

muy diversos, pues al paso que Christie y Hansteen deducían de sus observaciones simultáneas (aurora del 7 de enero de 1831) alturas que variaban entre 37 y 192 kilómetros, otros sabios como Thienemann, Wrangel, Struve y Farquharson creían que la mayor elevación del arco no pasaba de la región de las nubes, si bien su opinión parece basada en ciertos efectos luminosos observados en tal ó cual aurora particular más bien que en mediciones positivas. Bravais, sin dejar de reconocer la dificultad de tomar por punto de mira un límite tan difuso como un arco de aurora boreal, hace observar que los resultados por él obtenidos son verosímiles en alto grado, por cuanto la altura media de los arcos (de 100 á 150 ó 200 kilómetros) es del mismo género de magnitud "que las deducidas de la variación de las amplitudes de los arcos durante su rotación aparente alrededor de la perpendicular al meridiano magnético y de la comparación de las anchuras de las bandas zenitales en su cúspide y en sus bases."

A causa de ciertas apariencias se ha podido creer en la escasa altura ó en la proximidad de la aurora boreal. Bravais las discute y demuestra fácilmente que distan mucho de ser concluyentes. "La ilusión, dice, que nos induce á suponer á la aurora boreal muy próxima dimana á veces simplemente de la apariencia fuliginosa de sus fulgores, sobre todo cuando su movimiento se parece además al de las bocanadas de vapor que salen de una locomotora; pero no se debe atribuir valor alguno á tal indicio." La aurora parece á veces comprendida entre una montaña y el observador; el pie de sus rayos parece prolongarse por debajo de la cima. Bravais lo ha visto así, y atribuye esta apariencia á la reflexión de la luz en la nieve cristalizada que cubría la montaña.

Una opinión muy difundida, no tan sólo entre los habitantes de las regiones polares, sino también entre algunos físicos, supone en la aurora un ruido particular que los observadores de Bossekop no llegaron á oír, á pesar de la prolija atención con que siguieron las diferentes fases de gran número de auroras. Bravais opina que los que creen haber percibido ese ruido pueden haber sido engañados por varias causas. "Tales son, dice, el silbido del viento, los torbellinos de la nieve, el lejano murmullo del mar, el crujido de la nieve al congelarse después de haber empezado á derretirse, etc." Acerca de este punto, mencionemos la opinión de Siljeström que concuerda con la de Bravais.

"He procurado, dice este físico, obtener de los habitantes de Finmark algunos informes sobre los aspectos del meteoro, y especialmente sobre el supuesto ruido de la aurora boreal. La mayoría de las personas con quienes he hablado de este asunto me aseguraron que habían *oído* verdaderamente á la aurora en ocasiones en que había aparecido con inusitado brillo. Muchas me dijeron que la habían visto bajar á la tierra y rodearlas enteramente con su luz, lo cual les sucedió principalmente al atravesar en invierno la gran meseta montañosa que separa el Finmark de la Laponia propiamente dicha. Los lapones creen por lo general que se oye cierto ruido en la aurora boreal, y lo comparan con el que producen las articulaciones de las piernas de los renos y que se parece á la decrepitación de las chispas eléctricas.

"Creo que todos estos asertos pueden dimanar de una ilusión de los sentidos. Ante todo, y por lo que respecta á la bajada de la aurora á tierra, debe tenerse en cuenta el efecto engañador de la reflexión de la luz en una llanura dilatadísima de nieve, estando el cielo rodeado por todas partes de los vivísimos fulgores de la aurora. M. Thomas, ingeniero de las minas de Kaafiord, pretendía haber visto la aurora entre él y una montaña que me designaba, pero sin oír ningún ruido. Tampoco me es posible negar la existencia de este ruido; pero, cuando menos, hay motivo para suponer que también en esto se padece una ilusión fácil de explicar. Y en efecto, al ver todo el cielo cubierto

de llamas, como sucede con las auroras muy intensas, al contemplar esos fulgores variables y dotados de movimientos rápidos, ó bien esos rayos formados en un instante que parten como cohetes con espantosa velocidad y destellantes de vivísima luz, parece muy natural que el espectador sufra algún error y que en todas esas apariencias ígneas crea oír cierto chisporroteo, atribuyendo al sentido del oído lo que no ha percibido sino por el de la vista. Admitida por otra parte la posibilidad de la primera ilusión, sábase cuán fácilmente se propaga un error por tradición, á pesar del testimonio de los sentidos.

"Entre las personas á quienes interrogué acerca de este punto, había un anciano de setenta años á quien debo muchas nociones sobre otros asuntos relativos á Finmark. Pues bien, este hombre que se había ocupado mucho de experimentos de agricultura y observado siempre con interés el estado del cielo y del viento, jamás había oído el supuesto ruido de la aurora boreal. Por estas razones, el caso me parece cuando menos dudoso." (*Viajes á Escandinavia, Laponia, etc. Auroras boreales.*)

## IV

## CARACTERES FÍSICOS DE LAS AURORAS BOREALES: BRILLO, COLORES, MOVIMIENTOS DE LOS ARCOS Y DE LOS RAYOS

De las apariencias geométricas de las auroras y de su distancia probable á la tierra, pasemos al estudio de su aspecto físico y de su luz.

La forma de los arcos aurales es á menudo tan rara y tan irregular, que no se la puede describir. Tan sólo el dibujo puede dar idea de ella, y las figuras 51 á 56 suplirán esta insuficiencia. Recordemos, sin embargo, con Bravais, que una de las formas más singulares y constantes del arco auroral es la que le da la apariencia de un *cortinaje ondulante*, pareciéndose á los pliegues de una bandera ó al gallardete de un buque de guerra desplegado horizontalmente y agitado por el viento. "No es ilusión de óptica, dice Bravais, lo que induce al observador á ver en la materia del arco pliegues ondulantes y unas partes huecas y otras de relieve, aun cuando en la mayoría de los casos no pueda tener seguridad alguna por este concepto. Estas formas de festones y cortinajes apenas se manifiestan sino en los arcos formados de rayos yuxtapuestos; son raros en los de estructura completamente nebulosa, y constituyen uno de los caracteres más marcados de la aurora boreal." Bravais menciona también la forma *de gancho* que suele tener el extremo oriental del arco, cuando éste se encorva hacia arriba para dirigirse al punto del horizonte situado sobre su vértice; rara vez se ve el gancho en la parte occidental del arco auroral.

Es un fenómeno curioso el de la traslación de los arcos que, después de formados, no quedan invariablemente fijos en su punto de origen, sino que pueden desviarse trasladándose paralelamente á sí mismos de Norte á Sur ó de Sur á Norte. "Un arco que aparezca cerca del horizonte Norte puede elevarse gradualmente, llegar al zenit, descender hacia el horizonte austral, y estacionarse allí algún tiempo, para retroceder por el mismo camino." Los pies del arco, casi fijos al Este ó al Oeste de la brújula, parecen girar entonces en torno de esos puntos como alrededor de una charnela (1). En

(1) Según el resultado de sus observaciones, Bravais consigna que los arcos de la aurora le han parecido marchar sesenta veces de Norte á Sur y treinta y nueve de Sur á Norte. Observó veinticinco noches el primero de estos movimientos, y once noches el de sentido inverso; por último, durante diez y siete noches observó los dos movimientos antagónicos,

los arcos de forma de gancho se puede reconocer otra clase de movimientos, los de Oeste á Este ó viceversa. Por último, también sucede que, siendo la altura del arco la misma, sus pies se desvían en sentido inverso uno de otro, y entonces el arco entero parece girar en rededor de la vertical, ya en sentido del movimiento diurno, ya en el opuesto.

La velocidad del movimiento de traslación de los arcos llega con frecuencia á  $5^\circ$  y rara vez á  $17^\circ$  por minuto. En el primer caso, suponiendo que el arco tenga una altura vertical de 200 kilómetros en la atmósfera, la velocidad efectiva sería de 300 metros por segundo, admitiendo por supuesto que al movimiento aparente del arco correspondiese una traslación efectiva de materia ponderable.

La luz de los arcos es de color blanco amarillento uniforme; el borde inferior está



Fig. 53.—Aurora boreal del 28 de septiembre de 1838: forma espiral y movimiento de rotación de la materia auroral

mejor marcado y limitado que el superior, lo cual puede explicarse en parte por la mayor distancia que media entre el primero de dichos bordes y el observador; pero es posible que esta diferencia provenga de la mayor condensación de la materia auroral en el borde del arco más septentrional. Por lo que hace al brillo de los arcos aurorales, Bravais compara el de los más resplandecientes con el de las estrellas de primera magnitud; pero lo más frecuente es que tengan el de las estrellas de tercera y cuarta.

“El fenómeno más singular que presentan los arcos de la aurora es sin disputa su tendencia á descomponerse en rayos cortos, dirigidos en el sentido de la anchura del arco y que convergen hacia el zenit magnético. Con frecuencia también los arcos parecen formados de fibras transversales á sus bordes, cortadas en sus extremos siguiendo una curva regular que forma el borde inferior del arco. Los arcos enteramente nebulosos y homogéneos no son tal vez los más frecuentes; y los compuestos de radios, ó *arcos radiados*, aparecen con extraordinaria frecuencia.” Entre estas dos formas se ven todas las intermedias; además, un arco nebuloso se resuelve á menudo, ora parcial, ora totalmente, en un arco radiado.

El brillo de los radios, de esas columnas luminosas que, según la expresión de Bravais, forman el segundo tipo de los fulgores de la aurora boreal, es variable como el de los arcos, pero más vivo á igualdad de superficie. Sin embargo, las estrellas suelen ser visibles al través de ellos, y si se ofuscan, es á causa de la claridad del fondo en que se proyectan. Los radios están sujetos á dos movimientos, uno en virtud del cual el radio se alarga hacia el zenit ó el horizonte, y otro que le hace desviarse paralelamente á derecha ó á izquierda. Estos dos movimientos son á veces extraordinariamente rápidos. Bravais hace mención de un radio que en 27 segundos recorrió en el cielo un espacio angular de  $90^\circ$ . Según este observador, el movimiento lateral no tiene nada de real, y cree poder asegurar que las más de las veces era un simple cambiante de luz, debido á la iluminación sucesiva de los rayos inmóviles, por lo cual lo caracteriza con

el nombre de *movimiento ondulatorio* ó de *apariencia ondulatoria*. El movimiento longitudinal ó vibrátil presenta ciertas particularidades interesantes. Si el rayo, permaneciendo casi en el mismo sitio, se alarga rápidamente hacia arriba ó hacia abajo, dicese que *vibra* ó *cimbrea*; y *juega* ó *danza* cuando baja y sube alternativamente, sin que su longitud varíe de un modo notable. “Este es un caso de los más frecuentes, dice Bravais, así como de los que mejor caracterizan á las auroras boreales. Esos rayos que saltan y juegan son las *caprae saltantes* de los antiguos autores, las *marionnettes* de los habitantes de Terranova y del Canadá, y los *merry dancers* de los ingleses.”

A veces los rayos aurorales están situados en gran número de modo que convergen hacia una misma región del cielo cuya parte central queda oscura. El conjunto presenta en cierto modo el aspecto de una corona. Esta disposición tiene por causa un efecto

de perspectiva fácil de explicar. “Si la parte de la atmósfera terrestre, dice Bravais, situada sobre el plano del observador está ocupada por un gran número de rayos distintos, todos paralelos entre sí y á la dirección de la aguja de inclinación, se formará, según las reglas de la perspectiva linear, un *punto de fuga* hacia el cual parecerá que convergen todos los rayos, y que resultará determinado por el encuentro de la esfera celeste con la línea visual trazada desde el ojo del observador paralelamente á la aguja de inclinación: este punto de encuentro es el que designamos con el nombre de *zenit magnético*.”

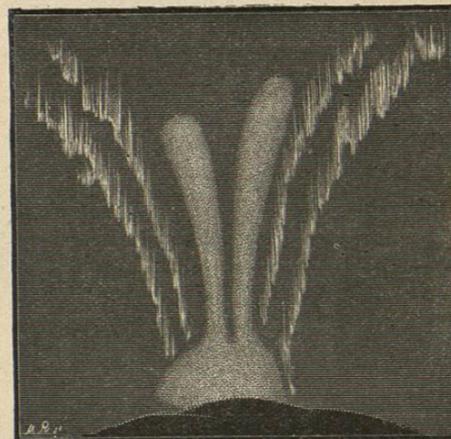


Fig. 54.—Aurora boreal del 25 de diciembre: bandas aurorales

Estas coronas boreales no están siempre completas, pues puede haber sectores más ó menos extensos vacíos de luz; á veces adquieren un aspecto esplendoroso; los rayos que las componen cobran un brillo vivísimo, entran entonces en movimiento y pierden su tinta amarillenta habitual para colorarse de verde y encarnado; en tal momento, dice Bravais, “la corona presenta el más alto grado de magnificencia que pueda desplegar una aurora boreal.” Y, circunstancia notable, mientras esas brillantes coronas resplandecen, los demás fulgores de la aurora palidecen para reaparecer después de la desaparición del meteoro. Entonces sucede con frecuencia que los rayos se separan, dirigiéndose al Norte ó al Sur ó á ambos lados á la vez; tórnanse muy pálidos, adquieren una longitud prodigiosa y forman un cinto luminoso alrededor del horizonte.

Para describir todos los variados aspectos que presentan las auroras polares, deberíamos ocuparnos también de las *placas*, especie de fulgores difusos de forma oval, análogos á los cirrus; luego los *resplandores vagos, nebulosos*, los *vapores aurorales* que, diseminados por una gran extensión del cielo, lo cubren á veces casi por completo, y por último las *bandas*, que parecen columnas nebulosas, de las que las figuras 54 y 55 representan dos casos singulares.

Los fulgores que acabamos de mencionar, poco intensos en la región superior de la bóveda celeste, producen al acumularse en el horizonte una luz bastante viva para figu-

rar grandes incendios: están sujetos á movimientos irregulares, especie de palpitations que suelen afectar á todo su conjunto, de suerte que los fulgores y las placas aurales obedecen á la vez á las mismas alternativas de disminución ó recrudescencia de luz. Invaden el cielo á la hora más avanzada de la noche y su aparición es por lo regular precursora de la próxima extinción de la aurora.

Cualquiera que sea la naturaleza de la materia de que se compone la aurora boreal, todo indica que debe ser de extraordinaria tenuidad. Y en efecto, ya hemos visto que apenas se debilita la luz de las estrellas al atravesarla. Además, Argelander no ha notado en sus observaciones astronómicas hechas en Abo ningún rastro de refracción producida por la luz auroral, y Bravais ha comprobado la exactitud de este hecho al determinar la altura de la estrella polar.

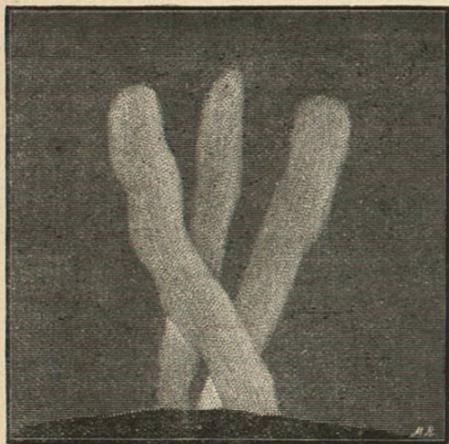


Fig. 55.—Aurora boreal del 5 de enero de 1839 observada en Bossekop: arcos convergentes

bajo y al rojizo. Cuando el brillo es más intenso y comienzan esos movimientos rápidos que dejamos descritos, los rayos se coloran, la tinta amarilla brillante refluye de las extremidades al centro, y éstas pasan una al rojo y otra al verde. Cuanto más resplandeciente es la zona de estos colores, más lo es también la otra. El rojo de la aurora se tiñe de morado, y el verde, bastante marcado, es ligeramente azulado.

Bravais no pudo estudiar con el espectroscopio la luz de la aurora boreal, porque en la época en que hizo sus numerosas observaciones en Laponia no se conocía aún el método del análisis espectral. Pero posteriormente se ha reconocido que, entre las diferentes rayas variables de que se compone la aurora boreal, hay una que se ve constantemente; es una raya verde cuya longitud de onda es  $0^m,000557$  según Angström. Respighi, Winlock y Clarck y otros sabios que observaron por este método la aurora boreal del 4 de febrero de 1872, comprobaron que la raya de Angström era visible en toda la superficie del cielo. He aquí lo que Secchi dice acerca de ello: "Se ha creído observar las rayas del hidrógeno, pero no se ha determinado su posición de una manera satisfactoria. Hasta se han visto porciones de espectro continuo. En los momentos en que el fenómeno era más brillante, hemos vislumbrado muchas rayas, y una parte del espectro nos ha presentado en el verde la apariencia acanalada que tiene el del nitrógeno. Vese, pues, que la luz de la aurora polar es muy variable.", Zollner atribuye la raya principal de la aurora al oxígeno á baja temperatura. Respighi ha notado

La luz de la aurora tiene por lo común menos brillo que la de la Luna llena. "Todo cuanto he podido hacer, dice Bravais, al resplandor de la brillantísima corona del 10 de enero ha sido leer, *no sin trabajo*, algunas palabras de un periódico impreso en la letra del cuerpo 8, siendo así que es fácil leer estos tipos á la luz de la Luna llena.", En ningún caso llega el brillo intrínseco de los arcos ó de los rayos aurales al de la luz lunar.

Terminemos esta descripción de los fenómenos que presentan las auroras boreales con algunas palabras acerca de su color. Este color es por lo común blanco; pero puede tirar al amarillo

la misma raya en el espectro de la luz zodiacal, lo cual sería, en su concepto, una prueba de comunidad de origen. Por último, parece asimismo cierto que el espectro de la corona solar tiene dicha raya.

Después de haber descrito con todos sus detalles el fenómeno de la aurora boreal, y antes de exponer las hipótesis propuestas para explicarlo, convendrá que manifestemos lo que se sabe acerca de la frecuencia de sus apariciones.

Según las observaciones de Bravais, que han comprendido algo más de seis meses



Fig. 56.—Aurora polar en forma de pabellón

del período invernal (de 19 de septiembre de 1838 á 8 de abril de 1839), de 201 días, 151 han tenido aurora boreal. Como en las 50 noches restantes el cielo estuvo nublado, Bravais dedujo que "las noches sin aurora boreal son decididamente noches excepcionales.", Esta permanencia de las auroras ¿subsiste indefinidamente en las regiones polares? El sabio observador no se ha atrevido á dar una respuesta terminante á esta pregunta, aun cuando de los informes suministrados por los habitantes del Finmark no resulte nada que autorice á pensar que las auroras hayan sido en el invierno de 1839 más numerosas que en los inviernos precedentes. Cree además que el fenómeno se presenta en pleno día lo mismo que de noche, de suerte que "las auroras de dos ó más noches consecutivas pueden ser un solo fenómeno cuya duración se prolonga por espacio de muchas veces veinticuatro horas.",

"Esta sucesión no interrumpida, añade, no impide que la aurora boreal esté sujeta á las leyes de su período diurno, á lo menos por lo que respecta á algunas de sus ma-

nifestaciones. Así es que la aparición de los arcos, de los radios ó de las placas, la hora en que se coloran sus fulgores, llegan á su brillo máximo, ondulan ó palpitan, la de su desaparición, etc., no dependen del azar. El período diurno de las fases sucesivas es muy evidente, no siéndolo menos el de las perturbaciones magnéticas que las acompañan., Por lo común, el fenómeno llega á su mayor esplendor entre diez y once de la noche.

La discusión de las observaciones ha probado á Bravais que los movimientos notados en los arcos y en los radios no se pueden atribuir á la rotación ni á la traslación de la Tierra, ni al movimiento general que arrastra al sistema solar por el espacio. Lo que debe deducirse de aquí es que la aurora boreal es un fenómeno terrestre, atmosférico, y no un fenómeno cósmico extraño por su origen á nuestro globo.

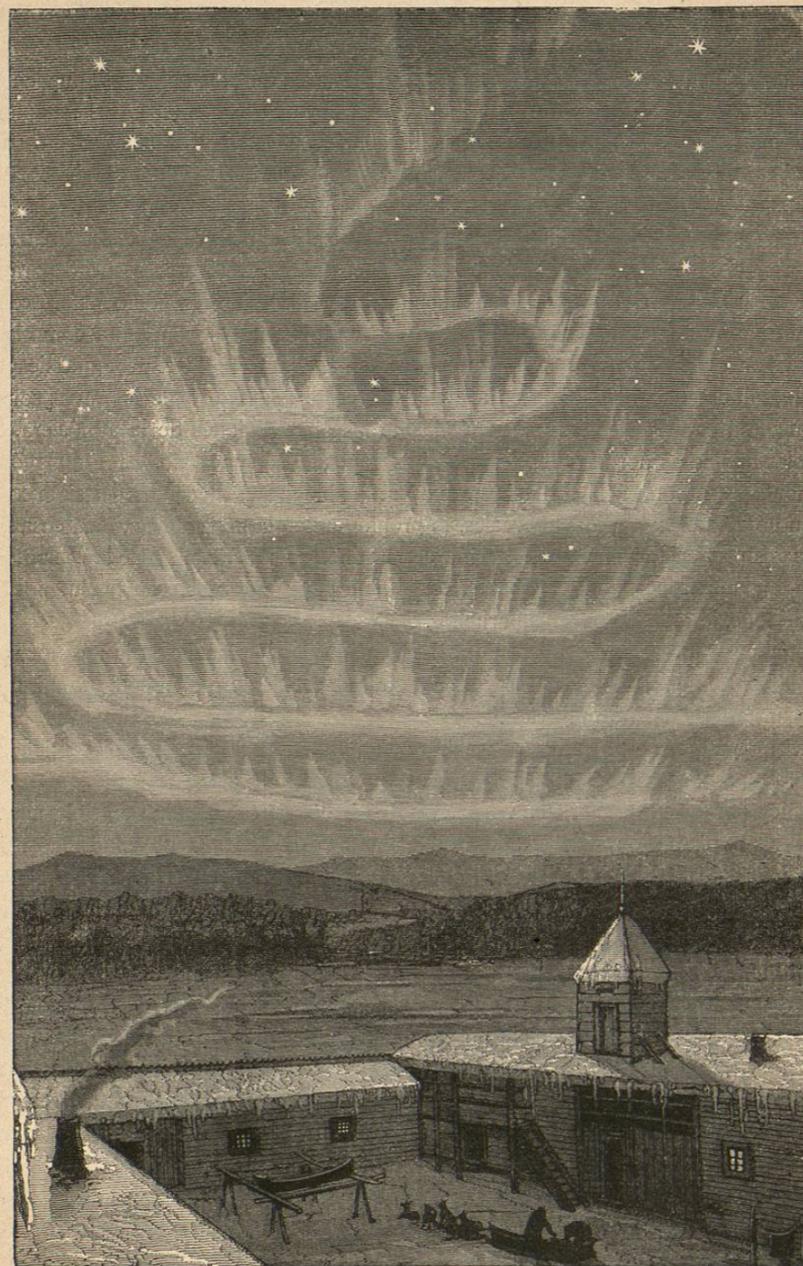
La continuidad apenas interrumpida de la aurora boreal en las regiones inmediatas al polo ha hecho decir con razón que su luz parece una compensación otorgada á esas regiones privadas del Sol, á la cual hay que añadir la claridad de la Luna, que hallándose en la época de su plenilunio en oposición al Sol, permanece entonces casi constantemente sobre el horizonte.

“La doble luz del astro de las noches y de la aurora polar disminuye mucho la obscuridad de la noche invernal en las regiones polares, dice Elías de Beaumont. Estas claridades irregulares les bastan á los lapones, samoyedos y esquimales, conducidos por sus renos ó por sus perros, para recorrer en trineo las nieves sin límites que cubren su país, y cuando la ausencia del Sol obscurece sus ideas, el resplandor caprichoso de las apariciones luminosas les presenta imágenes fantásticas, á propósito para despertar su imaginación, ejercitándola maravillosamente.,”

Si el fenómeno de la aurora polar parece presentarse de un modo casi continuo en las altas latitudes, esto no significa que su frecuencia no esté sujeta, en el curso de los años y de los siglos, á cierta periodicidad. Un sabio sueco del siglo pasado, Celsius, sospechaba ya esta periodicidad, que las investigaciones hechas en los últimos años han demostrado. Por otra parte, aun en la hipótesis de que los polos fuesen el asiento de auroras perpetuas, bastaría para explicar la intermitencia de sus apariciones en nuestros climas admitir que por su brillo y extensión están sujetas á recrudescencias periódicas.

Hasta aquí tan sólo hemos hecho mención de las auroras *boreales*, es decir, de las que tienen su origen cerca del polo Norte de la Tierra; pues que, en efecto, son las más fácil y frecuentemente observadas. Pero también hay auroras *australes*, aunque la escasa navegación en los mares antárticos, la falta de estaciones fijas de observación á causa de la gran distancia de las tierras del polo austral, y por último, el estado generalmente brumoso de la atmósfera en aquellas regiones, son probablemente otras tantas causas de los pocos datos que tenemos acerca de dichas auroras. Cítanse algunas bastante considerables para que se las haya podido observar hasta en el hemisferio Norte, habiéndose visto auroras australes en Escocia del propio modo que se han visto las boreales en el Perú.

A fines de agosto del año de 1859 se divisó en todo el hemisferio Norte una aurora boreal de vivísimo resplandor, y hacia la misma época los habitantes de Chile y de la Australia observaban una aurora austral. Esta coincidencia fué muy comentada, y sería en efecto muy importante para la teoría de las auroras si no constituye un caso excepcional, y con mayor motivo si, como lo creen varios físicos, es un hecho general.



AURORA BOREAL OBSERVADA EN ALASKA