

Ciencia

Rayos y truenos

La amenaza de la fulguración del rayo dominaba a la rebelde familia del monte Olimpo. Las iras de Zeus, la divinidad del cielo luminoso y de los fenómenos atmosféricos, acababan con una magna manifestación de su poder en forma de relámpagos y truenos. Así, en la mítica Grecia antigua se justificaban estas manifestaciones atmosféricas, que por su grandeza y espectacularidad fueron patrimonio de las más importantes deidades. Hoy, aunque no hayan perdido aún su carácter misterioso y violento de manifestaciones de "fuerzas ocultas", la ciencia nos informa de cómo se producen y cuáles son sus efectos.

El trueno y el relámpago están asociados a las tormentas, espectaculares procesos atmosféricos, que con mayor o menor regularidad se producen en esta época del año por nuestras latitudes. Las tormentas se desarrollan al formarse nubes con grandes concentraciones de hielo y agua a temperaturas por debajo de los -20°C . Suelen proceder de nubes cumlifórmes, que se extienden más allá de los 6 km de altura y que llevan asociadas fuertes lluvias y continuas y rápidas sucesiones de truenos y relámpagos que configuran, sobre todo si es de noche, un gran espectáculo.

A pesar de su ocasionalidad, juegan un papel importante en la configuración del entorno en que vivimos. En este artículo pretendemos discutirlo brevemente.

Es bien sabido que los relámpagos se producen debido a las distintas concentraciones de cargas eléctricas que adquieren las nubes, unas respecto a otras, o bien una nube respecto del suelo. Sin embargo, en condiciones de tiempo estable, la atmósfera no tiene, como mínimo cerca de la superficie, una distribución uniforme de las cargas eléctricas, sino que hasta una altura de 50 kilómetros, aproximadamente, existe una distribución de cargas, que dan lugar a un campo eléctrico.

Los efectos de esta electrificación atmosférica son que por cada metro de altura el potencial eléctrico aumenta en promedio

100 voltios. A 50 km la diferencia de potencial eléctrico con respecto a la superficie alcanza los 400.000 voltios, que se mantienen apreciablemente uniformes en todo el planeta.

Cualquier conductor sometido a un voltaje de 400.000 voltios se vería sometido a enormes corrientes eléctricas. Sin embargo, el aire, en esta capa de 50 km es muy poco conductor, ya que está débilmente ionizado; no obstante, localmente se produce una pequeña corriente eléctrica que alcanza valores de 10^{-12} amperios por metro cuadrado de superficie. Aun así, esta corriente, cuando se evalúa globalmente para todo el planeta, es de 1.800 amperios, que bastarían para reducir los 400.000 voltios a cero en apenas media hora.

Los experimentos muestran que, a pesar de esta constante corriente eléctrica, los 400.000 voltios se mantienen. ¿Cuáles son, pues, los mecanismos reguladores de la carga eléctrica en la atmósfera? Son varios. Los más importantes son los relámpagos, las corrientes de ionización que se producen durante los intensos campos eléctricos de una tormenta y la carga transportada durante las precipitaciones.

Así pues, a pesar de su aparente impredecibilidad, los relámpagos tienen una contribución importante al mantenimiento del campo eléctrico atmosférico. Mientras el lector está leyendo estas líneas, en todo el globo se están produciendo unas 1.800 tormentas. En un día se producen unas 45.000, con una distribución muy irregular. Mientras zonas del planeta están sometidas a unas 200 tormentas anuales, en otras regiones es un fenómeno raro o prácticamente desconocido.

Una tormenta es un fenómeno complicado de describir. La radiación solar calienta la superficie terrestre y la re-radiación hacia el espacio exterior se produce desde las capas altas atmosféricas, que por consiguiente están más frías. Así, a medida que ascendemos, la temperatura disminuye a un ritmo de aproximadamente $1,3^{\circ}\text{C}$ cada 200 m. El aire en contacto con el suelo está,

pues, más caliente y, por lo tanto, es más ligero, tendiendo a ascender. Este ascenso no es indefinido. Al subir, la masa de aire se enfría a un ritmo que depende de su composición, que puede ser superior o inferior a la del entorno que la envuelve. Si es superior, la situación es de estabilidad, ya que igualará rápidamente su temperatura con la del entorno y detendrá su ascenso; en cambio, si es inferior el ascenso cada vez será más rápido, ya que la masa de aire estará cada vez más caliente con respecto al aire del entorno. Esta condición es la que se da en una nube tormentosa.

La ascensión vertical y el consiguiente descenso de temperaturas comporta la formación de partículas de hielo, junto con gotas de agua superenfriada (agua en estado líquido a temperaturas inferiores a la ambiente) además de otras pequeñas partículas, que en sus choques mutuos pueden producir una electrificación de la nube. El resultado es una masa nubosa con sus partículas más pesadas cargadas negativamente situadas en la base y las más ligeras cargadas positivamente en las zonas más altas. La carga de ambas zonas es de unos 30 culombios, separadas por una zona central que contiene una mezcla de cargas de ambos signos en la misma proporción. En la base de la nube el potencial eléctrico es de $-100.000.000$ voltios.

Los relámpagos son descargas que se producen cuando el aire no puede mantener por más tiempo una acumulación de cargas determinada de distinto signo entre dos nubes o entre una nube y el suelo. A presión atmosférica, la descarga se produce cuando el campo eléctrico es de 10.000 voltios por centímetro.

En estas circunstancias se inicia una descarga inicial de cargas negativas que avanzan hacia el suelo en una serie de pasos, siguiendo un camino irregular de pocos centímetros de diámetro a la velocidad de 10^8 cm/s. Su avance se repite a intervalos de 50 microsegundos y dado que la intensidad de la corriente eléctrica asociada llega a 1.000 amperios. Ante la proximidad de la co-



riente de descarga inicial (negativa), se forma en la superficie una acumulación de cargas (positiva) que inicia un camino ascendente (5-50 m). Cuando ambas descargas se encuentran, se establece el contacto y se crea un camino conductor por el que se mueven vertiginosamente las cargas positivas y negativas (10^{10} cm/s), alcanzando una intensidad de corriente de 100.000 amperios y causando un intenso calentamiento y luminosidad. La temperatura llega hasta los 25.000°C , con la correspondiente disociación de las moléculas de aire en sus átomos constituyentes, muchos de los cuales se ionizan. La vuelta de los átomos y moléculas de sus estados excitados a sus estados fundamentales causa la emisión de luz.

Muchas veces pocos segundos después la acumulación de cargas

que ha producido el relámpago se reproduce. Así, es probable que una nueva descarga siga el mismo camino que la precedente, o como mínimo una buena parte de él. La energía puesta en juego es considerable. En pocos microsegundos, la potencia excede los 10^{12} vatios y la energía total puede estar muy cercana a los 360 kw/hora.

Un altavoz produce sonido mediante la vibración de su membrana, que comprime y expande el aire en contacto con ella. En el trueno, la intensa corriente eléctrica del relámpago produce un calentamiento que induce una violenta expansión del aire de su alrededor, que a su vez comprime al que lo rodea, y así sucesivamente, produciendo una onda sonora. Las frecuencias de esta onda llegan hasta 1 kc, aproximadamente. Cuanto mayor la

frecuencia, mayor su atenuación, de ahí que cuanto más lejos estemos de la tormenta, más grave (menor frecuencia) es el sonido que nos llega de ella. A pesar de esto, la mayor parte de la energía sonora del trueno está en la zona no audible.

El sonido viaja a 330 m/s, velocidad que, comparada con la de la luz, es muy pequeña. Por esto, si queremos saber la distancia que nos separa de la tormenta, es suficiente que contemos los segundos que transcurren entre el resplandor del rayo y el retumbar del trueno y los multipliquemos por 330 m. Si la distancia que resulta no es muy grande, ¡lo mejor es coger el paraguas!

JOSEP ENRIC LLEBOT
Universidad Autónoma de Barcelona

EN 1802, en plena era napoleónica, se formula una teoría sobre la visión en color. Según Thomas Young, esta propiedad está basada en la presencia en la retina humana de tres pigmentos sensibles a los colores fundamentales, azul, rojo y verde. Desde entonces se acumuló información acerca de este fenómeno y en particular sobre los defectos que producen una visión anómala de los colores y que de forma general se conocen como daltonismo. Más de 180 años después, los genes correspondientes a estos pigmentos han podido ser aislados y caracterizados y como consecuencia de ello se ha podido demostrar que las anomalías en la visión en color de determinados individuos son debidas a variaciones en los genes de los pigmentos correspondientes.

Clonación de pigmentos visuales

Raramente en las actuales publicaciones en el campo de la genética molecular se cuenta "toda una historia". Pocas publicaciones actuales se plantean un problema de importancia, cuentan cómo se abordó su resolución y se explican los resultados con los que se da solución al problema planteado. La presión por publicar es tanta en este campo y la competencia tan feroz que hay que publicar resultados parciales lo antes posible. En el trabajo de clonación de los pigmentos visuales humanos, aparecido hace pocas semanas en la revista americana "Science", el grupo encabezado por David Hogness, de la Universidad de Stanford, se permite explicar de arriba a abajo toda la historia. Y la historia es de gran interés. El punto de partida es el gen de un

pigmento visual bovino clonado por el mismo grupo en 1983. Estos pigmentos son proteínas a las cuales se hallan unidas sustancias denominadas retinales. El complejo de la proteína con esta sustancia es sensible a la luz y consiste en el primer eslabón que transmitirá la señal nerviosa hasta el cerebro. Se supone que los distintos pigmentos resultarían de proteínas ligeramente distintas que producirían la absorción de luz de longitud de onda diferente en cada uno de ellos. El gen bovino puede ser utilizado para buscar los genes correspondientes humanos en una biblioteca de genes suponiendo que hay una homología suficiente entre las proteínas semejantes de humanos y bovinos. Lo que se ha encontrado es no uno, sino una familia de genes. Esto no puede sorprender a nadie si lo que se busca son varios pigmentos que deben ser sensibles a los diferentes tipos de luz. Y efectivamente se han encontrado tres tipos de genes distintos.

Hay que destacar en este punto que un trabajo como éste, aunque parezca evidente y sencillo, ha requerido el trabajo constante durante varios años de uno de los mejores equipos del mundo utilizando las técnicas más variadas y sofisticadas que existen. Baste mencionar la preparación de RNA, mensajero de retina humana, extraída evidentemente de autopsias. El proceso de identificación de a qué color corresponde cada uno de los pigmentos clonados ha sido una etapa especialmente interesante y se ha basado

en datos genéticos. Se sabe que los defectos de visión de color rojo y verde están ligados al sexo y están localizados en el cromosoma X. Uno de los genes clonados se localizó en el cromosoma 7 y por tanto por exclusión corresponde al pigmento azul mientras que los demás se hallan efectivamente en el cromosoma X y por tanto lo más lógico es que correspondan a los pigmentos verde y rojo. La identificación de estos dos se ha realizado igualmente estudiando si en individuos que sufren daltonismo que afectan a la visión de rojo o verde podía observarse alguna alteración en los genes de

los dos pigmentos. En efecto, se ha hallado una correlación suficientemente convincente como para permitir una identificación adecuada y decidir a qué color corresponde cada uno de los genes encontrados. Como consecuencia lateral a este resultado se ha comprobado que los defectos genéticos de los pigmentos visuales se hallan en la base del daltonismo tal y como Dalton había propuesto en 1798 en gran parte como resultaba de su experiencia personal.

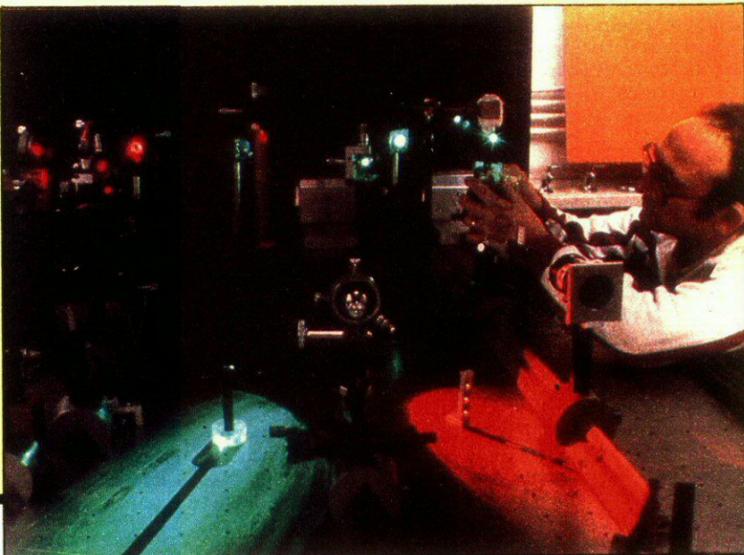
Otro resultado interesante es que los genes de los pigmentos azul y rojo parecen ser únicos, mientras que parece ha-

ber varios genes del pigmento verde que se hallan formando un tándem junto el gen del pigmento rojo. Estos genes poseen una gran homología entre sí, lo que permite proponer que han ido generándose a partir de un gen ancestral. Esto se confirma con los datos evolutivos ya que una de las características que distinguen los monos del Antiguo de los del Nuevo Continente es que estos últimos poseen sólo uno de los pigmentos en el cromosoma X, sugiriendo que la multiplicación de los genes ha ocurrido tras la separación de estos dos grupos de monos. Igualmente el que haya más de un gen para el pigmento verde ha permitido sugerir la posibilidad de que este conjunto de genes duplicados podrían llegar a ser una interesante "reserva evolutiva" que en un futuro quizá lejano podría ampliar la posibilidad de resolver de forma más precisa los colores en humanos si existiera una presión selectiva en esta dirección.

Avanzar en la comprensión de la percepción humana

En cualquier caso, se trata de uno de los resultados más interesantes obtenidos últimamente gracias a la ingeniería genética permitiendo confirmar teorías viejas de más de 180 años al aislarse físicamente los genes de los pigmentos visuales predichos en aquel momento. Asimismo con estos resultados se permitirá una mejor comprensión de los fenómenos de la visión en el hombre y de los defectos genéticos que existen en esta propiedad esencial para la percepción humana.

PERE PUIGDOMENECH
CSIC



El color una capacidad de percepción en el hombre, que no poseen todas las especies