la Tierra sobre la atmósfera. Lo mismo, pero en orden inverso, se produce a la salida del Sol.

### **13.3.7 El rayo verde.**

El rayo verde, visible cuando el Sol desaparece en el horizonte si el tiempo es claro, y de preferencia en la orilla del mar, ha sido muy discutido. Se atribuye a un fenómeno de dispersión que acompaña al de refracción. En efecto, el disco solar aparece rodeado de una aureola verde en el momento de su ocaso: una vez que el Sol ha desaparecido, hay un instante en el cual sólo es visible una aureola y entonces se tiene el rayo verde (figura 13.20). En el fondo, el rayo verde es un fenómeno fisiológico que el ojo exagera por contraste con la tinta roja del Sol poniente, a la cual sucede de un modo inmediato. Se observa también a la salida del Sol. El mar no desempeña papel alguno en este fenómeno, pero facilita la observación del mismo.

*Cap 13. Litometeoros, electrometeoros y fotometeoros.*

Figura 13.19 Color del cielo al anochecer.



Figura 13.20 Rayo verde.

