

La excepcional aurora de 1989 en la Patagonia

The exceptional aurora of 1989 in Patagonia

Néstor Camino¹, Santiago Paolantonio²

¹Complejo Plaza del Cielo – CONICET-FHCS, UNPSJB. Esquel, Chubut, Argentina.

²Museo Astronómico, Observatorio Astronómico de Córdoba, Córdoba, Argentina.

*E-mail: nestor.camino.esquel@gmail.com

Recibido el 1 de diciembre de 2019 | Aceptado el 6 de marzo de 2020

Resumen

En marzo de 1989 ocurrió un hecho sumamente inusual: la observación de una aurora desde la Patagonia. Estos impactantes fenómenos, productos de la interacción Sol-Tierra a través del viento solar, campos magnéticos y atmósfera, son poco conocidos y, en general, asociados con algunas imprecisiones conceptuales, las cuales tienen un impacto no deseado sobre su aprendizaje: denominarlas “auroras boreales”, asociar su existencia a los polos geográficos y no vincularlas a la interacción entre la Tierra y Sol, entre otros. Existen, desde tiempos remotos, numerosas referencias a auroras en el hemisferio norte, y muchas menos en las regiones australes de América, por su observación menos frecuente, debida a que el PS magnético está desplazado en dirección a Australia respecto del PS geográfico. La didáctica específica y la divulgación científica de las auroras deberían incluir el tratamiento integral de la Tierra como un generador de campo magnético con polos y regiones de un comportamiento muy diferente a las geográficas, en un entorno natural determinado principalmente por el Sol.

Palabras clave: Auroras; Historia; 1989; Patagonia; Didáctica de la Astronomía.

Abstract

In March 1989, an extremely unusual event occurred: the observation of an aurora from Patagonia. These shocking phenomena, products of the Sun-Earth interaction through the solar wind, magnetic fields and atmosphere, are little known and generally associated with some conceptual inaccuracies, which have an unwanted impact on their learning: to call them "Northern Lights", to associate their existence to the geographical poles and not link them to the interaction between the Earth and the Sun, among others. There have been numerous references to auroras in the northern hemisphere since ancient times, but much less in the southern regions of America, due to their less frequent observation because the magnetic PS is displaced in the direction of Australia with respect to the geographical PS. The didactic approach and the dissemination of the auroras must include the integral treatment of the Earth as a magnetic field generator with poles and regions of a behavior much different from the geographical ones, in a natural environment determined mainly by the Sun.

Keywords: Aurora; History; 1989; Patagonia; Didactics of Astronomy.

I. INTRODUCCIÓN

Las auroras son uno de los fenómenos más hermosos e impactantes de la Naturaleza. Son destellos luminosos producidos en la parte alta de la atmósfera, que cubren grandes zonas del cielo y varían rápidamente, de intensos y delicados colores *flúo* (rojos, azules, violetas, verdes). A través de la historia, la mayor cantidad de registros de avistamiento de auroras provienen de culturas ubicadas en regiones con latitudes geográficas norte altas (cercanas al Círculo Polar Ártico), lo que ha generado varios errores conceptuales con un impacto fuerte, no deseado, en especial para la enseñanza de las características de este fenómeno astronómico. Entre ellos, denominarlas “auroras boreales”; asociar su

existencia a los Polos Geográficos; y no vincularlas a la naturaleza magnética de la interacción, intensa y siempre cambiante, entre la Tierra y el Sol, en un entorno natural astronómico cuya extensión espacial y temporal excede los rangos de nuestra vida en la Tierra. Debido a las características dinámicas de esta interacción, es posible, de vez en cuando, ver auroras desde regiones “extrañas”, como por ejemplo la Patagonia. Presentaremos a continuación una breve síntesis histórica sobre las observaciones de auroras, los fundamentos astronómicos de su funcionamiento, el relato de lo observado hace más de treinta años desde la región sur de América y algunas reflexiones para la Didáctica de la Astronomía.

II. UN POCO DE HISTORIA SOBRE LAS AURORAS

Las auroras son fenómenos que siempre han sucedido en nuestro planeta, mucho antes de que hubiera algún ser humano para maravillarse de ellas. Quizás por esta razón, las auroras figuran en casi todas las mitologías y el folklore de los pueblos de los extremos norte y sur de la Tierra. A continuación, presentaremos algunas referencias, necesariamente incompletas, por fuerza del espacio disponible. Para el lector interesado, recomendamos las obras de Eather (1980) y Falck-Ytter (1999).

A. Registros históricos en el Norte

Existe una pintura rupestre de la época Cromañón que se considera que está asociada a una aurora (figura 1) (NASA, 2006). El registro escrito más antiguo de este fenómeno data del 2.600 a. C., en China, y lo describe como una nube roja que se extiende por todo el cielo. Más cercanos en el tiempo, se encuentran indicios de registros en Babilonia, durante los siglos VII a I a. C. (Hayakawa y otros, 2016) y es posible que en el Libro de Ezequiel del Antiguo Testamento se mencione una aurora de color rojo (Siscoe y otros, 2002; Eather, 1980).



FIGURA 1. Pintura rupestre de la época Cromañón (30.000 a. C.), considerada la más antigua asociada a auroras. Fuente: NASA.

Los noruegos antiguos imaginaban que las auroras eran destellos producidos por las armaduras de las guerreras valquirias. El explorador griego Pytheas describió una aurora en el siglo IV antes de Cristo, y Séneca en el año 37 antes de Cristo, en su obra *Naturales Quaestiones*, realizó una primera clasificación morfológica y por colores de las auroras, discutiendo si estaban por debajo o por encima de las nubes; además, escribió que una aurora confundió al Emperador Tiberio, quien envió tropas pensando que el puerto de Ostia estaba en llamas debido al “destello rojizo en el cielo nocturno que duró casi toda la noche, como si fuera el reflejo de un gran incendio” (Eather, 1980). Más tarde, hacia el siglo VIII d. C., una crónica china presenta dibujos compatibles con registros de auroras (Hayakawa y otros, 2017).

Para los Inuit del Estrecho Hudson, en el extremo norte de Canadá, las auroras representan las antorchas de los espíritus que guían a las almas de los recientemente fallecidos hacia el paraíso (Holzworth; 1974).

Peter Creutzer realizó una ilustración de auroras que apareció en una publicación impresa en 1527, y Cornelius Gemma incluyó una en su obra *De Naturae Divinis Characterismis*, de carácter científico, en 1575 (figura 2).

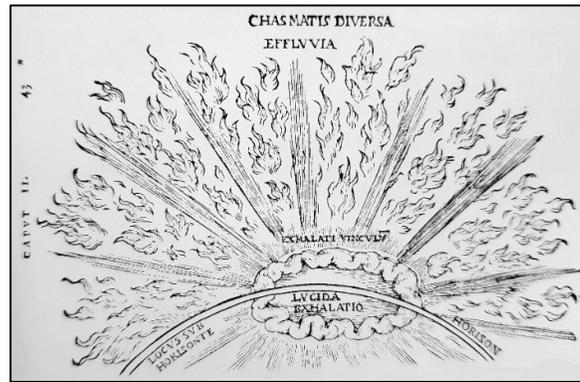


FIGURA 2. Primer dibujo de carácter científico sobre auroras, 1575. Fuente: Eather, 1980.

En 1570, un dibujo europeo representaba a las auroras como el efecto de un conjunto de enormes velas o antorchas en la parte alta del cielo (figura 3).



FIGURA 3. Dibujo de una aurora en 1570, como si fueran velas o antorchas en el cielo. Fuente: NASA "The history of auroras".

En 1583, similares "fuegos en el cielo" movilizaron a miles de peregrinos franceses, quienes rezaron para aplacar la ira de Dios, y, en septiembre de 1839, una intensa aurora causó que muchos bomberos se movilaran por todo Londres previniendo otro gran incendio.

Se considera que Galileo, en 1619, fue quien utilizó el nombre de Aurora, diosa romana del alba, para describir este fenómeno, relacionándolo con el reflejo de la luz del Sol naciente (Eather, 1980).

En general, las auroras de color rojo eran consideradas designios de tragedias. En muchas culturas, las cambiantes formas y colores de las luces en el cielo fueron explicadas como batallas (figura 4), como seres monstruosos, o como señales guías para el camino después de la muerte.



FIGURA 4. Pintura de 1560 mostrando una batalla. Fuente: Eather, 1980.

Si bien muchos pensadores estudiaron las auroras a través de la historia: Anaxágoras, Aristóteles, Descartes, Goethe, Dalton, por ejemplo, el desarrollo moderno de las ideas asociadas a los modelos explicativos sobre las auroras podría vincularse a los inicios del siglo XVIII.

En 1716, Edmund Halley observa por primera vez una aurora, a sus 60 años, y llama la atención sobre su relación con el magnetismo terrestre.

En 1733 se publica la primera obra científica enteramente dedicada a las auroras, por Jean Jacques d'Ortous de Mairan: *Traité physique et historique de l'Aurore Boréale*, publicado por la Académie Royale des Sciences de Paris (figura 5). Años más tarde, de Mairan relaciona a las auroras con las manchas solares y la actividad solar.



FIGURA 5. Primer libro publicado sobre auroras, en 1733. Fuente: Eather, 1980.

En esa época, en la cual la ciencia como la conocemos en la actualidad daba sus primeros pasos, los estudios sobre auroras fueron frecuentes. Se abordaron, entre otros, temas como: la determinación de la altura a la que suceden las auroras, su relación con la electricidad atmosférica, con gases volcánicos, con el polvo cósmico y la luz zodiacal, con el clima terrestre, y el análisis de la luz emitida.

Benjamín Franklin comenzó a incorporar corrientes eléctricas planetarias en la explicación de este fenómeno, hacia 1740, en su obra *Aurora Borealis, Suppositions and Conjectures towards forming an Hypothesis for its Explanation* (figura 6).

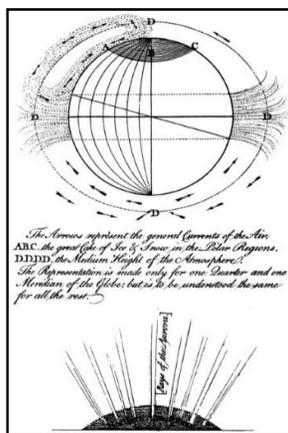


FIGURA 6. Dibujo de Benjamín Franklin, de 1778. Fuente: Eather, 1980.

Olaf Hiorter y Anders Celsius descubrieron en 1747 que una aguja magnetizada era perturbada cuando había una aurora cenital, incluso estando el cielo nublado. Dos años después, Pehr Wargentin notó un brusco salto en la aguja magnética durante sus observaciones por la tarde, y en base a los descubrimientos de Hiorter y Celsius le dijo a un colega que esa noche deberían esperar aurora, lo cual efectivamente ocurrió (Cade, 2013); este suceso se considera como la primera predicción sobre clima espacial hecha en la historia.

En 1808 Alexander von Humboldt continuó los estudios sobre la relación entre las auroras y las perturbaciones geomagnéticas, a partir de las oscilaciones producidas en una brújula ubicada debajo de una aurora, y utilizó por primera vez la expresión “tormenta magnética” (Daglis et al., 2004).

Las riesgosas expediciones en globo a la alta atmósfera y a geografías extremas al norte del planeta comenzaron a ser frecuentes, para realizar observaciones y estudios in situ, con la última tecnología disponible en la época (figura 7).



FIGURA 7. Dibujo del explorador del Polo Norte Fritjof Nansen, en 1893. Fuente: Eather, 1980.

En 1790, Henry Cavendish realizó las primeras mediciones de la altura de una aurora, por triangulación, estimándola en 100/130 km. En 1868, Anders Jonas Ångström, en Suecia, utilizó un prisma para demostrar que la luz de las auroras es distinta que la luz del Sol. En 1903, Kristian Birkeland, un físico noruego, concluyó que las auroras debían ser resultado de intensas corrientes eléctricas en los gases de la parte alta de la atmósfera, vinculándolas con el magnetismo y las tormentas magnéticas producidas por partículas emitidas desde las manchas solares sobre la superficie del Sol.

La explicación actual sobre las auroras se construyó gracias a los estudios realizados sobre la ionosfera por el equipo dirigido por James Van Allen, con los datos obtenidos mediante el primer satélite artificial *Explorer 1* de los EE. UU., en 1958.

B. Registros históricos en el Sur

En latitudes geográficas entre $\pm 40^\circ$ y $\pm 45^\circ$ pueden observarse solamente auroras de color rojo, cercanas al horizonte, en general como bandas de luz difusas y estáticas. En el hemisferio sur, a esas latitudes se encuentran partes de Australia y Nueva Zelanda, por lo que en las culturas de esta región se aprecian imágenes similares a las halladas en el sur de Europa, China y América del Norte. En pueblos originarios de Australia, por ejemplo, las auroras se relacionan con fuegos en el cielo, originados por espíritus malignos, o fuegos de los campamentos en el mundo de los espíritus; en algunos casos, las auroras son señales que los ancestros dirigen a la gente y deben ser leídos e interpretados únicamente por los hombres más viejos del pueblo (Hamacher, 2013; Daglis et al., 2004).

La riqueza y diversidad de imágenes de estos pueblos contrasta con la casi inexistencia de imágenes producidas por los pueblos de la región del extremo sur de América, la Patagonia argentina y chilena. A pesar de que ambas regiones geográficas tienen similar rango de latitudes geográficas sur (con zonas que llegan hasta casi -57°), la diferencia entre la posibilidad de visualizar auroras es muy notoria, y será explicada más adelante.

Si bien de Mairan, en su obra ya citada de 1731, señalaba que debían existir *auroras australis*, los registros más conocidos en el hemisferio sur corresponden a los exploradores europeos de finales del siglo XVIII. El Capitán James Cook, a bordo de su nave HMS Endeavour, dejó constancia del fenómeno en 1770 (Daglis et al., 2004).

Sin embargo, estudios recientes dan dos posibles excepciones. Según Willis y otros (2009), entre febrero y abril de 1640, durante el conflicto conocido como la Guerra de Arauco (1536-1656) entre las fuerzas españolas y varios pueblos originarios de la región de la Araucanía en el sur de Chile, se registró la observación de auroras, señaladas como “una batalla en el cielo”, según consta en la obra del Abate Alonso de Ovalle SJ (1603-1651) (figura 8). Simpson (2018) llega más atrás aún y propone que en febrero de 1580 el navegante Pedro Sarmiento de Gamboa observó y registró una aurora desde Puerto Angosto, en el sur de Chile.

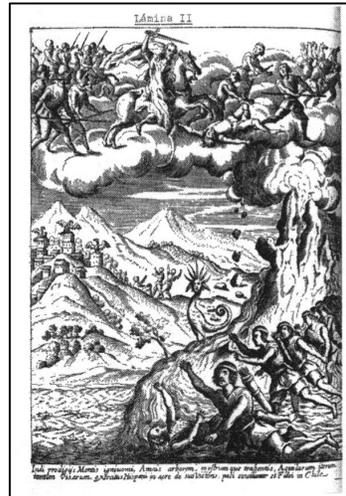


FIGURA 8. La “batalla en el cielo” de 1640, según de Ovalle. Nótese a la derecha la erupción del volcán Llaima, en febrero de ese mismo año. Fuente: Willis et al. (2009).

III. ¿POR QUÉ SE PRODUCEN LAS AURORAS?

Las auroras se producen debido a la interacción que sucede instante a instante entre el Sol (viento solar y campo magnético solar) y el campo magnético y la atmósfera de la Tierra (figura 9) (Complejo Plaza del Cielo, 2014).

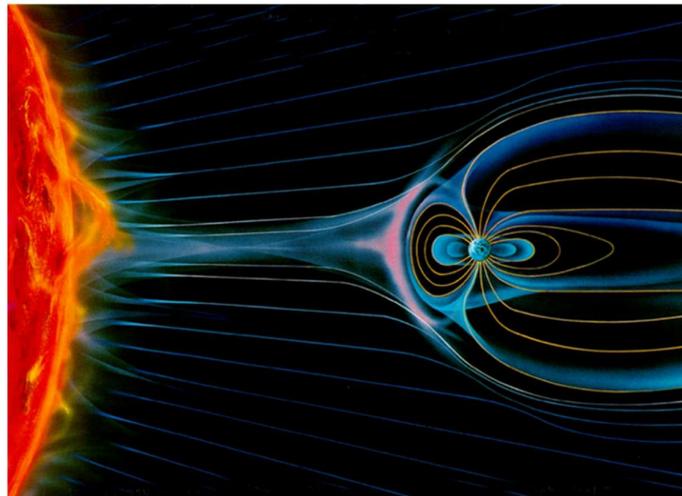


FIGURA 9. Esquema (fuera de escala) que muestra la interacción entre el Sol y la Tierra. Fuente: NASA.

A. El viento solar

Además de radiación electromagnética, el Sol expulsa en forma permanente una enorme cantidad de materia compuesta de partículas cargadas eléctricamente. Estas cargas eléctricas viajan a una velocidad de cientos de miles de kilómetros por hora, barriendo violentamente el Sistema Solar. Aun así, estas partículas de gran energía son mucho más lentas que la luz¹, por lo que, en principio, en la Tierra sería posible anticipar aumentos de intensidad del viento solar, mediante el monitoreo de la actividad del Sol a través de la radiación electromagnética que emite (figura 10).

¹El término “luz” es utilizado significando la totalidad de las frecuencias que forman el espectro electromagnético, y no únicamente el rango espectral que detecta el ser humano (el “visible”, equivalente a IR, UV, RX, etc.). Para los fundamentos de esta afirmación, sugerimos consultar: Camino, Néstor. “La luz en el universo actual”. Capítulo del libro *Radiaciones. Una mirada multidimensional*, del Programa “Escritura en Ciencias-2013”, INFoD, MEN. 2014. Disponible en: http://cedoc.infed.edu.ar/upload/Radiaciones_una_mirada_multidimensional.pdf



FIGURA 10. Esquema (fuera de escala) que muestra la interacción entre el Sol y la Tierra. Fuente: NASA, adaptada.

Cabe agregar que en algunos eventos de muy alta energía y de corta duración, denominados “fulguraciones” (*flares*), las partículas liberadas pueden llegar en pocos minutos a la Tierra y, debido a que el margen para predecir su llegada es mínimo, son los eventos más peligrosos para satélites artificiales y para los astronautas, en especial durante las actividades extra vehiculares (o “caminatas espaciales”). Estas partículas de alta energía no forman parte del viento solar habitual y no son las causantes directas de las auroras.

B. El campo magnético terrestre

El campo magnético terrestre (la magnetósfera) se extiende desde el interior del planeta al espacio circundante, y es mucho menos intenso que el campo magnético solar, el cual domina todo el Sistema Solar y perturba permanentemente al terrestre.

Las cargas eléctricas expulsadas por el Sol, al llegar a la zona de mayor influencia del campo magnético terrestre, quedan atrapadas, moviéndose rápidamente en trayectorias con forma de espirales. Esto produce una gran concentración de partículas en dos regiones del espacio próximo, en torno a la región ecuatorial de la Tierra, las cuales se aproximan a la superficie terrestre cerca de los polos magnéticos, formando lo que se conoce, desde 1958, como los “cinturones de Van Allen” (figura 11). El cinturón interior se encuentra entre los 1.000 km y 12.000 km de altura, y el exterior entre los 13.000 km y los 60.000 km, aproximadamente.

C. La interacción con la atmósfera de la Tierra

La atmósfera de nuestro planeta es una muy tenue capa gaseosa formada, principalmente, por nitrógeno (~77%) y oxígeno (~21%). También se encuentran otros gases en menor proporción (~2%) como vapor de agua, argón, neón, dióxido de carbono, entre otros; además, existen los llamados “aerosoles”, por ejemplo, polvo. Su extensión es de unos pocos cientos de kilómetros (en proporción con la geósfera, la atmósfera sería más fina que la cáscara de una manzana).

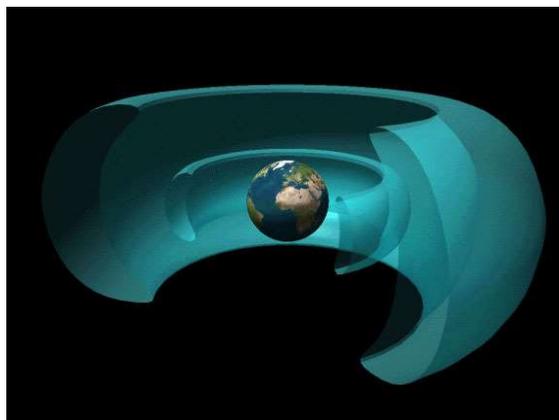


FIGURA 11. Esquema que muestra los Cinturones de Van Allen rodeando a la Tierra. Fuente: NASA.

Las partículas cargadas del viento solar, atrapadas en los cinturones de Van Allen, sólo pueden llegar a la atmósfera en la región cercana a los polos magnéticos terrestres. Al interactuar con la capa de gases, las partículas cargadas chocan a las moléculas del aire, excitándolas. Cuando éstas se desexcitan, emiten luz de un color característico, propio del gas excitado. La composición y densidad de la atmósfera a la altura en que se produzca la aurora es lo que determina finalmente el color y el movimiento de este hermoso fenómeno. Los colores típicos de las auroras se deben a la luz emitida por el oxígeno y el nitrógeno.

La actividad normal del Sol produce, esporádicamente, eventos de corta duración y de gran intensidad, en cuanto a las partículas de alta energía y estructuras magnéticas, que alteran el flujo normal del viento solar. Los eventos más violentos son los denominados “eyecciones coronales de masa” (CME, por su sigla en inglés), generados cuando se liberan gran cantidad de plasma y campos magnéticos organizados viajando a velocidades de unos 400-2.000 km/s, las cuales llegan a la Tierra en lapsos de pocas horas, o hasta de tres o cuatro días después de emitidas (figura 10). Este flujo excepcional de partículas y campos magnéticos perturba profundamente la denominada “meteorología del espacio”, deformando la magnetósfera terrestre y produciendo tormentas geomagnéticas, las cuales producen alteraciones en las telecomunicaciones, órbitas satelitales, corrientes inducidas en los tendidos eléctricos de gran escala, y, en particular, en el número e intensidad de las auroras, las cuales pueden ser vistas desde regiones poco habituales (Caribe, sur de Europa, Patagonia).

D. Los óvalos aurorales

Las auroras ocurren en dos grandes regiones con forma de óvalos (toroides, en realidad) centrados en los polos magnéticos norte y sur (sus bordes se ubican entre 10° y 20° desde los polos magnéticos), de aproximadamente unos 3.500 km de diámetro y unos pocos cientos de kilómetros de ancho (Daglis et al., 2004); cada toroide es un poco más ancho del lado nocturno de la Tierra, donde llega a medir unos 600 km, aproximadamente.

El polo sur magnético, en 2019, estaba ubicado aproximadamente a la latitud geográfica -64°, a poco más de 120 km de la costa de Antártida en dirección al centro de Australia. El polo norte magnético, para este mismo año, se ubicaba aproximadamente a la latitud geográfica +86,5°, en pleno Círculo Ártico, desplazado hacia la Isla de Wrangel, Chukotka, Rusia. Es importante notar que los polos magnéticos no son “antipodales” (no se ubican diametralmente opuestos) y se mueven a una velocidad dispar de 10-15 km/año en el sur, y unos 55 km/año en el norte (World Data Center for Geomagnetism, 2019).

Las colisiones entre los gases de la atmósfera y las partículas cargadas emitidas por el Sol, las cuales son guiadas por el propio campo magnético terrestre hacia estos óvalos, hacen que los mismos sean regiones brillantes (figuras 12 y 13) vistas desde el espacio. Las auroras se producen, típicamente, entre los 100 km y 250 km de altura (figura 14).

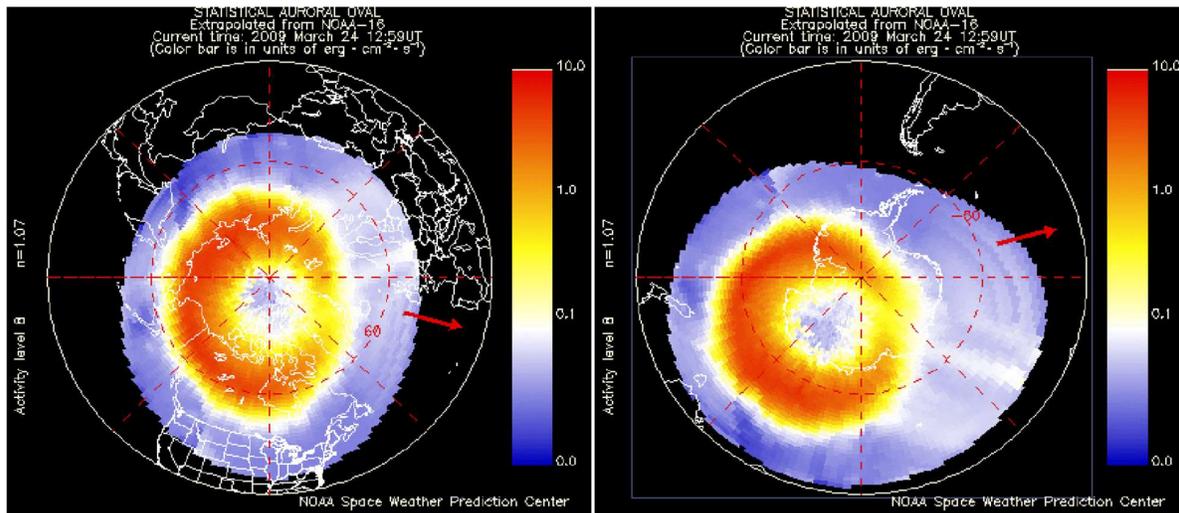


FIGURA 12. Óvalos aurorales. Fuente: NASA.

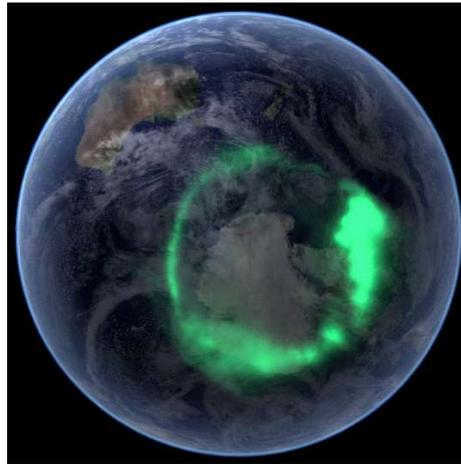


FIGURA 13. Óvalo auroral sobre la Antártida en UV. Fuente: IMAGE satellite. Jet Propulsion Laboratory.

El aumento en la intensidad de la actividad solar produce las denominadas “tormentas geomagnéticas”, las cuales a su vez producen la expansión y engrosamiento de los óvalos aurorales, aumentando la zona en latitud en la que pueden observarse auroras desde la superficie terrestre, tanto al norte como al sur del planeta; asimismo, los polos magnéticos derivan constantemente por la superficie de la Tierra, modificando el centro de los óvalos aurorales.

En el hemisferio norte, el óvalo cubre habitualmente Alaska, Canadá, la región norte de Estados Unidos, el norte de Europa y Siberia; en el hemisferio sur, el óvalo cubre habitualmente la Antártida y el sur de Australia y de Nueva Zelanda. En condiciones de “calma” solar, la probabilidad de observar auroras desde el sur de Australia y las islas cercanas es muy pequeña, aunque puede modificarse si aumenta la actividad solar (Hamacher, 2013).

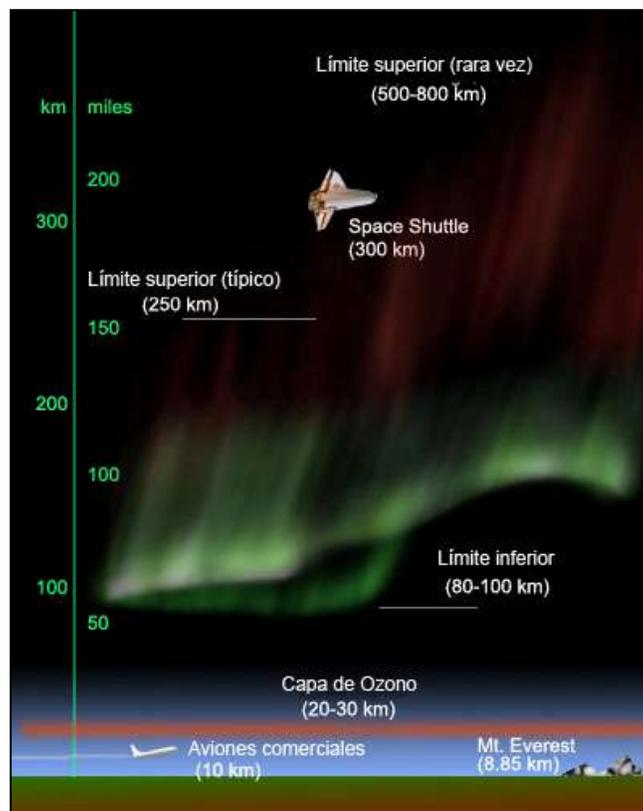


FIGURA 14. Rango de altitudes típicas de las auroras. Fuente: NASA, adaptada.

Las auroras se producen simultáneamente en ambos hemisferios del planeta, ya que los óvalos aurorales existen en ambos polos. Esto es así debido a que las auroras se producen cuando las cargas del viento solar –atrapadas por el campo magnético terrestre- interactúan con la atmósfera. Sin embargo, ambos óvalos no son espacialmente simétricos, porque el campo magnético del Sol deforma la magnetósfera terrestre, y porque, además, los polos magnéticos se mueven en forma distinta, por consiguiente, ambas regiones aurorales pierden la simetría espacial (Laundal, 2009).

Vale notar, además, que las auroras se ven mejor cuando las noches son largas (en invierno), y dos o tres horas después de la puesta o antes de la salida del Sol, y sin Luna, dado que la intensidad de la luz que emiten es relativamente baja. Por esto, a pesar de la ocurrencia de auroras en ambas regiones polares del planeta, la posibilidad de observarlas es diferente, según la estación de cada hemisferio.

E. Los colores y las formas de las auroras

Cada gas que compone el aire de la atmósfera, al colisionar con las partículas del viento solar, es excitado y, posteriormente, emite luz de frecuencias específicas al desexcitarse. Por ejemplo, el oxígeno atómico emite luz de color verde-amarillo, los colores más habituales observados en las auroras; por otro lado, el nitrógeno molecular emite luz de color azul-violeta, frecuencias que el ojo humano detecta con dificultad. Ambos elementos, oxígeno y nitrógeno en forma molecular, emiten luz roja cuando están en la parte más baja de la atmósfera (figura 15). La combinación de estos colores es la que produce la diversidad de tonalidades de las auroras.

En la parte más alta de la atmósfera, el oxígeno atómico emite en 6300 Å (rojo); la baja concentración de átomos y la poca sensibilidad del ojo humano a esta frecuencia hacen que este color se vea únicamente cuando la intensidad de la actividad es muy alta y produce auroras intensas.

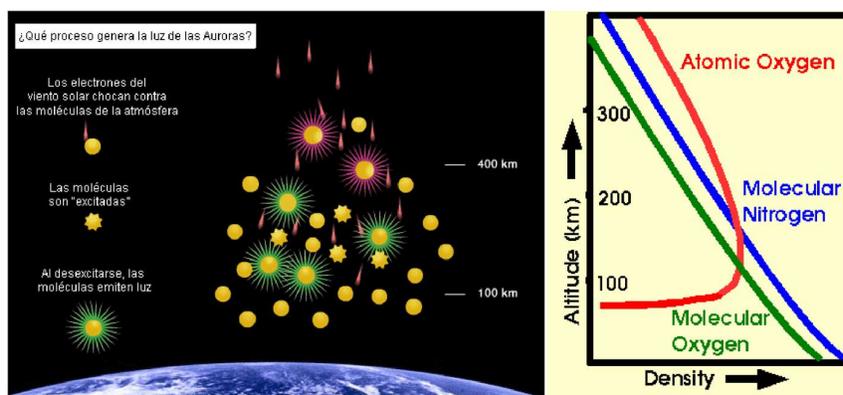


FIGURA 15. Los colores de las auroras. Fuente: NASA, adaptada.

La forma y el movimiento de las auroras dependen del punto de observación, con respecto al borde del óvalo auroral (figura 16).

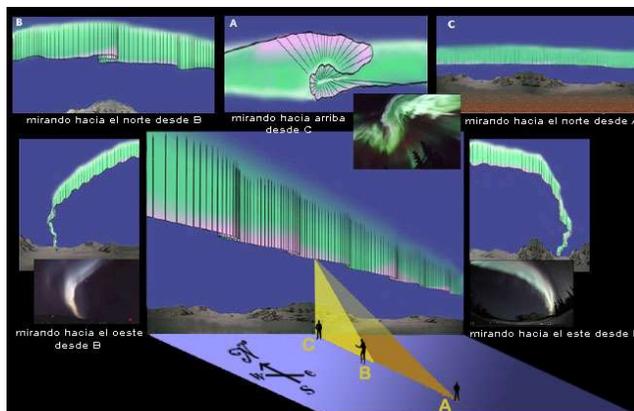


FIGURA 16. Las formas de las auroras. Fuente: NASA, adaptada.

IV. LAS AURORAS DE 1989

El lunes 6 de marzo de 1989, la rotación del Sol hizo que un grupo muy grande y complejo de manchas solares (Región 5395) comenzara a ser visto desde la Tierra; poco después, el conjunto produjo una intensa fulguración (*flare*) y una gran eyección coronal de materia. Este suceso dio inicio a dos semanas de una actividad solar intensa, con muchas e importantes consecuencias para la Tierra y el espacio cercano a nuestro planeta.

Entre los días 6 y 19 de marzo, la Región 5395 produjo 11 fulguraciones de rayos X de intensidad "X" y al menos 48 fulguraciones de intensidad "M"; asimismo, durante esa quincena la densidad e intensidad del flujo de partículas enviadas por el Sol fue mucho mayor que la media habitual (Odenwal, 2001). Se produjeron además intensas tormentas magnéticas, una disminución de los rayos cósmicos de origen galáctico que llegan a la Tierra, y la ionósfera fue altamente perturbada afectando en especial a las comunicaciones por radio. Durante esos días también fueron reportados muchos problemas en satélites artificiales, en especial, aumento del frenado atmosférico, lo que causó serias perturbaciones orbitales y fallas en los sistemas de comunicaciones y navegación.

Sin embargo, el efecto más impactante y, seguramente, el más conocido mundialmente, fue un gran fallo eléctrico en el sistema interconectado Hydro-Quebec, que dejó sin energía eléctrica a más de seis millones de habitantes, por muchas horas, en casi la mitad de Canadá. El evento solar de marzo de 1989 es considerado el mayor en la historia registrada, aunque el "Evento Carrington", del 2 de septiembre de 1859, pudo haber sido de similar intensidad (Eather, 1980).

A los múltiples registros de avistamientos de auroras en regiones no habituales por sus bajas latitudes geográficas, como por ejemplo cerca del Trópico de Capricornio, en Australia, y desde México a las Islas Caimán, en el Caribe, se sumaron los registros obtenidos por satélites artificiales de observación terrestre.

El satélite Dynamics Explorer 1 estaba pasando por encima de la Antártida cuando ocurrió este evento, y tomó imágenes en el rango ultravioleta (1360 Å a 1650 Å), luz emitida por el nitrógeno molecular (figuras 17 y 18). Nótese la gran región que ocupa el óvalo auroral, la cual llega al extremo sur de la Patagonia. En este momento fue cuando se informaron observaciones de auroras desde Australia y en algunas ciudades de la Patagonia (Esquel, Ushuaia, Puerto Natales), a poco de anochecer, se pudieron ver hacia el horizonte sur varias columnas rojizas de baja intensidad: una tenue aurora, aunque aurora al fin.

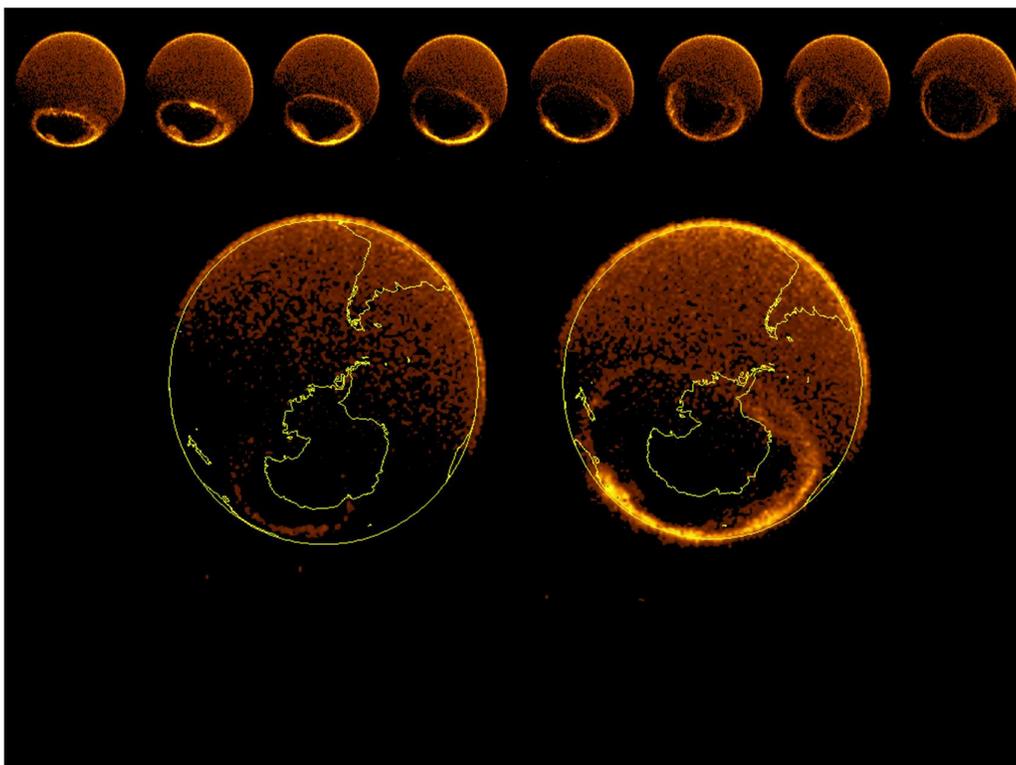


Figura 17. Variación del óvalo auroral durante el 13 de marzo de 1989. El panel superior muestra la variación entre las 16:49 UT a las 18:13 UT, a intervalos de 12 minutos. La imagen de la derecha fue tomada a las 17:37 UT. La imagen de la izquierda es un ejemplo de un óvalo auroral normal. Fuente: NASA Dynamics Explorer - 1 (DE-1).

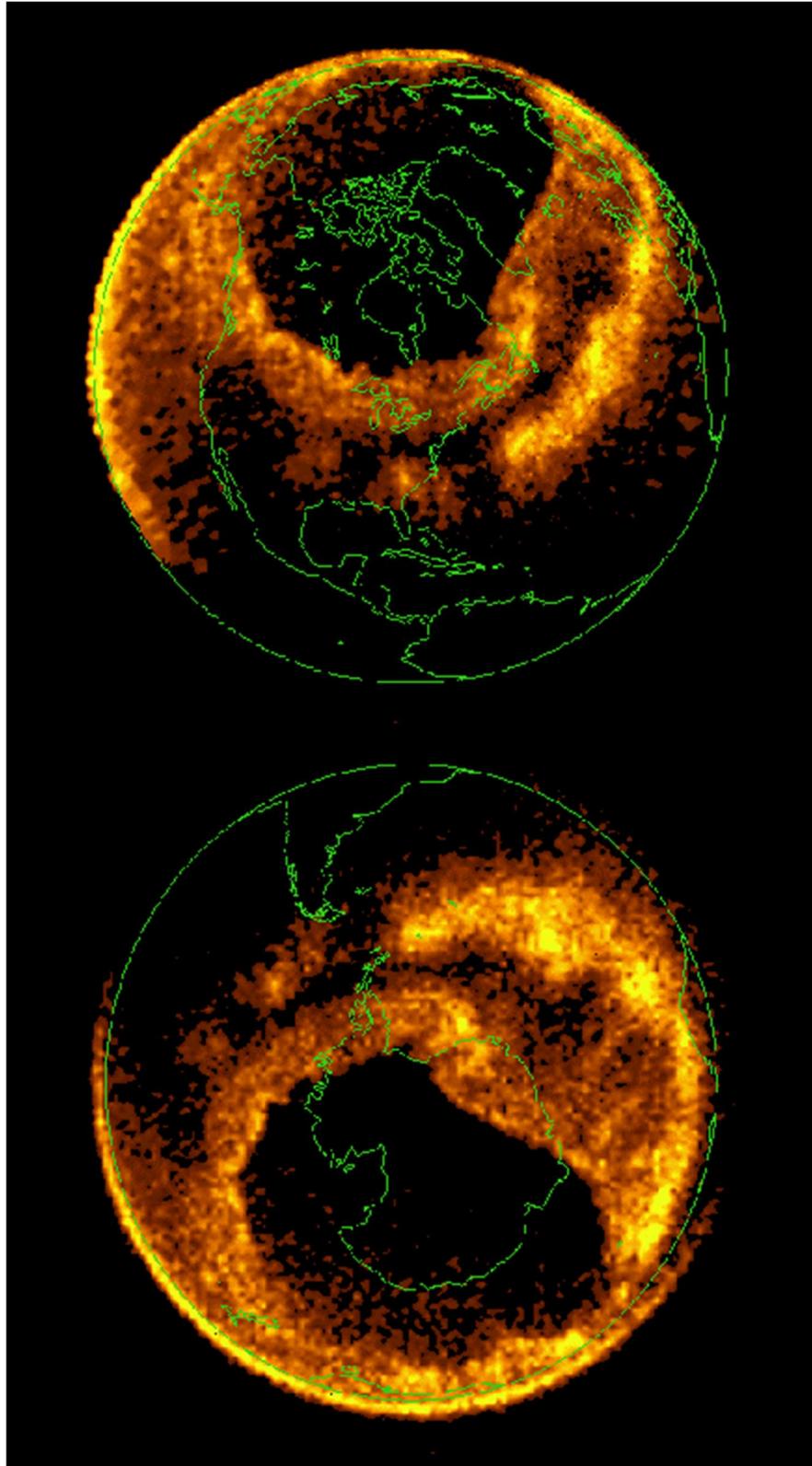


FIGURA 18. Aurora en el hemisferio sur (abajo) observada en ultravioleta por el satélite Dynamics Explorer 1 durante la gran tormenta magnética de marzo de 1989. La imagen fue tomada a las 01:51 UT del 14 de marzo. Nótese la gran región que ocupa el óvalo auroral, la cual llega al extremo sur de la Patagonia. El correspondiente óvalo auroral en el hemisferio norte se muestra en la parte de arriba de la imagen. Fuente: Allen et al., 1989.

A. Las auroras de 1989 vistas desde la Patagonia

La excepcional actividad solar de marzo de 1989 tuvo, entre sus muchos efectos, el haber producido auroras en zonas de la Patagonia desde las que, en general, no puede verse este fenómeno.

Los recuerdos que hemos recogido de personas que observaron aquella aurora, durante un breve lapso al inicio de la noche, aún de verano en el sur, indican una banda rojiza, difusa, estática, que cubría buena parte del horizonte sur-sureste (figura 19).

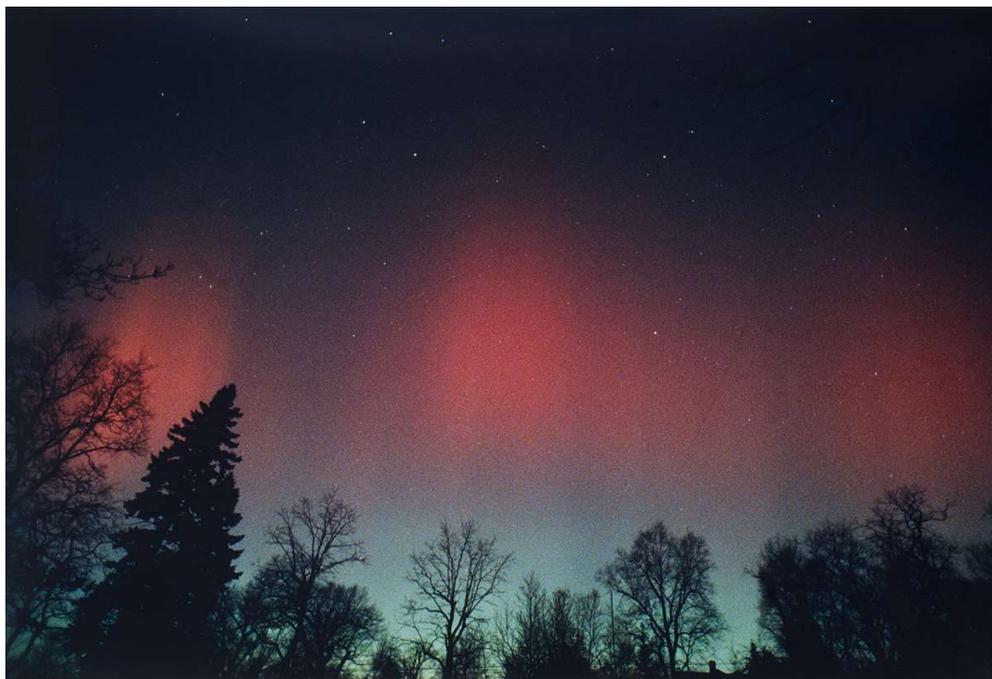


FIGURA 19. Aurora rojiza vista desde Sea Cliff, NY, USA, la noche del 13 de marzo de 1989, muy similar a lo observado desde la Patagonia esa misma noche. Fuente: Ken Spencer.

A la sorpresa y al desconocimiento de quienes vieron el fenómeno, se sumó, en aquel entonces, la falta de información pública al respecto. En 1989 no existía Internet², ni había celulares, por lo que el envío inmediato de alertas por redes sociales, como se haría en la actualidad, no era una posibilidad ni siquiera imaginada. Tampoco existían cámaras digitales, por lo que no se obtuvieron rápidamente imágenes para registro, al menos en nuestra región.

Para el presente trabajo, hemos investigado en los medios de comunicación escritos existentes en la época en la región patagónica, y consultado medios escritos del resto del país, en especial de Buenos Aires y Córdoba.

Los diarios de la época en la Patagonia eran muy pocos, tanto en Argentina como en Chile; la gran mayoría de ellos no existen más y muy pocos han sido digitalizados. Hemos podido hallar sólo dos registros:

- uno en el Diario El Oeste, de Esquel, el cual publica una breve nota, tomando información brindada por el Servicio Meteorológico Nacional, explicando lo visualizado desde la ciudad (figura 20).
- el otro registro es del Diario La Prensa Austral, de Puerto Natales en Chile, también muy breve y replicando información de fuentes nacionales (figura 21).

Un tercer registro proviene de la ciudad de Córdoba, del Diario La Voz del Interior, una nota más extensa con explicaciones técnicas que incluyen comentar la intensa actividad solar y sus consecuencias (figura 22), aunque no agrega nada sustancial a las dos notas anteriores.

²Internet en la Argentina comenzó su desarrollo en la década de 1980, como el esfuerzo de conexión de entidades académicas y gubernamentales. En el año 1985 se creó el Departamento de Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad de Buenos Aires donde un grupo de profesores, graduados y estudiantes comenzaron a trabajar en la investigación y el desarrollo de redes. En 1986 comenzaron a trabajar en el proyecto RAN (Red Académica Nacional), que a través del protocolo UUCP brindaba el servicio de correo electrónico a instituciones de carácter académico a nivel Nacional, y tiempo después se logró la conexión internacional a través de la Cancillería. La comercialización de Internet al público general recién se remonta a 1995, en algunos puntos del país. Ver: https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_en_la_Argentina.

PAGINA 2

Explicaciones de curioso fenómeno atmosférico

Buenos Aires, (Télam). El fenómeno atmosférico observado en el sur del país, un cielo rojizo que opacaba a las estrellas, fue atribuido por los expertos del servicio meteorológico nacional a la mayor actividad del sol en esta época del año, que provoca un mayor ionización en la ionósfera, las capas superiores de la atmósfera.

Este fenómeno no pudo ser detectado por vía satélite, ni en el servicio meteorológico, ni en su observatorio de Villa Ortuzar, donde funciona la estación de recepción satelital de alta resolución. El licenciado Jorge Leis, de este observatorio, explicó que -según le habían comunicado desde Viedma- se trataba de una formación de 200 metros de frente, imposible de recibir por un satélite que requiere una radicación no menor de un kilómetro cuadrado.

Por su parte el licenciado Hugo Hordij, del SMN consultado por Télam, informó que se estaba trabajando sobre la hipótesis de una nube noctilucente, que es una formación que suele obedecerse en la Antártida, que refleja los rayos solares a 60 o 70 kilómetros de altura, de acuerdo a los datos que había recibido de sus colegas de Esquel.

Indicó que es una nube muy tenue que se forma en la ionósfera después del crepúsculo, cuando el sol está debajo del horizonte y en la tierra no ha anochecido. Raramente el ojo humano puede verla, pero es posible percibirla en una noche despejada en lugares y circunstancias especiales. Destacó Hordij que "estamos entrando en un periodo de actividad solar que produce una mayor ionización de las capas superiores de la estratósfera".

El responsable de las previsiones de erupciones solares del observatorio de Paris-Meudon, cerca de la capital francesa, Pierre Lanthds, declaró que "la erupción solar del 6 de marzo último, fue la más fuerte en rayos x que se registró en la tierra hasta el presente, y saturó los instrumentos de medición".

Casi simultáneamente, en la base norteamericana de Holloman, en Nuevo México, una erupción solar batió el record absoluto al alcanzar una intensidad de 4 brillos (luminancias), en los aparatos de medición estadounidenses, en los que nunca se había pasado de 3 luminancias.

DIARIO INDEPENDIENTE PARA SERVIR AL PAIS

El Oeste

AÑO 1 - Nº 9 - ESQUEL (CH.), MIÉRCOLES 15 DE MARZO DE 1989 - A 6,00

FIGURA 20. Nota del 15 de marzo de 1989 en el diario El Oeste, de Esquel. Fuente: Biblioteca Municipal Nicolás Avellaneda.

La Prensa Austral, Jueves 16 de marzo de 1989 / pág. 25

Resplandores rojizos y nubes azules

Extraños fenómenos meteorológicos se observaron en cielos natalinos

PUERTO NATALES. El padre Antonio Larrain Pérez Cotapos, director del observatorio meteorológico del colegio Monsenor Fagnano dio una explicación sobre el fenómeno que se presentó el lunes último en el cielo natalino, cuando resplandores rojizos y largas nubes blanco azulina dominaron el espacio, por lapso de dos horas, provenientes de un foco común, en dirección norte del bloque de hielo continental, hacia el sur y abriéndose hacia el este y oeste en dirección de la Antártida.

Muchos observaron el panorama que se veía en el cielo, con especial interés. El fenómeno atmosférico fue calificado como muy hermoso y que sucede muy rara vez.

El padre Larrain, basándose en la enciclopedia Sopena, señala que en la termosfera, hasta 500 kilómetros de altura, donde el enrarecimiento permite una gran excitación molecular con bajísimas temperaturas, se le forman en su base, nubes noctilucientes de color blanco-azul plateado, constituida por finísimos granos de polvo atmosférico, de procedencia volcánica o meteorítica, y que originan las noches luminosas.

Agregó que en la termosfera es donde se originan fenómenos como las auroras polares, las estrellas fugaces, las nubes noctilucientes y un poco más bajas, las nubes nacaradas.

El fenómeno fue visible en el espacio estelar entre las 20.30 y 22.30 horas del lunes y permaneció vagamente gran parte de la noche. El padre Larrain indica que la situación meteorológica a esa hora indicaba: 80 por ciento de humedad que varió al 75 por ciento al aparecer viento norte, 14 grados de temperatura, vientos del norte y noreste de 10 a 15 kilómetros por hora. Nubes: cumulos bajos, altostratos a los 4 mil metros, y cirrostratos sobre los 8 mil metros. Luminosidad solar refractada de color rojizo por la mucha humedad del ambiente.

Esta es la explicación aproximada, agregó el padre Larrain, del fenómeno atmosférico visto la noche del lunes en Puerto Natales.



Un curioso fenómeno meteorológico se registró en Puerto Natales con resplandores rojizos y nubes azules. En la foto de archivo se aprecia un aspecto del habitualmente hermoso cielo natalino.

FIGURA 21. Nota del 16 de marzo de 1989 en el diario La Prensa Austral, de Puerto Natales, Chile. Fuente: Biblioteca Nacional de Chile.



FIGURA 22. Nota del 15 de marzo de 1989 en el diario La voz del Interior, de Córdoba. Fuente: Hemeroteca Legislatura de la Provincia de Córdoba.

V. ¿POR QUÉ NO SE VEN AURORAS DESDE LA PATAGONIA?

¿Por qué fue (es) excepcional haber visto una aurora desde la Patagonia? ¿Por qué no es excepcional ver auroras desde Tasmania, Australia, cuya latitud geográfica es casi idéntica a la de Esquel? Sencillamente, porque las auroras no son un fenómeno vinculado a la latitud geográfica, sino a la latitud magnética.

A. Latitud geográfica y latitud magnética

La Tierra, como todos los objetos en el universo, está en rotación; pueden definirse entonces los polos geográficos (rotacionales, astronómicos) y por simetría se define el ecuador geográfico, a partir de lo cual se establece el sistema de coordenadas geográfico, constituido por la latitud geográfica y la longitud geográfica. Esto es lo que habitualmente nos permite posicionarnos en el planeta, y son los datos que manejamos en la vida cotidiana a partir de los mapas, de los navegadores GPS, etc.

Así, estamos acostumbrados a decir que Ushuaia está al sur y que La Quiaca está al norte, sin aclarar de qué tipo de coordenada latitud estamos utilizando, dando por hecho que es la geográfica. Del mismo modo, hemos aprendido, en la escuela, en libros, imágenes y en los medios, que las auroras suceden "al sur", vinculándolas con la zona del Polo Sur geográfico.

Pues bien, las auroras no están vinculadas con los polos geográficos, sino con los polos magnéticos. La Tierra tiene un importante campo magnético planetario, y es posible entonces definir en forma equivalente a la definición geográfica un sistema de coordenadas magnéticas, con dos polos magnéticos, el ecuador magnético y latitud magnética, parámetro que permite caracterizar cada punto del planeta con respecto a las propiedades magnéticas del lugar. Cabe destacar que no todos los cuerpos del sistema solar tienen campo magnético, razón por la cual no en

todos ellos puede definirse un sistema de coordenadas magnético, como sí lo hacemos en nuestro planeta (Beatty y otros, 1999).

¿Dónde se ubican los polos magnéticos de la Tierra? Ambos pares de polos, geográfico-magnético sur y norte, están separados por cientos de kilómetros. En el caso del sur, la distancia entre ambos polos es de unos 2.800 km, estando el polo sur magnético desplazado como se indicó, hacia la zona central de Australia. En el caso del norte, la distancia entre ambos polos es de aproximadamente 400 km, estando el polo norte magnético desplazado hacia la Isla de Wrangel (figura 23).

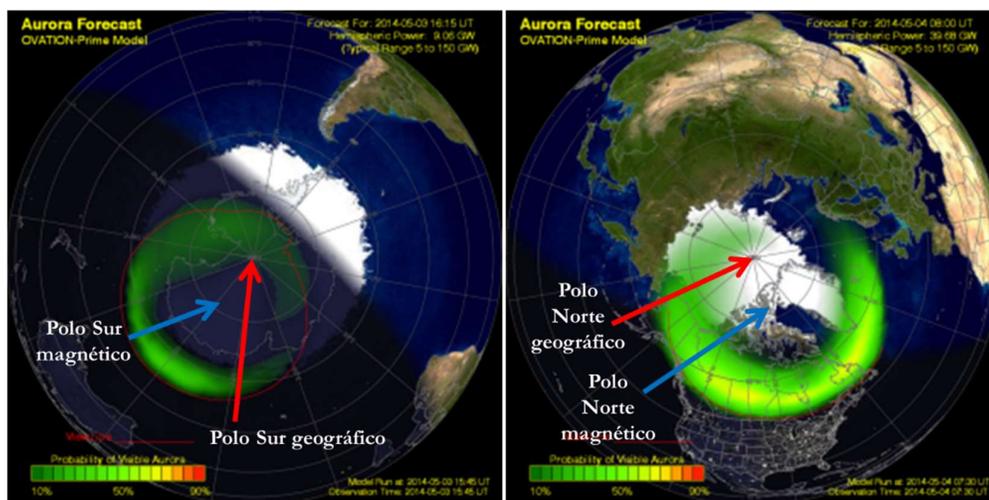


FIGURA 23. Separación entre los polos geográfico y magnético, sur y norte. Nótese cómo el óvalo auroral está relativamente cerca de Australia y Nueva Zelanda, y muy lejos de la Patagonia, y que en el hemisferio norte las zonas más densamente pobladas están incluidas o muy cerca de la región del óvalo auroral. Fuente: NASA, adaptada.

Consecuentemente, al estar los óvalos aurales centrados en los polos magnéticos, y no en los polos geográficos, se puede comprender la razón de que la posibilidad de visualizar auroras desde la Patagonia sea casi nula, a excepción de circunstancias como la intensa actividad solar ocurrida en marzo de 1989.

Tomando a la ciudad de Esquel como referencia (uno de los lugares en los que se vio en 1989 la aurora rojiza cubriendo el horizonte sur-sureste), la diferencia entre sus latitudes es notoria: la latitud geográfica es de 43° Sur y la latitud magnética es de 31° Sur, aproximadamente.

Así, el borde del óvalo auroral está muy alejado de Esquel, y sólo una actividad auroral extrema, excepcional, que agrandara el óvalo y ensanchara sus bordes, haría posible visualizar auroras desde esta zona.

VI. CÓMO SABER SI SE VERÁN AURORAS EN LA PATAGONIA

¿Es posible predecir la visión de auroras desde un cierto lugar sobre la Tierra? ¿Sería posible predecir que se pudieran ver auroras en regiones como la Patagonia?

En distintos lugares del mundo, diversas instituciones se dedican al estudio de la interacción del Sol con la Tierra, en especial del denominado “clima espacial” (*spaceweather*), uno de cuyos servicios es el monitoreo en tiempo real de los procesos que vinculan la actividad solar (manchas solares, eyecciones coronales de materia, fulguraciones, etc.) con las perturbaciones de la magnetósfera terrestre y con la producción y observación de auroras. Tal monitoreo se realiza, principalmente, a partir de la información que brindan varios satélites de observación del Sol y de una red de estaciones de observación magnética sobre la superficie terrestre.

A. El índice planetario Kp

El índice planetario Kp cuantifica las perturbaciones de la componente horizontal del campo magnético terrestre, derivado a partir de las máximas fluctuaciones de las componentes horizontales observadas por un magnetómetro durante un intervalo de tres horas, realizando además un promedio entre 8 observatorios geomagnéticos ubicados entre los +44° y los +60° de latitud magnética.

Kp es un número entero que varía entre 0 y 9 (0 calmo, 1 muy débil, hasta 9 durante una tormenta geomagnética de gran intensidad con auroras visibles en amplias regiones). Se considera que a partir de Kp = 5 está en curso una tormenta geomagnética. El índice Kp fue introducido por el científico Julius Bartels en 1938 y está directamente vinculado con la actividad solar.

Distintos organismos brindan mapas en tiempo real con la categorización de las regiones del planeta a partir de curvas de igual valor del índice Kp, codificadas por color (figura 23).

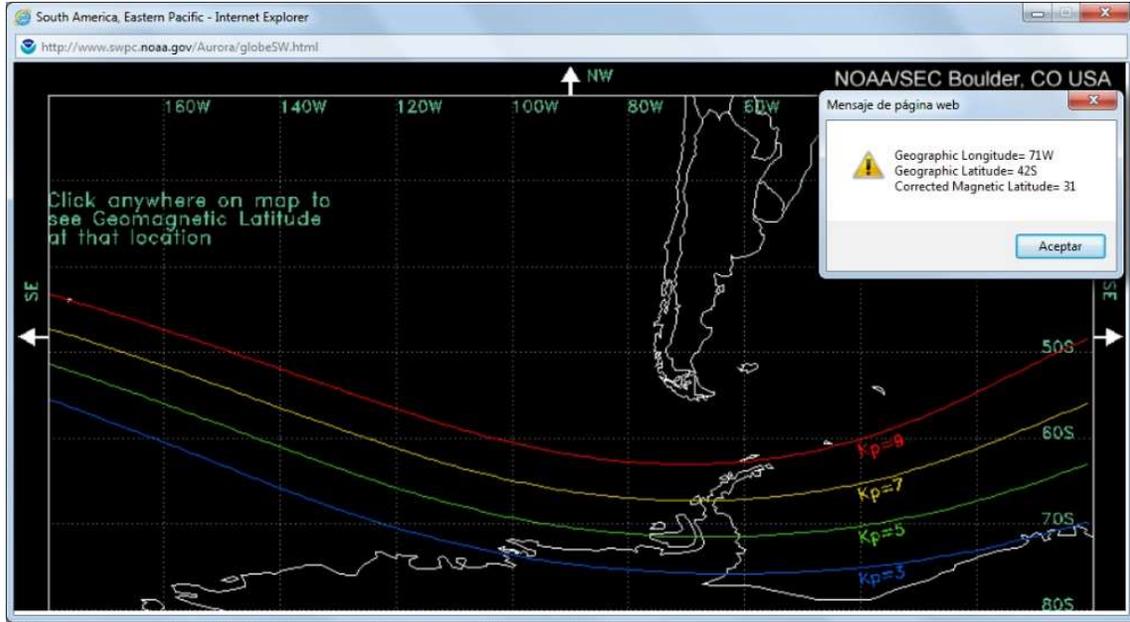


FIGURA 23. Mapa de latitud magnética de la región sur de Argentina, indicando el índice planetario Kp. Fuente: NOAA.

B. El servicio de predicción de auroras

Algunos organismos (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA; University of Alaska Fairbanks; Space Weather Services, Bureau of Meteorology, Australia) brindan, además, un servicio de predicción y alertas sobre actividad solar y auroras, actualizados, en general, en intervalos de pocos minutos, según modelos sobre la interacción magnética en el sistema Tierra-Sol (figura 24); existen también aplicaciones gratuitas para celulares (ver direcciones web en las referencias).

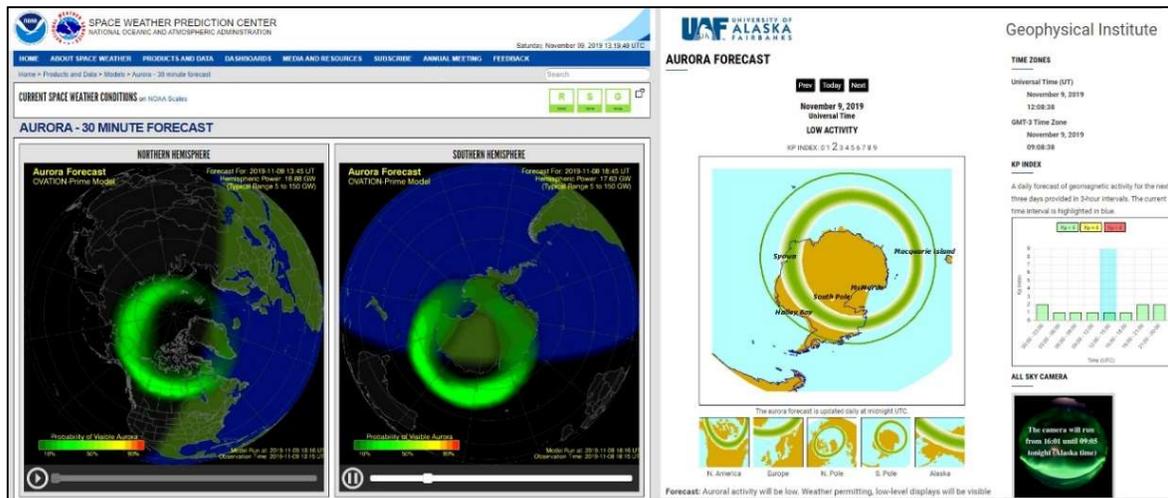


FIGURA 24. Sitios web de predicción de auroras de NOAA y de U Alaska Fairbanks. Fuente: NOAA y U de Alaska Fairbanks.

VII. ALGUNAS REFLEXIONES DIDÁCTICAS A MODO DE COMENTARIO FINAL

A partir de lo desarrollado, cabe pensar acerca de la didáctica para llevar la temática de las auroras, y de la interacción entre la Tierra y el Sol, a las aulas de todos los niveles educativos y a la comunidad en general. Estas reflexiones van más allá de la didáctica específica y proponen modificar ciertas actitudes y visiones de mundo que hemos naturalizado, aunque a veces no seamos conscientes, y que propagamos en nuestra práctica docente y profesional.

Ante todo, afirmamos que no existe una “astronomía del norte”, no existe ningún fenómeno astronómico propio del norte que no suceda también en el sur. La historia de exploración, desarrollo científico y dominio cultural de los pueblos del norte generó la idea de que existían las “auroras boreales”, que con el tiempo fue asumida como verdad, naturalizada por millones de personas que vivieron desde siempre bajo el óvalo auroral norte. La idea de que pudiera existir un fenómeno astronómico propio del norte fue compartida no solo por la gente en general, sino por algunos científicos, varios de ellos astrónomos, y por profesores de distintas áreas y niveles de formación, cuestión de importancia que, como educadores, debemos analizar y discutir.

Aquellos criterios y diferencias, asumidos y ejercidos durante siglos, según los cuales el norte es diferente del sur, son todavía parte del funcionamiento del mundo en la actualidad. Que las “auroras australis” hayan sido un descubrimiento científico es un sinsentido astronómico y cultural, que no debemos aceptar que continúe.

Por otra parte, debemos trabajar sobre la naturaleza del planeta Tierra en forma integrada, describiendo sus características sin dejar incompleto el modelo científico actual. La Tierra no sólo es un planeta en rotación, también es activo magnéticamente y, si bien físicamente se considera que la rotación de su núcleo de Fe-Ni caliente y líquido produce el campo magnético terrestre, debe discutirse en las aulas que rotación no implica magnetismo, ni viceversa: existen muchos planetas y satélites en rotación sin magnetismo. Por otro lado, debe remarcar que Latitud no es sólo latitud geográfica, también existen otras, en especial la magnética.

Así, al trabajar sobre auroras, no sólo debemos explicar el proceso electromagnético y mostrar las regiones geográficas del planeta desde las cuales se observan, clasificándolas como “polares” por latitud geográfica. El abordaje de las auroras debe incluir el tratamiento de la Tierra como un generador de campo magnético con polos y regiones de un comportamiento muy diferente a los polos y regiones geográficas.

Una acción que nos debemos, más allá de la enseñanza formal, es llegar a la comunidad mediante acciones de divulgación científica que traten en forma rigurosa y accesible temas de interés, como son, sin dudas, las auroras.

Finalmente, al escribir estas líneas estamos en diciembre de 2019, vislumbrando la finalización del profundo mínimo del ciclo solar 24 con la aparición de las primeras manchas solares propias del nuevo ciclo solar. Es de esperar que en los próximos años la actividad solar se intensifique, aparecerán nuevas manchas y aumentará la actividad auroral. ¿Habrá algún evento como el del 13 de marzo de 1989? No lo sabemos, pero sería probable. ¿Estaremos preparados como educadores para trabajar sobre auroras cuando veamos otra vez bandas de luz rojiza sobre los cielos del sur argentino? Deseamos que así sea, el presente trabajo debe considerarse como una contribución a incorporar en nuestras vidas y en las aulas a las auroras como un símbolo y un recordatorio de la interrelación del frágil ecosistema terrestre con la radiación electromagnética y la materia que provienen del Sol. Las auroras nos muestran que, en definitiva, “vivimos dentro del Sol”.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen profundamente, por la ayuda prestada, a:

- Personal de la *Biblioteca Municipal Nicolás Avellaneda* de Esquel, por su dedicado trabajo y disposición, en particular por sostener el Archivo Histórico Municipal.
- Personal de la *Hemeroteca de la Legislatura de la Provincia de Córdoba*.
- Personal de “Bibliotecari@ en Línea”, *Biblioteca Nacional de Chile*, Georgina Serey y Bernardo Noziglia Reyes.
- Sr. Mauricio González, Diario *La Prensa Austral*, Puerto Natales, Chile.
- Prof. José Luis Hormaechea, Director de la *Estación Astronómica Río Grande*, Río Grande, TdF AeIAS.
- Dra. Nancy Fernández, Directora del *Grupo de Investigación en Educación en Ciencias Naturales (GIECIN)*, Instituto de Educación y Conocimiento, Ushuaia, UN TdF AeIAS.
- Dra. Hebe Cremades, *Grupo Estudios Atmosféricos y Ambientales*, UTN-FRM / CONICET, Mendoza, por sus comentarios y sugerencias a la versión preliminar de este trabajo.
- Dr. José M. Vaquero, *Departamento de Física, Centro Universitario de Mérida, Universidad de Extremadura*, España, por brindarnos información actualizada sobre registros históricos de auroras en el Sur.
- Las personas que compartieron con nosotros sus recuerdos de aquel fenómeno hermoso.

REFERENCIAS

- Allen, J. H. (1989). Solar and geomagnetic activity during March 1989 and later months and their consequences at Earth and in near-earth space. En Olsen, R. C., *Proceedings of the Spacecraft Charging Technology Conference, Volume 1*. Monterrey, California: Naval Postgraduate School. Disponible en <http://hdl.handle.net/10945/46693> Consultado 01/12/19.
- Allen, J., Sauer, H., Frank, L., Reiff, P. (1989). Effects of the march 1989 solar activity. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 70(46), 1479-1488. doi: 10.1029/89EO00409
- Beatty, K., Collins Petersen, C., Chaikin, A. (1999). *The new Solar System*. 4th Ed. Cambridge University Press.
- Cade, W. B., III. (2013). The First Space Weather Prediction. *Space Weather*, 11, 330–332, doi: 10.1002/swe.20062.
- Complejo Plaza del Cielo. (2014). ¿Por qué no se ven auroras en Esquel? Ciclo de Charlas del Complejo Plaza del Cielo, 28 de mayo de 2014 (quinta charla del séptimo año).
- Daglis, I., Akasofu, S-I. (2004). Aurora – The magnificent northern lights. *Recorder*, 29(9). Disponible en: <https://csegrecorder.com/articles/view/aurora-the-magnificent-northern-lights>. Consultado el 01/12/19.
- Eather, R. H. (1980). *Majestic lights: The aurora in science, history, and the arts*. Washington: American Geophysical Union.
- Falck-Ytter, H. (1999). *Aurora: The Northern Lights in Mythology, History and Science*. Hudson NY: Floris Books.
- Hamacher, D. (2013). Auroras in australian aboriginal traditions. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 16(2), 207-219. Disponible en <http://www.narit.or.th/en/files/2013JAHHvol16/2013JAHH...16..207H.pdf> . Consultado el 01/12/19.
- Hayakawa, H., Mitsuma, Y., Fujiwara, A., Ebihara, Y., Kawamura, A. D., Miyahara, H. (2016). Earliest datable records of aurora like phenomena in the astronomical diaries from Babylonia. *Earth, Planets and Space*, 68. doi: 10.1186/s40623-016-0571-5
- Hayakawa, H., Mitsuma, Y., Fujiwara, A., Kawamura, A. D., Kataoka, R., Edihara, Y., Kosaka, S., Iwahashi, K., Tamazawa, H., Isobe, H. (2017). The earliest drawings of datable auroras and a two-tail comet from the Syriac Chronicle of Zuqnin. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 69(2). doi: 10.1093/pasj/psw128
- Laundal, K. M. y Østgaard, N. (2009). Asymmetric auroral intensities in the Earth's Northern and Southern hemispheres. *Nature* 460(7254), 491-493. doi: 10.1038/nature08154
- NASA. (2006). The history of auroras. https://www.nasa.gov/mission_pages/themis/auroras/aurora_history.html Consultado el 01/12/19.
- Odenwald, S. (2001). *The 23rd cycle. Learning to live with a stormy star*. New York: Columbia University Press.
- Siscoe, G. L., Silverman, S. M., Siebert, K. D. (2002). Ezekiel and the Northern Lights: Biblical Aurora Seems Plausible. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 83(16), 173-179. doi: 10.1029/2002EO000113
- Simpson, J. (2018). The first recorded aurora australis? *Journal of the British Astronomical Association*, 128(1), 33-37.
- Vaquero, J., M., Vázquez, M. (2009). *The Sun recorded through history. Scientific data extracted from historical documents*. Springer.
- Willis, D., Vaquero, J., Stephenson, F. R. (2009). Early observation of the aurora australis: AD 1640. *Astronomy & Geophysics*, 50(5), 5.20–5.24. doi: 10.1111/j.1468-4004.2009.50520.x . Consultado el 01/12/19.
- World Data Center for Geomagnetism. (2019). Magnetic North, Geomagnetic and Magnetic Poles. <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/poles/polesexp.html> Consultado el 01/12/19.

Servicios en la web de predicción de auroras, en tiempo real (todos consultados el 01/12/19):

Mapa global en tiempo real que da la probabilidad de ver una aurora desde cualquier punto sobre la superficie terrestre. <https://earth.nullschool.net/#current/space/surface/level/anim=off/overlay=aurora/winkel3/>

University of Alaska Fairbanks, Geophysical Ins. Aurora Forecast. <https://www.gi.alaska.edu/monitors/aurora-forecast>

KHO Auroral forecast service. <http://kho.unis.no/Forecast.htm>

Space Weather Prediction Center NOAA. Aurora – 30 min forecast. <https://www.swpc.noaa.gov/products/aurora-30-minute-forecast>

Space Weather Services, Bureau of Meteorology, Australia. <http://www.sws.bom.gov.au/>

Aplicación gratuita para celulares “Aurora Forecast 3D”: <http://kho.unis.no/Forecast3D.htm>