

Los fantasmas danzan en los polos:

La ciencia de las auroras

Por Bartolo Luque

Aurora boreal significa literalmente "luces del norte". Los esquimales, el pueblo más privilegiado con semejante espectáculo, pensaban que se producían cuando los espíritus de los muertos en el cielo danzaban y jugaban a los bolos con cráneos de morsa. ¿Qué nos dice la ciencia, después de 400 años de investigación, sobre estas mágicas luces?

Posiblemente las auroras sean los fenómenos celestes observables a simple vista y a ras de suelo más fascinantes que nos ofrece la Naturaleza. Luces multicolores como guiraldas celestes, tenues rayos o velos danzan lentamente en el cielo nocturno. En general, sus brillos son amarilloverdosos en delicados y pálidos tonos; aunque también exhiben tonalidades rojas, azules y violetas. Las auroras boreales, las más estudiadas, se localizan en un radio de unos 2.500 km alrededor del Polo Norte. A veces son visibles desde Europa Central y muy raramente desde la cuenca mediterránea. De manera simétrica, las auroras australes aparecen en el Polo Sur. Ambas se producen a lo largo de todo el año. Los estudiosos las clasifican por sus formas: las hay arqueadas, en bandas o cortinas, como manchas homogéneas semejantes a nubes o como brillos cubriendo el cielo. Pulsan, titilan o se extienden como ondas en un estanque con movimientos normalmente lentos y fáciles de seguir con el ojo. ¿Qué produce esta danza celeste fantasmagórica?

La Tierra se comporta como un gigantesco imán

La humanidad conoce los imanes desde hace al menos 3.000 años. Rodeados de misterio durante casi todo ese tiempo, hoy los encontramos en la puerta de nuestro frigorífico para facilitar su cierre o en el timbre de la entrada de casa. Cuando sobre una pequeña barra de imán se espolvorean limaduras de hierro, se puede observar cómo las limaduras forman unas curiosas figuras que nos hacen visibles las invisibles líneas de fuerza del imán: el campo magnético.

Si sobre un corcho flotando en un vaso de agua, colocamos una aguja imantada, observaremos que se alineará siguiendo una dirección determinada. No importa que giremos el vaso, la aguja reajusta su posición para indicar, de manera terca, la misma dirección. Es el principio en que se basan las brújulas, conocidas desde hace 3.000 años en China. Al acercar un imán a una brújula podemos orientarla a nuestra voluntad. Pero, ¿quién la orienta cuándo no existe ningún imán en las cercanías?

En 1600 el físico inglés William Gilbert, para explicar el comportamiento de las brújulas, propuso por primera vez que la Tierra se comportaba como un gigantesco

imán. A través de una brújula determinó la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, comprobando que estaba en lo cierto: el campo magnético terrestre es el responsable de la orientación de la brújula. Utilizando una infinidad de brújulas alrededor del planeta Tierra y pintando las direcciones que nos indican es posible determinar las líneas de fuerza de ese campo geomagnético [3. Imagen campo magnético terrestre]. La semejanza con el campo revelado por las limaduras es sorprendente. En 1838 el matemático alemán Karl Friedrich Gauss fue el primero en reconocer la configuración de las líneas del campo geomagnético. Podían describirse como si en el interior de la Tierra existiese un poderoso imán de barra ligeramente inclinado en relación con el eje de rotación terrestre. Los polos magnéticos no coinciden, por unos pocos kilómetros, con los polos geofísicos alrededor de los cuales gira la Tierra.

Viento Solar

Inicialmente se pensó que tal vez las auroras eran producidas por la reflexión de la luz solar sobre la superficie helada de los polos. Según esta hipótesis, los rayos al rebotar crearían un juego de luces en las nubes. Pero, en 1868, el científico noruego Anders Jonas Angstrom, utilizando un prisma para descomponer la luz boreal, demostró que era diferente a la luz solar. ¿Qué era entonces si no se trataba de la luz del Sol? La respuesta estaba en el campo magnético que rodea nuestro planeta, pero hacía falta otro ingrediente para entender el mecanismo que genera las auroras: las partículas que emite nuestro Sol.

En la capa exterior del Sol, la corona, los átomos de hidrógeno se rompen en sus componentes: protones y electrones. Expulsados a velocidades entre los 300 y 1.000 km/s. Es el viento solar. Nuestra estrella posee también su propio campo magnético. No es especialmente intenso, de hecho sólo es unas pocas veces más intenso que el terrestre. Sin embargo se extiende a lo largo de todo el sistema solar, e interfiere con el campo magnético de todos los planetas, incluida la Tierra. Si imaginamos las líneas del campo magnético solar, podemos visualizar el viento solar como cuentas engarzadas deslizándose a través de estos hilos. Este flujo de partículas eléctricas distorsiona al campo magnético terrestre o magnetosfera. Como si de un flujo de agua se tratara, la Tierra muestra una cola magnetosférica en el lado que no está alumbrado por el Sol, de forma muy similar al fenómeno que observamos de forma visible en la cola de los cometas.

Fantasmas por un tubo

Hasta ahora tenemos partículas cargadas que llegan del Sol hasta la magnetosfera terrestre, pero ¿explica eso las luces?

Sin advertirlo, querid@ ciberlector, en estos momentos está presenciando una aurora controlada. La pantalla de su ordenador es la base de un tubo donde se ha realizado el vacío: un tubo catódico. En el extremo opuesto una pieza denominada cátodo, a grandes rasgos un filamento incandescente, emite chorros de electrones. Un campo electromagnético dirige el haz de electrones generado en el cátodo hacia la pantalla. Sobre la misma existe una malla de pequeños puntos o píxeles compuestos de sustancias fosforescentes. En realidad, cada píxel está formado por tres micropuntos. Cuando un

electrón impacta con uno de estos micropuntos, emiten luz por fosforescencia. Cada micropunto brilla en uno de los tres colores rojo, verde o azul. Mientras más electrones inciden en un micropunto más intensa es la luz emitida. De esta manera se puede controlar la mezcla de intensidades de rojo, verde y azul de cada punto para producir el efecto de color deseado al ojo. Finalmente el haz recorre en zig-zag de arriba abajo toda la pantalla a una velocidad asombrosa, de modo que genera a nuestros ojos la sensación de continuidad en las imágenes de la pantalla.

A finales del siglo XIX el meteorólogo Adam Poulson propuso que el efecto de los rayos catódicos, nombre con el que se conocía en la época a un chorro de electrones, era el que producía las auroras en las capas superiores de la atmósfera. El físico alemán Eugen Goldstein pensaba que esos rayos catódicos provenían del Sol e interactuaban con la envoltura magnética terrestre. Inspirado por ellos, el físico noruego Christian Birkeland diseñó un modelo. En el interior de un recipiente de vidrio, donde se había hecho el vacío, insertó una esfera recubierta con pintura fosforescente en cuyo interior había colocado un electroimán. Mediante un cátodo conseguía la emisión de electrones que incidían sobre la superficie de la esfera, iluminando determinadas zonas. Justamente las equivalentes en la esfera a las zonas de actividad auroral en la Tierra. ¡En cierto modo, Christina Birkeland fue el inventor de la televisión!

Entre 1910 y 1940 la comunidad científica dejó bien asentado que las auroras boreales se producían a unos 100 km de altura con respecto al nivel del mar. Pero, ¿qué había a semejante altitud? En 1925, Merle Tuve y sus colaboradores anunciaron el descubrimiento de la ionosfera. Se trataba de una capa conductora por encima de nuestra atmósfera que comienza sobre los 80 km de altura. Así que los fantasmas danzaban en la ionosfera.

Con esto se completaban los elementos y el mecanismo básico para explicar la danza. Nuestro Sol hace de cátodo, emitiendo chorros de electrones, el mencionado viento solar. El tubo de vacío es enorme, de 150 millones de km, la distancia que separa al Sol de la Tierra. El viento solar sopla en todas las direcciones y sólo una pequeñísima parte llega a nuestro planeta conducida por el campo magnético solar. Las energías de sus electrones son más bien bajas, del orden de varios cientos de electrón-volts. La magnetosfera terrestre toma el relevo y canaliza entonces estos chorros de electrones a lo largo de sus líneas magnéticas, donde los electrones alcanzan energías de varios miles de electrón-volts, pasando por la ionosfera sobre los polos magnéticos. Al colisionar con las partículas de la ionosfera, produciendo disociaciones moleculares, excitación y ionización se genera la luz de las auroras. La composición química de la ionosfera varía con la altura. El oxígeno atómico presente entre los 100 y los 150 km de altura se desexcita emitiendo luz verde. El que se encuentra a mayor altitud produce una fuerte luz roja, como el nitrógeno alcanzado por los electrones que penetran más profundamente. La altitud y la forma de una aurora dependen de la cantidad y la penetración de las partículas procedentes del Sol.

Siglo XXI: Bailando con los fantasmas

¿Podemos tocar las auroras? ¿Podemos bailar con los fantasmas? La ionosfera, donde danzan las auroras, es una región de difícil acceso instrumental. En una aurora en forma de cortina, el borde inferior se localiza a unos 100 km de altura y el superior puede

llegar a los 1.000 km. Se trata de una región demasiado alta para los aviones y globos sonda y demasiado baja para los satélites. Así que los científicos emplean cohetes sonda para estudiar la química y los flujos energéticos que atraviesan esta interfase que separa nuestra atmósfera del espacio exterior.

En los últimos años, la comunidad científica internacional está volcando muchos esfuerzos en el estudio de nuestra magnetosfera y la de otros planetas del sistema solar. Su importancia como capa protectora para la vida es evidente. Y cuatro siglos después de Gilbert seguimos sin conocer los detalles de los mecanismos que las generan. Los satélites Freja, FAST y Polar son ejemplos de misiones satélite actualmente en funcionamiento. Uno de los proyectos, patrocinado por la Agencia Espacial Europea, recibe el nombre de misión Cluster y su objetivo es estudiar la interacción entre la Tierra y el viento solar. La misión consta de cuatro satélites que están en órbita desde el verano del 2000. Todos ellos cruzan sobre la zona oval de las auroras boreales a una altura de unos 22.000 km y siguen trayectorias semejantes con una diferencia de paso de unos 100 s. La novedad de la misión reside en la posibilidad de hacer varias medidas consecutivas sobre el mismo punto.

En la explicación sobre las auroras que hemos esbozado, habíamos olvidado intencionadamente los protones del viento solar. ¿Qué ocurre con ellos? A unos 10 radios terrestres sobre la superficie de nuestro planeta los protones del viento solar son desviados en un sentido y los electrones en sentido contrario. Se crea así un gigantesco generador. Se produce entonces una corriente de electrones desde el terminal negativo de este inmenso generador al positivo. La circulación de esta corriente, la verdadera promotora de las auroras, traza una espiral por las líneas de campo magnético, hasta entrar en la ionosfera, la atraviesa y busca en retorno inverso al polo negativo. Los haces de electrones colectados hacia la zona oval son posteriormente expulsados describiendo una trayectoria en forma de una gigantesca U de miles de km. El pasado enero del 2001, los satélites de la misión Cluster atravesaron uno de estos haces de electrones expulsados por nuestra magnetosfera y lograron medir su crecimiento y desaparición. Un hecho extraordinario que da un espaldarazo a la teoría...Por cierto, los satélites se llaman Rumba, Salsa, Samba y Tango: nuevas músicas para los viejos fantasmas.