



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

SISTEMA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y
EDUCACIÓN A DISTANCIA

COLEGIO DE GEOGRAFÍA

“La aurora polar como atractivo para el
turismo alternativo internacional;
(guía para el observador)”

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

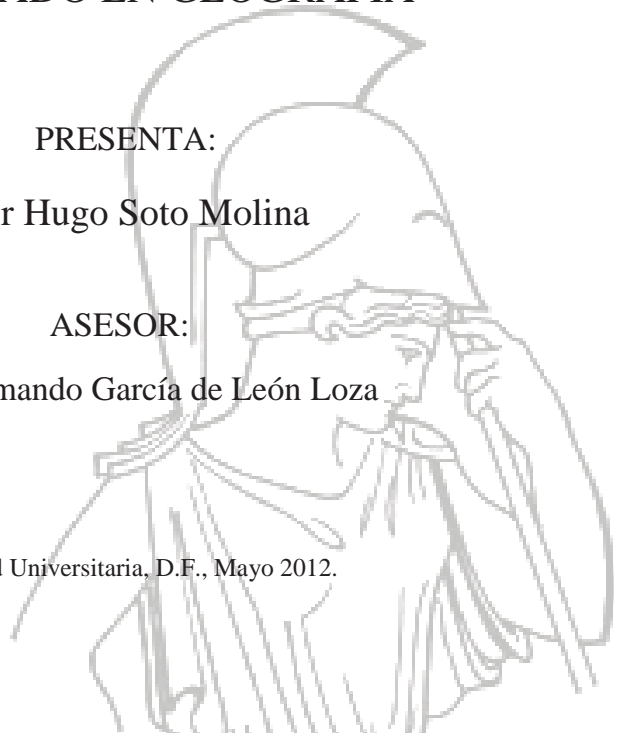
Víctor Hugo Soto Molina

ASESOR:

Mtro. Armando García de León Loza

Ciudad Universitaria, D.F., Mayo 2012.

SLAYED





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice general

a) Introducción.....	7
b) Objetivos.....	9
c) Justificación.....	10
d) Metodología.....	11
e) Marco teórico-conceptual.....	14
CAPÍTULO I. Los actores principales.....	17
1.1 El Sol.....	17
1.1.1 Estructura y actividad solar.....	20
1.1.2 El viento solar.....	29
1.1.3 Ciclos de actividad solar: períodos extraordinarios.....	34
1.2 La Tierra.....	41
1.2.1 Origen y características del geomagnetismo.....	42
1.2.2 La Atmósfera.....	47
1.2.3 La Ionósfera y las tormentas magnéticas.....	49
1.2.4 Interacción de las partículas provenientes del Sol con la Atmósfera.....	62
1.2.5 Morfología y color de las auroras.....	69
1.2.6 Distribución geográfica de las auroras.....	81
1.2.7 Desplazamiento del óvalo auroral hacia latitudes bajas durante las grandes tormentas magnéticas.....	84
CAPÍTULO II. Pronóstico de auroras.....	90
2.1 Los satélites “Solar and Heliospheric Observatory” (SOHO) y “Advanced Composition Explorer” (ACE) como fuentes de imágenes e indicadores del clima espacial.....	90
2.2 Aplicación de los diferentes indicadores del clima espacial para pronóstico de Auroras.....	94
CAPÍTULO III. Las auroras como atractivo turístico alternativo a los destinos convencionales.....	112
3.1 La geografía en el turismo: origen, características e importancia.....	112
3.2 Las auroras como atracción turística para territorios o zonas boreales.....	120
3.3 Impactos en la economía local por las auroras.....	123
3.4 Guía del visitante hacia los sitios más propicios para la contemplación de las auroras.....	129
3.5 Cómo fotografiar la aurora.....	156
Conclusiones.....	159
Bibliografía.....	162

Índice de figuras y tablas

Figura 1 “Promedio anual del número de manchas solares”	18
Figura 2 “Estructura externa de una típica mancha solar”	21
Figura 3 “Fotografía ocasional sin ningún equipo especial donde se captó un posible grupo de manchas”	22
Figura 4 “Diagrama de mariposa o Maunder”	23
Figura 5 “Imagen en la que se aprecian en tono más claro las fáculas”	24
Figura 6 “Gráfica de Hale donde las cargas eléctricas que rodean el vórtice generan el campo magnético de las manchas”	25
Figura 7 “Esquema de la polaridad de las manchas para el 27 de marzo del 2008”	26
Figura 8 “Fotografía obtenida durante un eclipse total en Zimbawe”	27
Figura 9 “Imagen que muestra la espiral formada por los sectores de viento solar”	31
Figura 10 “Los últimos 15 ciclos solares”	35
Tabla 1 “Valores promedio de manchas mensuales y duración de cada etapa de los ciclos”	35
Figura 11 “Imágenes de las cámaras EIT y LASCO a bordo del observatorio SOHO durante el 18/10/99”	37
Figura 12 “Velocidad y densidad del viento solar registrados por el ACE”	38
Figura 13 “Imágenes de las cámaras EIT y LASCO a bordo del observatorio SOHO durante el 4/04/2000”	38
Figura 14 “Velocidad y densidad del viento solar registrados por el ACE”	39
Figura 15 “Imágenes y registros de LASCO/EIT de la gran explosión del 14 de julio del 2000”	40
Figura 16 “Estructura interna de la Tierra”	45
Figura 17 “Movimiento circulatorio en el núcleo externo”	47
Figura 18 “Distribución de las capas de la atmósfera.”	49
Figura 19 “Principio básico del dinamo eléctrico”	50
Figura 20 “Variación de las capas de la ionósfera según época del año”	52
Figura 21 “Representación gráfica de las diferentes subcapas ionosféricas según la hora del día”	55

Figura 22 “Ionograma mundial para el 25/10/11”.....	56
Tabla 2 “Relación entre nanoteslas (nT) y su respectivo índice K”.....	57
Figura 23 “Lectura de un magnetógrafo mostrando las fases de una tormenta tipo”.....	58
Figura 24 “Imagen que muestra el achatamiento sufrido por la magnetósfera del lado hacia el Sol”.....	60
Figura 25 “Registros de observatorios en diferentes partes del mundo para el 17 y 18 de abril de 1965”.....	61
Figura 26 “Trayectoria de las partículas dentro de las líneas de campo terrestre”.....	62
Figura 27 “Gráfico que muestra cómo se comportan las partículas dentro de la “botella magnética”.....	63
Figura 28 “Comportamiento de las partículas dentro de los cinturones de Van Allen”..	64
Figura 29 “Fases de excitación de un átomo”.....	67
Figura 30 “Arcos estáticos homogéneos”.....	69
Figura 31 “Bandas homogéneas.....	70
Figura 32 “Arcos pulsantes”.....	70
Figura 33 “Superficies luminosas difusas”.....	71
Figura 34 “Superficies pulsantes”.....	71
Figura 35” Resplandor débil”.....	72
Figura 36 “Arcos con estructura de rayos”.....	72
Figura 37 “Bandas con estructura de rayos”.....	73
Figura 38 “Draperías”.....	73
Figura 39 “Rayos”.....	74
Figura 40 “Corona”.....	74
Figura 41 “Llamaradas”.....	75
Figura 42 “Gráfica vista desde arriba del ovalo auroral”.....	79
Figura 43 “Desplazamientos de las áreas fuente que ocasionan el desplazamiento de la aurora”.....	80
Figura 44 “Formación de espirales a partir de ligeras ondulaciones”.....	80
Figura 45 “Imágenes captadas por dos aviones volando simultáneamente bajo la misma línea de campo”.....	82

Figura 46 “Región auroral norte durante la actividad solar promedio”	83
Figura 47 “Mapa de isochasms de finales del siglo XIX”	84
Figura 48 “Imagen de ambos polos mostrando los alcances del óvalo auroral descendiendo a bajas latitudes”	86
Figura 49 “Fotografía desde el observatorio McDonald en Texas”	86
Figura 50 “Gráfica compuesta de 10 imágenes mostrando los diferentes índices Kp y su respectivo óvalo auroral”	89
Figura 51 “Imagen del satélite SOHO”	91
Figura 52 “Imagen del satélite ACE”	92
Figura 53 “Imagen del MDI”	95
Figura 54 “Imagen de EIT”	95
Figura 55 “Imagen de LASCO y EIT.”	95
Figura 56 “Índice Kp promediado”	96
Figura 57 “Imagen de MDI”	96
Figura 58 “Imagen de EIT”	97
Figura 59 “Gráfica del satélite GOES”	97
Figura 60 “Imagen de EIT”	97
Figura 61 “Imagen de LASCO y EIT”	98
Figura 62 “Índice Kp promediado”	98
Figura 63 “Imagen del MDI”	99
Figura 64 “Imagen de LASCO y EIT”	99
Figura 65 “Índice Kp promediado”	100
Figura 66 “Magnetómetro de la Universidad de Alaska en Fairbanks”	100
Figura 67 “Imagen de MDI”	101
Figura 68 “Imagen de EIT”	101
Figura 69 “Imagen de EIT”	101
Figura 70 “Imagen de LASCO”	102
Figura 71 “Gran angular de LASCO”	102
Figura 72 “Gráfica del satélite GOES”	102
Figura 73 “Magnetómetro de la Universidad de Alaska, en Fairbanks”	103
Figura 74 “Índice Kp promediado”	103

Figura 75 “Gráfico elaborado por ACE”	103
Figura 76 “Imagen de MDI”	104
Figura 77 “Imagen de EIT”	105
Figura 78 “Magnetómetro de la Universidad de Alaska en Fairbanks”	105
Figura 79 “Gráfica de densidad de partículas contenida en el viento solar registrada por ACE”	106
Figura 80 “Índice Kp promediado”	106
Figura 81 “Secuencia fotográfica tomada por el satélite estadounidense IMAGE”	106
Figura 82 “Magnetómetro de la Universidad de Alaska en Fairbanks”	109
Figura 83 “Índice Kp promediado”	109
Figura 84 “Imagen visible del satélite F15 con la aurora sobre los Grandes Lagos”	110
Figura 85 “Imagen visible del satélite F15 con la aurora atravesando Inglaterra”	110
Figura 86 “Compilación de fotografías tomadas por aficionados en lugares del sur estadounidense”	111
Figura 87 “El turismo alternativo según Mieczkowski”	116
Figura 88 “Localización de algunos accidentes y escenarios naturales en el mundo”	121
Figura 89 “Gráfica que muestra el rápido crecimiento del número de visitantes en Territorios del Noroeste”	123
Figura 90 “Importe gastado por los visitantes en Territorios del Noroeste”	124
Tabla 3 “Desglose de gastos efectuados por los visitantes en Territorios del Noroeste”	124
Figura 91 “Mapa que muestra a Yellowknife y Fort Smith”	126
Figura 92 “Mapa mostrando la ubicación de Fairbanks, Chena Hot Springs y Chatanika Lodge”	128
Figura 93 “Fachada principal e interior del restaurant”	129
Figura 94 “Entrada al resort y lago de aguas termales”	131
Figura 95 “Fachada del restaurant en Coldfoot y casa típica de Wiseman”	132
Figura 96 “Chataneka Lodge, Cheena Hot Springs, Coldfoot y Fairbanks en Alaska, E.U”	134
Figura 97 “Vista exterior del hostel e interior del mismo”	135
Figura 98 “Vista principal en verano y el lago en invierno”	136
Figura 99 “Señalamiento de bienvenida y vista aérea del aeropuerto de Fort Smith”	137

Figura 100 “Whitehorse y Takhini Hot Springs en Yucon; Blachford Lake Lodge, Yellowknife y Fort Smith en Territorios del Noroeste, Canadá”	138
Figura 101 “Vista parcial de la ciudad y fachada del Hotel Nordbo”	139
Figura 102 “Nuuk en Groenlandia”	140
Figura 103 “Vista exterior e interior del hotel”	141
Figura 104 “Reykjavik en Islandia”	142
Figura 105 “Vista panorámica del hostel e interior de una de las cabinas”	143
Figura 106 “Vista exterior de las cabañas del hostel e interior de las mismas”	144
Figura 107 “Entrada principal del hotel Igloo e interior del mismo”	145
Figura 108 “Kattfjorden, Alta, Karasjok y Tromso en Noruega”	146
Figura 109 “Vista general e individual de las cabañas de Lapland Lod Cabins en Rovaniemi”	147
Figura 110 “Vista exterior e interior de una de las habitaciones del hotel Riekonlinna, en Saariselka”	148
Figura 111 “Saariselka, Rovaniemi e Ivalo, en Finlandia”	150
Figura 112 “Vista exterior del hostel “Camp Ripan” e interior de una de sus habitaciones”	151
Figura 113 “Vista exterior del hostel en la villa de Porjus e interior de una de sus habitaciones”	152
Figura 114 “Kiruna, Porjus y Lulea en Suecia”	154
Tabla 4 “Información básica de los destinos para la contemplación de auroras”	155

Introducción.

Para poder contemplar las riquezas naturales que el planeta Tierra ofrece, no se requiere de mayor conocimiento o preparación que el simple hecho de vivir y sentirse vivos; sólo se requiere mantener activos los sentidos del cuerpo para estar en posibilidades de apreciar los colores y formas, diferenciar las texturas, olores y apreciar los sonidos que de la naturaleza son emanados. La mayoría de las personas podrían estar de acuerdo con lo anterior; sin embargo, para aquellos que desean entender qué genera esos colores, formas y sonidos se requiere adentrarse en los títulos especializados de cada una de los temas que les interesa comprender a fin de no conformarse con sólo contemplar los fenómenos ofrecidos por la naturaleza, sino interactuar con ella.

Sería importante estar en posibilidades de responder alguna pregunta hecha por la pareja, hijos o amigos durante un paseo hacia los campos, valles o montañas; pero más importante sería poder estar en condiciones de anticipar si el día elegido para ese paseo es el óptimo para el disfrute pleno de esa actividad. Para los individuos que pueden prever lo anterior los pone en plena ventaja ante los paseantes que no tienen un conocimiento previo sobre las actividades que desean realizar, ya que les permite ahorrar tiempo y dinero. Seguramente más de una vez alguien ha regresado a casa o a la habitación de un hotel con la frustración que origina un día lluvioso o porque el fenómeno que se planeaba apreciar simplemente no sucedió; esto sin considerar el costo financiero que representa permanecer más tiempo del planeado para tal evento.

Muchas veces el hombre ha tenido la necesidad de sentirse relajado, de cambiar la rutina que le ofrecen las urbes con sus centros comerciales y demás servicios propios de una ciudad por muy atractiva que ésta sea. Desde que los paseantes optaron por salir del asfalto y adentrarse en el ámbito rural a fin de interactuar con la naturaleza descubrieron lo placentero que esta aventura puede llegar a ser, desde las simples caminatas por los valles o bosques que rodean su ciudad, hasta los viajes de aventura más lejanos donde pudieran ser testigos de sucesos poco conocidos o que difícilmente pueden presenciar o realizar en su lugar de origen. Cuando los empresarios del turismo descubrieron que

algunas personas son capaces de pagar ciertas sumas de dinero a fin de alcanzar o interactuar con lo que la naturaleza otorga de manera gratuita, surgió la idea de aprovechar la inquietud que este tipo de paseantes tenía, trayendo consigo un beneficio financiero tanto para unos cuantos como para una ciudad o región. Cuando las leyes en materia ambiental o de recursos naturales latentes en cada sitio de interés exigieron que se preservara el medio sin alteración ni interrupción de su ciclo natural de vida, o sea, que el hombre disfrutara el medio ambiente sin modificarlo surgió lo que hoy en día conocemos como *turismo alterno*.

Las auroras polares representan unos de los fenómenos más maravillosos que el hombre puede disfrutar a simple vista, sin necesidad de ningún tipo de equipo especial; simplemente sería suficiente desplazarnos hacia latitudes por encima de los 60° y soportar temperaturas por debajo del punto de congelación durante unas horas alrededor de la media noche para poder ser testigos del embrujo y misticismo que las luces danzantes de múltiples formas y colores son capaces de transmitir. Cuando existe la oportunidad de ver alguna aurora tenemos ante nosotros mecanismos aún poco conocidos dentro de la magnetosfera, lo cual aumenta su misterio; ese misterio que continúa vigente desde épocas muy remotas aun para pueblos y culturas que a pesar de apreciarlas de manera común y ordinaria, no terminan de sorprenderse o de asociarlas con eventos pasados o futuros.

Este trabajo pretende comprender la formación de las auroras polares analizando la relación que existe entre al geomagnetismo y el viento solar. Comprender y analizar los indicadores que condicionan el clima espacial a fin de poder pronosticar la aparición de este fenómeno así como de la intensidad del mismo. Así mismo, se analizará este fenómeno como una actividad más del turismo alternativo y se examinarán los beneficios económicos que ésta tiene para las regiones donde regularmente se presentan.

a) *Objetivos.*

Los objetivos de este documento son: a) Adentrar al lector hacia un fenómeno poco conocido para la mayoría de los habitantes de latitudes cercanas a los trópicos. b) Dar a conocer el fenómeno de las auroras y c) Explicar desde un punto de vista simplificado las condiciones físico-químicas generadoras de este fenómeno. Una vez conocido lo anterior, se busca: d) Poder prever con una precisión aceptable *cuándo* y *dónde* puede suceder tal evento; por tanto, podríamos considerar este texto como una guía para las personas que estén interesadas en la observación de este fenómeno.

Paralelamente se intenta reconocer este maravilloso espectáculo de la naturaleza como uno de los atractivos que el *turismo alternativo* puede ofrecer; con ello se evaluará, en consecuencia, el impacto económico que los visitantes ocasionan al viajar hacia los lugares mas comunes para su observación.

Aquí analizaremos dos casos particulares, los Territorios del Noroeste de Canadá y la región de Fairbanks, Alaska. Adicional a lo anterior, sabremos cómo la presencia de las auroras influye en algunas culturas de los lugares donde comúnmente pueden apreciarse estas luces polares y cómo funcionan como fuente de inspiración para la literatura, incluso para habitantes alejados de las inmediaciones de los círculos polares. En otras palabras, después de comprender su génesis, se elaborará una guía para los observadores con la cual pueda relacionar este fenómeno con la economía y cultura de regiones donde interactúan.

b) *Justificación.*

La necesidad del hombre por buscar nuevas opciones para vacacionar, o de diferentes destinos a los que la gran mayoría está acostumbrada a frecuentar cuando se trata de obtener un poco de descanso y recreación, ha creado la necesidad de encontrar dentro de la vasta geografía mundial sitios poco explorados o, al menos, poco alterados de sus condiciones originales; que permitan un disfrutar lo que la naturaleza provee para el ser humano con la simple condición de no alterar su ecosistema a fin de que sean autosustentables.

Las auroras polares o luces del norte (para latitudes boreales) son unas de las manifestaciones más hermosas y misteriosas que nos regala la naturaleza; sin embargo, proporcional a su belleza es la complejidad de la explicación de su formación. Probablemente debido a lo remoto que se localizan las zonas donde se manifiesta estos procesos de la alta atmósfera impiden contar con recursos que permitan entender su formación y desarrollo; también habría que considerar que la mayoría de los pueblos ubicados dentro de la franja auroral, en términos de población, son de habla inglesa y por ello los textos que pudieran dar una idea de su generación se encuentran redactados en el idioma inglés o al menos, traducidos a este último a partir de lenguas escandinavas o rusas. Con este texto se pretende plasmar de una manera clara y sencilla los procesos técnicos que suceden dentro de la ionósfera y que dan origen a la aurora, que coadyuven a poder prever la aparición de este fenómeno; por tanto, se busca contar con una guía que ayude a identificar las fechas precisas y los lugares más adecuados para poder contemplar con una certeza aceptable las auroras.

c) *Metodología.*

Para el desarrollo de este trabajo se planeó una metodología que estuvo dividida en tres etapas las cuales permitió tratar cada uno de sus objetivos, que están relacionados entre sí; de manera tal que una explicación suficiente y a la vez básica, al alcance de todo lector, brindó una idea precisa tanto del origen y desarrollo de las auroras polares, así como del porqué sólo pueden ser observadas en una región particular del planeta. De igual manera logró resaltarse la importancia que este fenómeno puede representar para el sector turístico de algunos de los lugares donde puede ser contemplado, como consecuencia del arribo de turistas durante la temporada más apropiada para las observaciones, además del significado que este fenómeno representa para algunas culturas. Las tres etapas son:

- a) *Compilación de información.*
- b) *Trabajo de campo.*
- c) *Análisis, integración e interpretación de datos obtenidos.*

A continuación se especifican los pasos seguidos dentro de cada uno de los apartados antes citados:

- a) *Compilación de información:* consistió en buscar textos en las bibliotecas universitarias que contengan información alusiva al tema que se desarrolló. Para este punto, se visitaron las bibliotecas del Instituto de Geofísica de la UNAM, la Biblioteca Central de la Universidad Veracruzana, del Instituto de Geofísica de la Universidad de Alaska en Fairbanks, a fin de seleccionar los textos disponibles y apropiados. Se acudió a las librerías para adquirir otros libros complementarios así como también fue necesaria la consulta en Internet para analizar la incidencia que las auroras tienen en el sector turístico. Una vez determinado el período óptimo de observación, de nuevo el internet sirvió para buscar datos tanto de las líneas aéreas como de los hoteles y del posible incremento de sus vuelos y reservaciones para esa temporada en comparación con cualquier otra del año a fin

de obtener una muestra de una región determinada (particularmente de Fairbanks, Ak, EU y los Territorios del Noroeste de Canadá).

b. Trabajo de campo: para esta etapa, se visitaron algunas ciudades de Alaska donde ha sido posible apreciar este fenómeno y fotografiarlo; en el Instituto de Geofísica de la Universidad de Alaska Fairbanks se solicitó apoyo al personal del área de estudio de las auroras boreales quienes nos brindaron asistencia e información para la obtención de los datos necesarios para nuestro análisis. A fin de obtener información teórica y de tipo empírico, la cual es elemental para cotejar, desmentir o fortalecer el conocimiento científico, se cuestionó a pobladores de la región de manera tal que nos permitió conocer su experiencia habitual sobre la visualización de las auroras boreales a través de los años, a fin de que esa información nos permita pronosticar, por ejemplo, tanto la hora de inicio y conclusión de cada evento, la mayor probabilidad de apreciarlo, con qué frecuencia se presentan las auroras, la frecuencia y variación en las tonalidades de color de las cortinas o bandas, etc., datos que fueron considerados como complemento o como comparativo de algunos resultados previamente obtenidos.

c. Análisis, integración e interpretación de datos obtenidos: Esta parte ha sido la más compleja ya que pretendió desarrollar el tema con base al estudio primeramente de carácter individual de todos y cada uno de los componentes que integran y dan como resultado la génesis de las auroras polares y de la atracción que mantiene este fenómeno dentro del turismo internacional.

Se inició con el estudio del Sol y su período cíclico de actividad así como de sus emisiones de energía, de masa coronaria (viento solar) y del viaje que estos elementos realizan hasta la intercepción con las capas altas de la atmósfera terrestre; para este caso, se utilizaron algunas herramientas que el Instituto de Geofísica de la Universidad de Alaska en Fairbanks ha desarrollado como el *Solar Wind Plot*

mediante el cual podremos analizar la mayor (o menor) emanación de viento solar, entre otros parámetros.

Una herramienta imprescindible son los satélites SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) y ACE (Advanced Composition Explorer) los cuales aportan imágenes en tiempo real del progreso de las manchas solares, de las fulguraciones, etc., así como de los valores en tiempo real contenidos dentro del viento solar.

Posteriormente se continuó con el estudio del geomagnetismo tanto del interior del planeta como de la capa externa de la atmósfera; de la interacción de las partículas provenientes del Sol con la ionosfera y las consecuencias que esta relación ocasiona, las tormentas geomagnéticas y el período de duración de las mismas.

Al final de la presente investigación fue posible contar con los conocimientos necesarios que nos han permitido comprender la aparición de las auroras polares, de la frecuencia y duración de su período, así como las bases suficientes para poder anticipar, con cierta certidumbre, su aparición. Hemos elaborado, en consecuencia una cartografía elaborada en *Mapinfo 8.0* que representa los lugares y regiones del planeta donde este fenómeno puede ser contemplado, que muestra la mayor (y menor) frecuencia de este suceso. Se ha comprendido el simbolismo que para algunas culturas representan las auroras polares y fue notorio la importancia que este evento podría tener para algunos pueblos como consecuencia del turismo alternativo.

d) *Marco teórico-conceptual.*

Cada vez que el Sol emite gran cantidad de partículas provenientes de su superficie cargadas de energía como componentes del viento solar ocurre una deformación de la magnetósfera terrestre, la cual sufre un “achataamiento” de la cara hacia el Sol mientras que del lado opuesto se origina una cola que puede llegar a medir decenas de miles de kilómetros de longitud. Una parte de ese plasma proveniente del Sol antes de ser desviado por el resto de la magnetósfera hacia el espacio es atrapado por el campo magnético terrestre y, dado que la fuerza de dicho campo aumenta cerca de los polos, las partículas cargadas dentro del plasma o viento solar son arrastradas hacia estos puntos generando con esto las auroras.

La aurora polar es uno de los fenómenos más hermosos e impresionantes que la naturaleza otorga. Algunas veces puede ser vista en grandes áreas de la Tierra, aunque comúnmente sólo se aprecia en latitudes superiores a los 60°. Lo asombroso que su apariencia puede llegar a tener a menudo genera temor entre sus observadores. A través de los siglos se ha intentado dar diversas explicaciones a su origen, desde valquirias (bellezas femeninas de la mitología nórdica) cabalgando por el cielo, hasta reflejos de la luz solar por el hielo polar. Las barreras de la superstición que cubrieron al fenómeno de la aurora durante siglos han sido poco a poco derribadas a partir de los inicios del siglo XX, particularmente por los nuevos descubrimientos que en Física y Astronomía han sido aplicados a su estudio. La íntima relación entre la aurora, la actividad del Sol y la magnetósfera terrestre que los descubrimientos anteriores revelaron, han despertado un enorme interés sobre el estudio de la atmósfera superior; particularmente sobre las perturbaciones solares, ionosféricas y magnéticas que a menudo se suscitan. Es por ello que para comprender la formación de las auroras polares se deben estudiar las manchas solares, prominencias, emanaciones de masa coronaria, y las tormentas magnéticas.

Carl Störmer en su libro “The Polar Aurora” (1955) dice que la frecuencia de la aparición de la aurora tanto boreal como austral varía con la ubicación geográfica. Las observaciones realizadas por Hermann Fritz, a partir de 1878, le permitieron crear patrones de incidencia a nivel mundial, de mayor a menor, que sirvieron para que E. H. Vestine (1944) trazara una mapa en el cual se aprecian las *isochasms*¹. Resulta interesante mencionar que en dicho mapa el centro de México es cruzado por la isochasm 0.1, lo cual significa que, teóricamente, se podría apreciar algún tipo de aurora cada diez años.

Respecto al atractivo que las auroras pueden representar para el turismo bastaría con analizar un documento realizado por la empresa Ellis Consulting Services para los territorios del noroeste de Canadá, donde la actividad económica preponderante es la relacionada con la minería, el cual muestra que durante los años 2001-2002 el número de turistas para contemplar las auroras boreales creció de 400 a más de 15 600 visitantes, en su mayoría extranjeros. Por otro lado, el monto de ingresos cuantificado para los años 1994-1995 por consecuencia de los visitantes con el mismo fin fue de 1.8 millones de dólares, mientras que para los años 2001-2002 el ingreso por el mismo rubro representó la cantidad de 25.4 millones de dólares. Estos parámetros permiten entender que las auroras están destacando como atractivo sustancial para un nuevo sector del turismo alternativo pese a ser relativamente nuevo.

La representación y significado que diversas culturas ancestrales le han dado a las luces polares ha trascendido en el folklore, la mitología y el misticismo, presagiando catástrofes como guerra, plagas y muerte, hasta buenos augurios como la posible manifestación de seres queridos quienes han fallecido años atrás. Asgeir Brekke y Alv Egeland en su libro *The Northern Light* (1983) cuentan que desde tiempos inmemorables la gente se detenía en los trayectos hacia sus destinos cuando las auroras aparecían en el cielo. Su apariencia colorida y oscilante como cortinas multiespectrales, ha obligado a la mente de los observadores de esos tiempos a perderse entre “los espíritus danzantes y

¹ Fritz llamó así a las líneas que unen puntos con igual número de frecuencia auroral al año.

ejércitos combatientes”; como ejemplo podemos mencionar a los habitantes de la costa oeste de Noruega, quienes inclusive hasta a principios del siglo XX, creían que las luces del norte eran doncellas bailando y ondeando sus manos cubiertas con guantes blancos. Entre los esquimales de Groenlandia y del área de la Bahía de Hudson, las luces del norte representaban un presagio de muerte; creían que la oscilación de las auroras representaba el alma de sus amigos tratando de comunicarse con sus familiares todavía vivos que los extrañaban.

Se debe considerar, por tanto, que analizar el significado que algunos seres humanos le otorgan a las luces polares también es importante, ya que su inspiración ha contagiado a mucha gente y sus leyendas han permitido que escritores e investigadores llenen páginas de libros en tono literario o científico, textos hoy en día poco conocidos para la mayoría de los pobladores del planeta.

I. LOS ACTORES PRINCIPALES

1.1 *El Sol*

Todo el tipo de vida existente en el planeta depende de una u otra manera de la energía que es emanada del Sol; el ciclo de la fotosíntesis que es realizado por las plantas, donde el bióxido de carbono CO₂ es convertido en oxígeno, representando esto la principal fuente de producción de este elemento en todo el planeta, no podría lograrse sin la ayuda de la energía emitida por nuestra estrella. La energía solar rige los sistemas del tiempo atmosférico, manteniendo la circulación atmosférica y las corrientes marinas en relativo equilibrio a fin de que la Tierra no arda ni se congele.

Diversas culturas ancestrales percibían al Sol como un sinónimo de perfección (Neil Bone, 1991); sin embargo, fue poco después de la invención del telescopio para la observación de los astros alrededor de 1610 lo que trajo consigo la idea de que la superficie del Sol era menos que perfecta. Algunos historiadores de la astronomía sugieren que el mayor “crimen” de Galileo (1564-1642) ante las autoridades de lo que hoy es el Vaticano no fue el hacer pública la existencia de las manchas solares, si no el haberlas proclamado como descubrimiento suyo, cuando previamente habían sido descubiertas por un monje jesuita de nombre Christoph Scheiner² (1573-1650).

A pesar de que el Sol es una estrella relativamente estable posee cierto grado de variación en su actividad. El ejemplo más claro es el ciclo de 11 años en el cual el número de manchas solares alcanza rápidamente su nivel máximo y entonces gradualmente se reducen; se ha calculado que el máximo de manchas solares es alcanzado en promedio a los cuatro años de iniciado éste y los otros siete para descender al mínimo (esta actividad es actualmente vigilada y monitoreada por diversos

² Al saber de los descubrimientos de Galileo Galilei con el telescopio, en 1610, solicita uno y comienza a explorar los cielos con él y centra su atención en el Sol. Entre los meses de Marzo y Abril de 1611. Scheiner observa manchas oscuras sobre la superficie del Sol. Desde ese momento se inicia una polémica sobre el descubrimiento de las mismas.

observatorios alrededor del mundo). Esta variación en once años del número de manchas solares representa sólo la mitad de un ciclo completo ya que la polaridad magnética de las manchas requiere de ese tiempo para invertir el campo magnético de las mismas y de otros once años para volver a alcanzar su estado de polaridad original (Verlag, 2006).

Las variaciones en la emisión total de energía del Sol, llamada también *constante solar*,³ son medidas permanentemente por satélites; dichas mediciones sugieren que la emisión de energía solar es 0.1% mayor en el ciclo máximo de una mancha solar. Como referencia, Bone comenta que tales “excedentes” de emisión de energía podrían ser partícipes del incremento de la temperatura global; sin embargo, dichos valores son despreciables en comparación a las actividades industriales del hombre. Cabe resaltar que en el pasado la variación solar pudo haber tenido gran influencia en el clima global, durante el período mínimo de Maunder⁴, a mediados del siglo XVII y principios del siglo XVIII, período en el cual las manchas solares estuvieron ausentes (fig.1) ocasionando que la temperatura global descendiera considerablemente en todo el mundo, trayendo consigo inviernos crudos para Europa y Norteamérica durante ese mismo lapso.

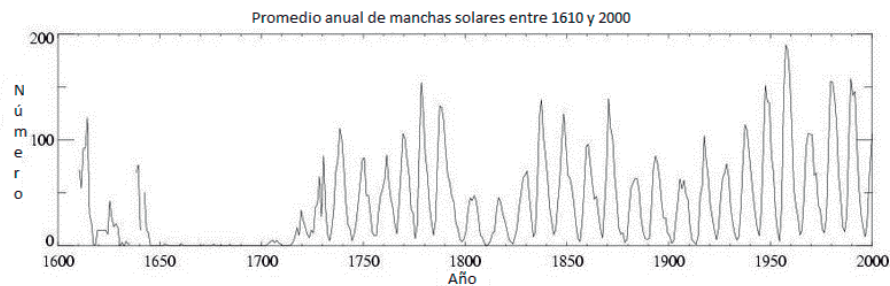


Fig 1. Promedio anual del número de manchas solares (nótese el vacío gráfico entre 1650 y 1700).

Fuente: <http://degredosalcielo.blogcindario.com/2010/05/00008-el-minimo-solar-actual-y-el-cambio-climatico.html>

³ Es la cantidad de energía que una unidad de superficie fuera de nuestra atmósfera recibe del Sol, y su valor promedio es de 2 cal/min/cm².

⁴ Se le llama así al período analizado por el astrónomo E.W. Maunder quien entre 1645 y 1715 notó la ausencia de manchas en la superficie solar.

A pesar de estas variaciones, el Sol es aún mucho más estable que cualquiera de las estrellas que se pueden observar en el cielo nocturno. Pese a las enormes distancias que existen entre nosotros y otras estrellas, algunos astrónomos infieren la existencia de manchas parecidas a las solares pero con la diferencia de que cubren grandes porciones de la superficie de las estrellas que las poseen, mientras que otras estrellas están propensas a las llamaradas mucho más violentas que aquellas que el sol emana, incluso durante los periodos de alta actividad solar.

Estos son algunos de los eventos que posteriormente analizaremos a fin de comprender su interacción con la magnetósfera terrestre y, como consecuencia, su influencia en la generación de las auroras; inclusive durante el mínimo número de manchas solares, otras formas de actividad solar pueden alterar el campo magnético de la Tierra y generar un incremento en la actividad auroral.

El Sol es únicamente una más de entre los 200 billones de estrellas dentro de nuestra galaxia, la cual en sí misma es una de las incontables galaxias en el universo (Wikipedia). En una noche despejada pueden observarse diferentes estrellas en diversas etapas de desarrollo, desde jóvenes hasta gigantes rojas e, incluso, se pueden observar nubes de gas y polvo dentro de la Vía Láctea, lo cual se cree puede ser sitio de formación de nuevas estrellas al igual que los restos de supernovas que marcan el final de una estrella masiva cumpliendo con esto su ciclo de vida.

1.1.1 Estructura y actividad solar.

La parte más interna del Sol corresponde al núcleo, con temperaturas extremadamente altas, una región en la cual ocurren de manera continua reacciones nucleares. Muchos investigadores coinciden en calcular en su núcleo una temperatura del orden de 15 millones de grados Celsius; ante esas condiciones, ocurre la fusión del hidrógeno para generar helio. Estas reacciones nucleares son la fuente de luz y calor solar.

Actuales investigaciones sugieren que, como dijimos antes, el núcleo constituye la tercera parte más interna del volumen del Sol y adyacente a él se encuentra la zona radiactiva, en la cual se registran ligeros movimientos en su masa; posteriormente la porción más externa, la zona de convección, se extiende hasta la superficie visible, la fotosfera.

Diversos tipos de convección se registran en el interior del Sol, la más clara son representadas por las pequeñas celdas convectivas, conocidas como “granos de arroz” (Bone, 1991); bajo buenas condiciones pueden apreciarse mediante telescopios menores como unos pequeños gránulos en la fotosfera. Estas pequeñas celdas de convección son de alrededor de 1000 km de diámetro en promedio y su tiempo de vida es mínimo (del orden de 10 minutos aproximadamente). Existen otras celdas de mayor tamaño, con una circunferencia aproximadamente de 30 000 km; éstas poseen una vida poco mayor, la cual puede alcanzar las 24 horas. Estas granulaciones representan el punto de inflexión de las corrientes convectivas generadas en la parte inferior de la fotosfera que transportan el calor solar hacia el exterior en su punto de regreso hacia la parte interna.

La parte más externa del Sol no posee una estructura sólida, por lo que no tiene una rotación similar a la que la Tierra y otros planetas sólidos poseen, si no que tiene una

rotación diferencial⁵ la cual pudo ser calculada por las observaciones realizadas a las manchas solares tanto del ecuador como de las cercanas a los polos; al parecer la fuerza del campo magnético junto con los procesos convectivos que suceden en su interior son los causantes de este tipo de rotación.

Cuando algunos gránulos se separan entre sí generan poros, que no es otra cosa que una superficie oscura; cuando varios de estos poros se unen entre sí generan lo que se conoce como *mancha solar*, la cual parece oscura comparada con su entorno (fig. 2). Las características de una mancha solar son variables en cuanto a tamaño, forma y duración. Las más pequeñas se piensa que pueden ser simples poros con una dimensión suficiente para ser apreciados con telescopios, y tienen una vida de sólo algunas horas; algunos grupos de poros pueden volverse más complejos al crecer y afectar amplias zonas del disco solar. Las manchas solares más grandes e importantes poseen dos regiones diferentes, una más oscura y fría conocida como umbra, que a su vez está rodeada por otra zona más clara, llamada penumbra. La región de la umbra es homogénea y posee pocos detalles, además de ser la de menor dimensión ocupando aproximadamente una quinta parte del total. La región de la penumbra posee muchos detalles; aparecen rayas que apuntan hacia el centro de la mancha como si la umbra se tratara de un gran abismo por lo que se cree que la umbra no es más que un gran hueco en la fotosfera mientras que las líneas son un corte transversal de las corrientes convectivas.

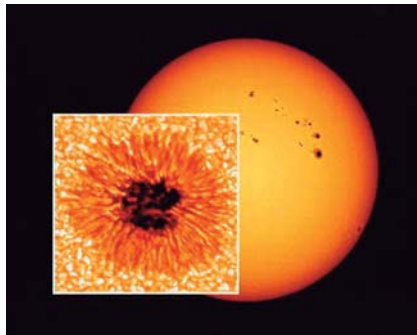


Fig. 2 Estructura externa de una típica mancha solar.
Fuente: Wikipedia.

⁵ Rota más rápido en el ecuador que en los polos, de forma que mientras en el ecuador tarda unos 26 días en dar una vuelta completa, cerca de los polos tarda más de 30 días.

Un grupo de manchas pueden tener diferentes umbras incrustadas en una masa mayor de penumbra, tales grupos pueden llegar a ser lo suficientemente grandes como para poder ser captados “a simple vista” (con protección adecuada desde luego), la figura 3 muestra un grupo captado con una cámara fotográfica. La forma de esos grupos puede llegar a cambiar en el lapso de unas horas. Los conjuntos complejos de manchas a menudo son la fuente de las más dinámicas apariciones de auroras como resultado de la asociación con la actividad de las protuberancias.



Fig. 3 Fotografía ocasional sin ningún equipo especial donde se captó un posible grupo de manchas.
Fuente: Wikipedia.

Las manchas solares y la ley de Spörer.

Al comienzo de un ciclo de once años las manchas empiezan a aparecer en las latitudes bajas y medias, cercanas a los 30° y 40° de latitud norte o sur del Sol; conforme avanza

el ciclo empiezan a aparecer las nuevas manchas más cerca aún del ecuador llegando a presentarse alrededor de los 7° norte o sur de latitud. Para este entonces, estamos hablando de la fase final del ciclo y, por tanto, es posible que en este momento se aprecien dos generaciones de manchas solares a la vez, las cercanas al ecuador que están en su fase terminal y las que empiezan a surgir ya sea al norte o al sur, donde una nueva generación empieza su ciclo de vida. En la siguiente figura se aprecia el gráfico de mariposa que forman los grupos de manchas mientras avanzan hacia el ecuador durante un ciclo solar.

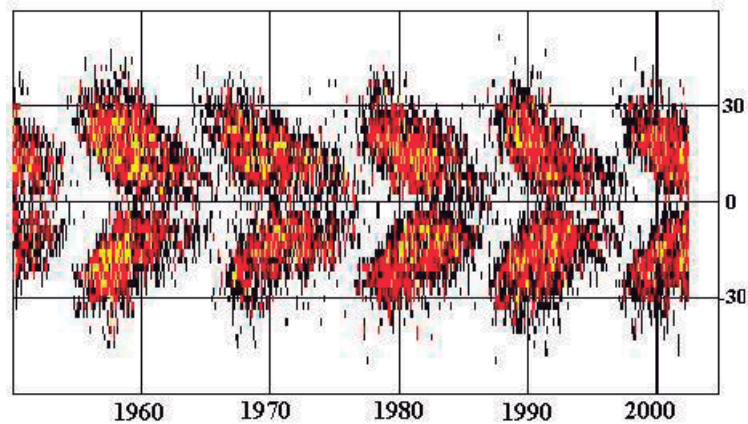


Fig. 4 Diagrama de *mariposa* o Maunder asociado a la ley de Spörer que muestra sobre el eje X los años entre ciclos y en el eje Y las latitudes en las que se inician las manchas, el efecto de alas de mariposa se crea por la rotación solar mientras se trasladan hacia el ecuador.

Fuente: <http://www.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/new5.html>

Para poder comprender el comportamiento de los grupos de manchas solares es oportuno analizar cada una de las características que éstas poseen:

- **Fáculas.** Es una región que rodea la penumbra de una mancha; se caracteriza por ser una parte de la fotosfera que brilla más intensamente de lo normal. Cerca del limbo es donde se pueden apreciar con mayor claridad. Pudiera pensarse que en

estas regiones las corrientes convectivas depositan los gases más calientes procedentes de niveles inferiores, presentan una apariencia filamentososa brillante. aparecen antes de surja una mancha solar (figura 5).

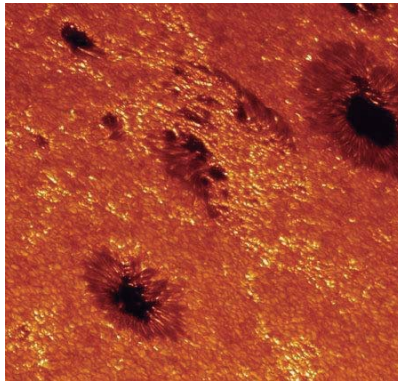


Fig. 5 Imagen en la que se aprecian en tono más claro las fáculas.
Fuente: Wikipedia.

- Temperatura. A pesar de que la umbra luce casi de color negro, su temperatura es poco menor a la que posee la superficie solar; es por eso que en comparación a los 6000°C que le rodean, sus 4500°C contrastan como efecto óptico.
- Campo magnético. Es la parte de la cromósfera que se ubica por encima de una mancha solar; comúnmente posee una estructura en forma de vórtice, pues los gases en torno a esa área se encuentran altamente ionizados⁶ y las partículas cargadas que se mueven alrededor del vórtice pueden generar un campo magnético en el centro del mismo. El astrónomo estadounidense George Ellery Hale (1868-1938) propuso que una mancha solar era un vórtice en forma de U (Chapman, 1964) (ver fig. 6) que se conecta entre sí por debajo de la superficie solar. Como se comentó previamente, las partículas cargadas en torno del vórtice

⁶ Gas cuyos átomos han perdido electrones a consecuencia de las altas temperaturas.

de un grupo par de manchas bi-polares gira en sentido del reloj para la mancha principal; para la mancha secundaria el giro de las mismas será en sentido opuesto generando así una polaridad opuesta a la primera.

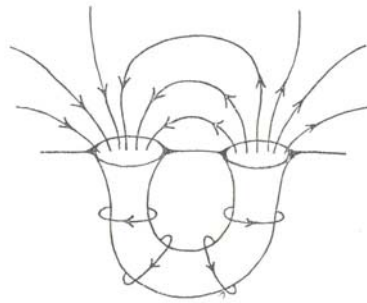


Fig. 6 Gráfica de Hale donde las cargas eléctricas que rodean el vórtice generan el campo magnético de las manchas.

Fuente: Chapman, 1964.

La gran mayoría de las manchas son de tipo bi-polar, al igual que un imán, con sus característicos N y S (figura 7), pero también existen del tipo unipolar y complejas. Hale descubrió que la mancha principal de un grupo de manchas bi-polares ubicado al norte del ecuador solar siempre posee un polo S, mientras que la mancha secundaria posee un polo N; por otro lado, los grupos de manchas que se ubiquen al sur del ecuador poseen una polaridad inversa. Estas condiciones prevalecieron durante un lapso de once años hasta que en 1913 se descubrió que las manchas habían cambiado el orden de sus polaridades; es decir, las principales al norte del ecuador manifestaban tener polaridad N mientras que las del sur tenían S; por tanto, se necesitan once años para que las manchas inviertan su polaridad y otros once para volver a su estado original, creando así un ciclo completo de 22 años.

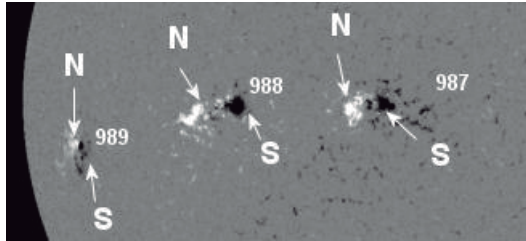


Fig. 7 Esquema de la polaridad de las manchas para el 27 de marzo del 2008, (los números corresponden a los grupos contabilizados consecutivamente en orden de aparición).
Fuente: <http://exit78.com/the-sun-has-found-some-spots/>

Un meteorólogo noruego de nombre Bjerknæs, a principios del siglo XX, pensaba que los vórtices de las manchas eran sólo una parte de un vórtice mayor oculto más debajo de la superficie que circunda al Sol de manera paralela al ecuador (lo suponía como un gran anillo de humo similar a los que expelen algunos volcanes terrestres). Las perturbaciones ocasionadas por este anillo obligan a que en ocasiones parte del mismo penetre la superficie de dos poros produciendo dos manchas con circulaciones opuestas entre sí. Supuso también que aunado a este anillo existía también otro, pero colocado de manera paralela al hemisferio meridional el cual, generaba manchas solares meridionales; conforme al paso de los años ambos anillos se mueven hacia el ecuador para llegar a una latitud de 8° al norte y sur del mismo, para que se contraigan y se hundan hacia el interior; mientras tanto, surgen otros anillos similares en latitudes de 30° norte y sur con la diferencia que estos nuevos anillos giran en sentido contrario a los primeros. Por lo tanto, al término de 22 años vuelve a surgir el primer par de anillos con su giro original comenzando con esto un nuevo ciclo de 22 años con giros y, como consecuencia, con una polaridad original.

La fotosfera es la región del Sol más accesible para su observación y las manchas solares son la manifestación más clara de los disturbios magnéticos cercanos a la superficie solar; sin embargo, estas últimas sólo son una parte del complejo sistema comprendido en las regiones de actividad externa del Sol. Su influencia se manifiesta a grandes distancias sobre la superficie y alcanzan grandes alturas sobre la atmósfera solar.

Particularmente en esta zona turbulenta las manifestaciones pueden durar varios meses más después de que las manchas que generaron estas condiciones hayan desaparecido.

La cromósfera, con un espesor superior a 10 000 km, se posiciona por encima de la fotosfera y es claramente visible durante los eclipses totales de Sol como un anillo rojizo que aparenta rodear el oscuro cuerpo de la Luna (fig. 8); este colorido lo obtiene como consecuencia de los átomos de hidrógeno excitados y su temperatura es mayor que la de la fotosfera, alcanzando los 10 000°C. Cuando se presencia un eclipse total en ocasiones pueden apreciarse cierto tipo de protuberancias hacia el exterior del limbo solar alcanzando alturas de hasta 50 000 km por encima de la fotosfera; estas prominencias pueden llegar a alcanzar una vida de hasta 5 meses. Ocasionalmente las erupciones de estas protuberancias pueden llegar hacia la corona donde se asocia a los eventos de eyección de masa coronaria lo cual, en algunas ocasiones, lanza partículas hacia la Tierra por medio del viento solar y pueden ser deducidos un día o más después por el aumento de la actividad geomagnética y la manifestación de la aurora en latitudes menores a las ordinarias. En la mayoría de los casos, su manifestación en la Tierra se produce un par de días posteriores a dicha erupción.



Fig. 8 Fotografía obtenida durante un eclipse total en Zimbawe el 4 de diciembre del 2002 donde puede apreciarse la corona y algunas protuberancias.

Fuente: <http://observatorio.info/2002/12/eclipse-solar-en-zimbabwe/>

La mayoría de las veces, aunque no siempre, las protuberancias están asociadas con las regiones de las manchas solares; a menudo aparecen en regiones decadentes de actividad una vez que las manchas solares están desapareciendo. Durante el ciclo máximo de manchas solares, la corona está uniformemente distribuida en torno al Sol, mientras que en el ciclo mínimo se manifiesta en la zona del ecuador sin aparecer en las zonas de los polos solares. En el momento máximo de manchas solares pueden apreciarse rizos cerrados sobre los campos magnéticos de las regiones activas mientras que en la etapa menor el gas coronario puede esparcirse más fácilmente hacia el exterior. La estructura formada por la luz de la corona puede tener básicamente dos tipos de formas; los torrentes de gas hacia el exterior (*streamers* en inglés) y otra más uniforme como si se tratara de un casco (*hemlet*) (Bone, 1991). Largos *streamers* se presentan en la corona alrededor del mínimo de manchas emergiendo de regiones donde las líneas del campo magnético están “abiertas”, mientras que la forma de casco o *hemlet* se presenta por el gas atrapado por el campo magnético por encima de una región de actividad. Con lo anterior, podemos deducir que la diferencia entre la morfología que presenta la corona durante los períodos máximos y mínimos de las manchas solares pone de manifiesto el cambio cíclico de los campos magnéticos del Sol.

Existen dos zonas bien diferenciadas de protuberancias en cada uno de los hemisferios. Una se nota en las cercanías de los 30° N y S uno o dos años después del ciclo mínimo de manchas solares, siguiendo su lento avance hacia el ecuador; la cantidad y el tamaño de dichas prominencias es proporcional a la de las manchas solares. La segunda zona se aprecia en las latitudes de 45° N y S moviéndose hacia los polos para alcanzar latitudes de alrededor de 75° N y S después del siguiente máximo de manchas; este período es conocido a veces como “corona polar de prominencias” (Ellison, 1954). Dos años antes del máximo de manchas solares las protuberancias son más grandes y más numerosas en altas latitudes.

En la actualidad se pueden mencionar los tipos más importantes de protuberancias o prominencias:

- **Prominencias quiescentes.** Se consideran las más estables, con frecuencia duran cinco rotaciones solares (aproximadamente 70 días terrestres). Tales

prominencias son altas y delgadas y pueden parecerse a una columna de árboles si se ven desde el limbo.

- **Prominencias activas.** Parecidas a árboles altos con ramas horizontales, la cuales se arquean hacia la superficie por algún aparente efecto de atracción.
- **Prominencias eruptivas.** Aquí se aprecian dos tipos, las cuasi-eruptivas que estallan violentamente hasta alcanzar varios cientos de miles de km pero después caen como succionadas por el centro de atracción y las eruptivas que cuando estallan y alcanzan grandes alturas parecen no volver y perderse por el espacio.
- **Prominencias de manchas solares.** Éstas son generadas por grandes grupos de manchas solares. Aquí pueden subdividirse en *afluentes*, que se caracterizan por parecer una nube de condensación por encima de una mancha solar para después caer como lluvia sobre la misma mancha. *Arcos* se forman por encima de manchas altamente activas. *De flanco*, que se extienden hacia alguno de los lados de la mancha mientras en ocasiones es alimentada por emanaciones verticales.

1.1.2 *El viento solar.*

Los *rizos* solares (que no son otra cosa más que prominencias en forma de arco) que alcanzan grandes distancias por encima de la fotosfera en ocasiones pueden llegar a ser tan extendidos que pueden abrirse permitiendo que el plasma coronario fluya libremente hacia el espacio interplanetario; la corona solar tiene en todo momento diversas áreas abiertas de las cuales largas prominencias abiertas o *streamers* (Bone, 1991) se extienden mucho más allá de la corona desplegándose como abanico.

Las regiones abiertas en el campo magnético del Sol son la fuente del viento solar, un flujo continuo de plasma solar que impregna a todo el Sistema Solar con una velocidad

promedio de 450 km/s, con características magnéticas del orden de 5 nanoteslas (nT)⁷ (Chapman, 1964).

Al parecer, el flujo del viento solar no siempre es estable o constante; las violentas expulsiones de plasma que acompañan los largos destellos de llamaradas o *flares*, o la aparente desaparición de las protuberancias llevan al incremento de la densidad y de la velocidad del viento solar. Las *flares* pueden generar turbulencias ocasionando que el viento solar alcance velocidades de entre 1000 y 2000 km/s (Chapman, 1964).

El gas ionizado por las altas temperaturas de la corona que se expande hacia el espacio como viento solar es un plasma compuesto esencialmente de protones y electrones, posee un campo magnético cuya fuerza y dirección son determinadas por las características que posea la superficie del Sol en el momento en que fueron emanadas. La fuerza y orientación de su Campo Magnético Interplanetario (IMF por sus siglas en inglés) llevado por el viento solar es importante para determinar las características de su interacción con la magnetósfera de la Tierra. En particular, cuando el IMF posee una pronunciada dirección hacia el sur del plano eclíptico⁸, puede generar tormentas magnéticas en la Tierra, ocasionando condiciones más favorables para la ocurrencia de una actividad auroral más activa. Este tema se tratará en capítulos posteriores.

El plasma inicialmente rota junto con sol. Más allá de unos radios solares el viento solar inicia una expansión radial hacia el exterior; la línea que traza durante su trayecto el campo magnético del viento solar es, por tanto, en forma de espiral la cual gradualmente se “endereza” (dicho de algún modo) mientras viaja. El IMF que llega a la Tierra corresponde a las emanaciones generadas en el Sol entre dos y tres días previos bajo condiciones regulares de actividad (Kamide y Baumjohann, 1993).

⁷ El tesla (T) es la unidad del flujo magnético; por tanto, la nanotesla (nT) es la fracción 10^{-9} de dicha unidad.

⁸ Es la línea imaginaria sobre la cual la Tierra orbita en torno al Sol.

La estructura del IMF transportado por el viento solar tiene una influencia importante sobre las características y la extensión de la actividad de la aurora en la Tierra y, de hecho, según las sondas espaciales Pioneer y Voyager también en algunos otros planetas.

Cerca del mínimo de manchas solares la franja neutral del viento solar permanece bastante plana; mientras que en el ciclo máximo adquiere una forma plisada, estos pliegues representan los límites de polaridad entre regiones de polaridad magnética opuesta dentro del viento solar. Durante cada rotación del Sol una porción de esos pliegues cruza la Tierra llevando consigo cambios bruscos en el IMF en determinado momento, los límites de cada sector que llegan a la Tierra pueden ocasionar al menos de manera momentánea un considerable incremento en la actividad geomagnética (fig. 9).

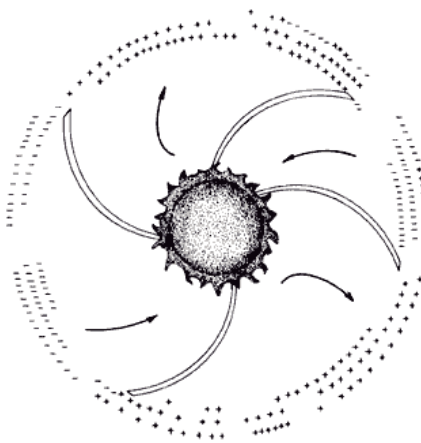


Fig. 9 Imagen que muestra la espiral formada por los sectores de viento solar. Parten del Sol con signo positivo (+) y regresan con signo negativo (-).

Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/114/htm/sec_4.htm

Previamente se explicó de manera individual las emanaciones de material que dentro de una *flare*, protuberancia o *streamer* el Sol puede emitir, algunas más lentas y otras más explosivas que otras. Ahora serán tratadas de manera global con el único propósito de comparar cuán intensas éstas pueden ser para que se pueda identificar cada evento según su intensidad y densidad de material que se esparce por el espacio procedente del Sol.

Una explosión solar sucede cuando la energía acumulada en ciertos campos magnéticos del Sol (generalmente por encima de una mancha solar) es liberada súbitamente; esto produce un campo de radiación dentro del campo electromagnético que van desde ondas de radio hasta rayos-gamma y rayos-X. Los científicos clasifican las explosiones solares de acuerdo a la cantidad de rayos-X dentro de una frecuencia de 1 a 8 Angstroms⁹. Existen tres categorías, cada una con un rango de 1 a 5 en intensidad:

Las emanaciones de **clase X** son grandes; son eventos de gran magnitud que pueden ocasionar apagones en las ondas de radio en todo el planeta así como tormentas de radiación de larga duración.

Las emanaciones de **clase M** son de tamaño mediano; pueden generalmente causar ligeros apagones en el radio que afectan las regiones polares de la tierra. A veces hay tormentas de radiación menores tras de una emanación de clase M.

Las emanaciones de **clase C** son pequeñas y de consecuencias poco notorias en la Tierra.

Por otra parte, las Eyecciones de Masa Coronaria (CME, por sus siglas en inglés) aunque no son consideradas como *flares* o protuberancias, también representan cierto riesgo para la Tierra. Son enormes burbujas de gas que aparecen en las líneas magnéticas que son eyectadas desde el sol durante el curso de varias horas. Cuando se combinan dos tipos de explosión solar, como una CME acompañada de una emanación tipo M o X pueden ser seriamente peligrosas para la vida de los seres vivos (Ratcliffe, 1970).

⁹ Unidad de longitud equivalente a una diezmilmillonésima de metro. Se utiliza en las medidas atómicas y para las longitudes de onda de la radiación electromagnética.

Índice Kp.

Es el nombre del índice que estima la actividad geomagnética con que se mide la intensidad y cantidad de partículas provenientes de erupciones solares y eyecciones de la masa coronal y que afectan el campo magnético de la Tierra y en consecuencia, de todos los seres vivos; dicho valor es calculado cada tres horas entre doce estaciones distribuidas alrededor del mundo. Su escala va del 0 al 9; en condiciones normales debería encontrarse entre los valores 2 y 4 aunque hay registros de que ha excedido el límite máximo. Por ejemplo, el 20 de noviembre de 2003, cuando según datos de The Space Weather, perteneciente al NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), alcanzó el índice Kp9 después que una eyección de masa coronaria (CME) que barrió la Tierra, generando auroras visibles tan al sur como Florida, E.U.

El índice Kp fue introducido como un índice magnético en 1949, y es estudiado desde entonces en el Institut für Geophysik of Göttingen University, Alemania. Posteriormente fue adoptado por la IATME (Asociación Internacional para el Magnetismo Terrestre y Campo Eléctrico) y es usado en cada centro de investigación sobre la física del Sol alrededor del mundo.

1.1.3 Ciclos de actividad solar: períodos extraordinarios.

Como se vio anteriormente, la cantidad de energía que emite el Sol pese a que presenta variaciones de un día a otro en su intensidad, se mantiene dentro de un rango, cuyos valores pueden ser considerados como estándares. El promedio de densidad que compone el viento solar oscila en 6 iones por cm^3 moviéndose a una velocidad de 450 km/seg. Sin embargo, existen valores que superan por mucho los registros promedio de sus emanaciones; aquí se encuentran dos períodos en los que se suscitan tales excedentes. El primero, de largo plazo, se registra en el ciclo máximo de manchas solares. Anteriormente se comentó que este periodo se repite aproximadamente cada once años durante el cual se han llegado a contabilizar en promedio más de un par de centenas de manchas solares en su superficie, las cuales emiten enormes cantidades de material que es lanzado al espacio y que al paso de unos días colisiona con la magnetósfera terrestre. El segundo período corresponde al que eventualmente puede generar algunas manchas individuales durante el ciclo mínimo solar, así como el que ocasionan algunas fulguraciones no asociadas a una alta actividad solar.

En esta parte se analizarán algunos de los principales registros que han sido catalogados como extraordinarios en diferentes épocas. Desde luego no será extraño encontrar que los registros más sorprendentes coincidan con el período de mayor actividad solar.

A partir del ciclo número 14, que tuvo su inicio a partir de 1901, puede apreciarse que fue el más suave junto con el ciclo 16, los cuales según la gráfica de la fig. 10 apenas excedieron en promedio del centenar de manchas contrastando con el ciclo número 19 que registró un promedio máximo superior a las 250 manchas en la superficie solar.

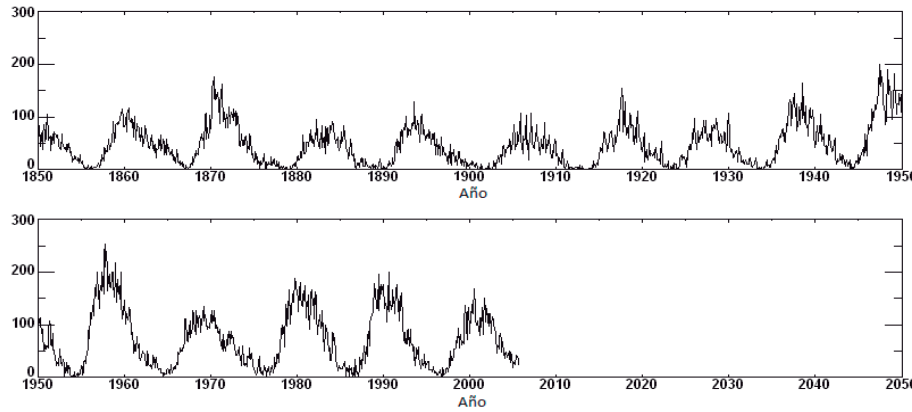


Fig. 10 Los últimos 15 ciclos solares.
Fuente: <http://native-science.net/Religion.Sun.htm>

Para tener una idea más clara del comportamiento de cada ciclo y de la actividad registrada para cada período, la siguiente tabla muestra los valores promedio obtenidos a partir del ciclo número 14 que inicia en 1901.

NÚMERO DE CICLO SOLAR	AÑO DE MÍNIMA ACTIVIDAD	NÚMERO MÍNIMO DE MANCHAS	AÑO DE MÁXIMA ACTIVIDAD	NÚMERO MÁXIMO DE MANCHAS	AÑOS HASTA EL MÁXIMO DE ACTIVIDAD	AÑOS HASTA EL MÍNIMO DE ACTIVIDAD	LONGITUD DEL CICLO EN AÑOS
14	1901.7	2.6	1907.0	62.4	5.3	6.6	11.9
15	1913.6	1.5	1917.6	105.4	4.0	6.0	10.0
16	1923.6	5.6	1928.4	78.1	4.8	5.4	10.2
17	1933.8	3.4	1937.4	119.2	3.6	6.8	10.4
18	1944.2	7.7	1947.5	151.8	3.3	6.8	10.1
19	1954.3	3.4	1957.9	201.3	3.6	7.0	10.6
20	1964.9	9.6	1968.9	110.6	4.0	7.6	11.6
21	1976.5	12.2	1979.9	164.5	3.4	6.9	10.3
22	1986.8	12.3	1989.6	158.5	2.8	6.8	9.6
23	1996.4	8.2	2000.6	236.3	4.2	8.2	12.4

Tabla 1 Valores promedio de manchas mensuales y duración de cada etapa de los ciclos.
Fuente: Elaboración propia con datos del área de heliofísica de la NASA.

Se aprecia la diferencia en cuanto al número de manchas promedio mensuales existente entre los ciclos 14 y 16 en comparación con los períodos 19 y el 23 para dar paso al ciclo 24 que inició a partir del 4 de enero del 2008 según la NASA. Desde luego que estos valores, más significativos, tuvieron una repercusión bastante considerable sobre la magnetósfera terrestre, cuyas consecuencias serán notorias a continuación.

Se analizará el ciclo 23 cuyo inicio está marcado el mes de mayo del año 1996 ya que los archivos de datos son los más actualizados y precisos en comparación a los ciclos anteriores. En la etapa de máxima actividad que se presentó alrededor de los meses de julio y agosto del 2000 con un promedio mensual de 236 manchas solares, representa uno de los ciclos más activos según la tabla anterior.

Dentro de este ciclo, de manera particular se analizarán los componentes del *clima espacial*¹⁰ para tres fechas en las cuales, dentro del pico máximo de actividad solar se registraron períodos extraordinarios de actividad:

1. Octubre 22 de 1999
2. Abril 6-7 del 2000
3. Julio 15-16 del 2000

Caso número 1 (octubre 22 de 1999): de inicio, hay que retomar algunos valores que servirán para comparar los diferentes datos analizados:

Distancia Sol – Tierra: 149 597 870 km

Velocidad media del viento solar: 450 km/seg

Densidad promedio del viento solar: 6 iones/cm³

Por tanto, el tiempo que demoran las partículas contenidas dentro del viento solar bajo condiciones estándares de actividad y velocidad es:

- a) $149597870 \text{ km} / (450 \text{ km/seg}) = 332440 \text{ seg}$
- b) $332440 \text{ seg} / (86400 \text{ seg/día}) = 3.8 \text{ días}$

¹⁰ Conjunto de fenómenos registrados en el medio interplanetario, generado fundamentalmente por el Sol.

Esto significa que el tiempo promedio que tarda en llegar una onda expulsada por el Sol hacia la magnetosfera terrestre es de casi 3.8 días a una velocidad constante; sin embargo, por cuestiones prácticas, se consideran tres los días que demora ese flujo en llegar.

Con lo anterior se puede entender que la actividad registrada en la Tierra en una fecha dada, tuvo su origen tres o cuatro días antes en la superficie solar.

De esta manera, para la fecha de gran actividad que se registró el 22 de octubre de 1999, habría que analizar las imágenes que el SOHO registró a partir del día 18 (fig. 11).

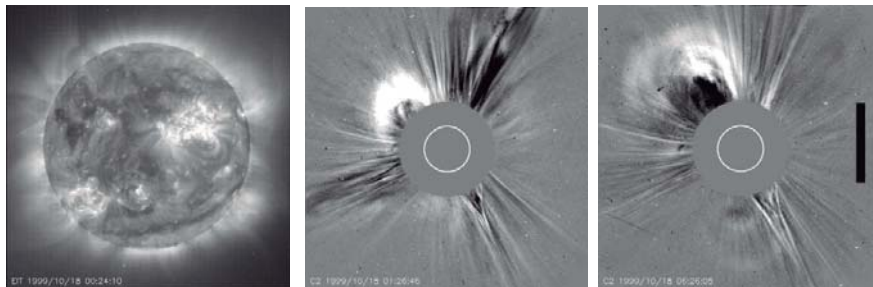


Fig. 11 Imágenes de las cámaras EIT y LASCO a bordo del observatorio SOHO durante el 18/10/99.

De izquierda a derecha se puede apreciar las zonas de actividad existentes para el 18 de octubre de 1999 a las 00:24:10 MG (Meridiano de Greenwich), donde se aprecia grandes zonas de actividad tanto en la cara hacia la Tierra como en el limbo. Al centro se aprecia por medio de la cámara del LASCO para las 01:26:46 MG de la misma fecha, una emanación coronaria (CME) en la parte superior izquierda del disco solar. A las 06:26:05 MG puede distinguirse la evolución que dicha eyección de masa coronaria tuvo cinco horas después.

Un par de días después que esa ráfaga solar alcanzó el satélite Advanced Composition Explorer (ACE) en su camino hacia la Tierra que registró los valores descritos a continuación (fig. 12):

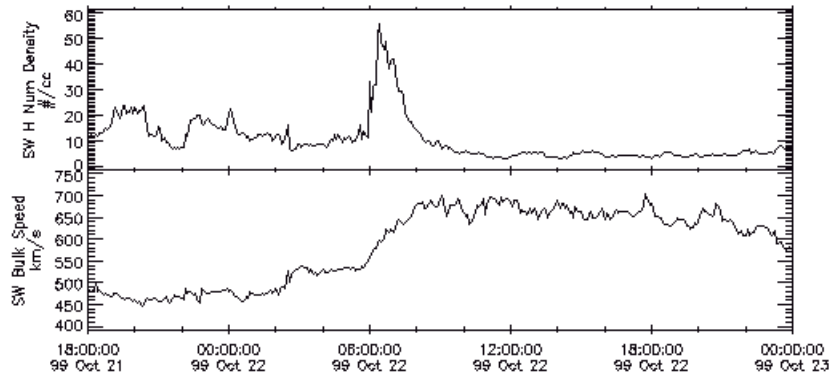


Fig. 12 Velocidad y densidad del viento solar registrados por el ACE.

Para las 18:00:00 MG del día 21 se registró una densidad superior a los $10 \text{ p}^+/\text{cm}^3$, alcanzando su pico de $57 \text{ p}^+/\text{cm}^3$ poco después de las 06:00:00 MG del día 22, fecha en la que oficialmente se registró esta actividad extraordinaria para volver después a su densidad promedio. La velocidad registrada del plasma solar para las mismas fechas se inició en los 500 km/s hasta llegar a los 700 km/s.

Caso número 2 (Abril 6-7 del 2000) nuevamente partiremos de imágenes de las cámaras del EIT y LASCO para el 4 de abril del 2000 (fig. 13):

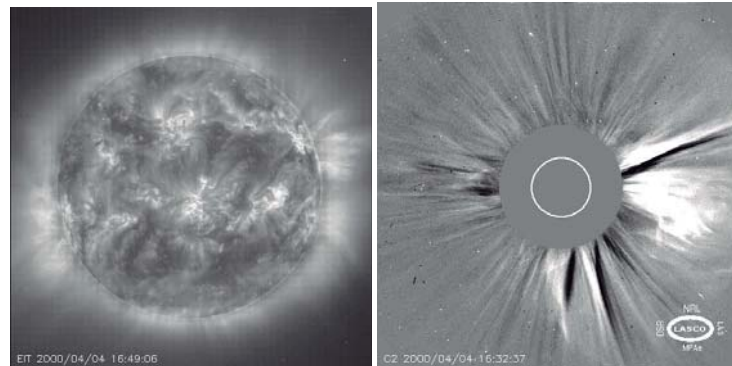


Fig. 13 Imágenes de las cámaras EIT y LASCO a bordo del observatorio SOHO durante el 4/04/2000.

De nuevo se aprecia de izquierda a derecha una fotografía tomada por el EIT amplias zonas de actividad para las 16:49:06 MG. En la imagen de la derecha se aprecia para las 16:32:37 MG una eyección de masa coronaria en el oriente del disco probablemente asociada con alguna de estas regiones de actividad; tanto la velocidad del plasma como la densidad del mismo se mantuvieron cerca de su promedio; sin embargo a partir de las 16:00 MG ambos parámetros cambiaron súbitamente durante las próximas horas (fig 14).

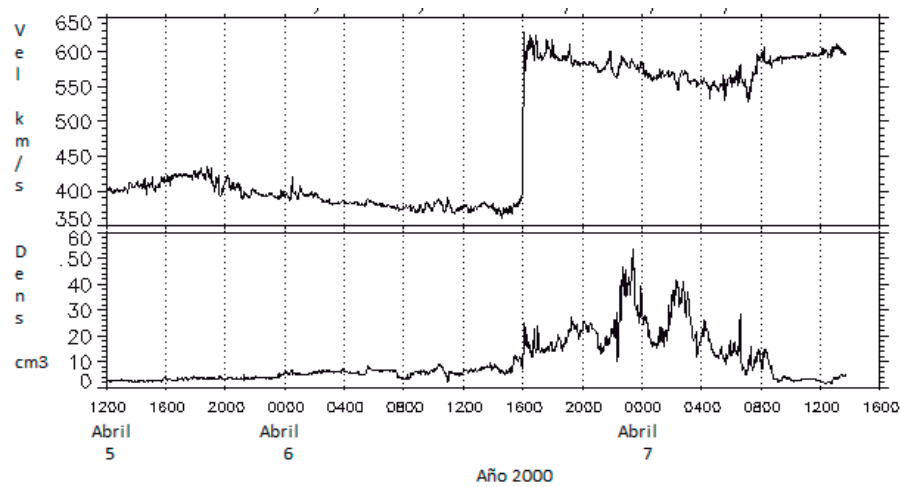


Fig. 14 Velocidad y densidad del viento solar registrados por el ACE.

Caso número 3 (julio 15-16 del 2000). La mañana del 14 de julio del 2000 se registró, según colaboradores del proyecto SOHO, la explosión más grande jamás vista por los instrumentos del observatorio espacial. La erupción se originó cerca del centro del disco solar y su destello se catalogó como una protuberancia clase X, que es reservada para unos de los tipos más poderosos. La erupción fue acompañada de una eyección de masa coronal que fue expulsada del Sol aproximadamente a 1775 kilómetros por segundo. En la primera imagen del EIT (fig. 15) para las 10:24:10 MG puede notarse justo el momento del destello que se nota como una línea horizontal debido a su posición perpendicular con relación a la cámara; si esta explosión hubiera sucedido en el limbo, se notaría como un enorme rizo que alcanzaría una longitud de la mitad del diámetro solar. En la segunda imagen (centro) se aprecia el grupo de manchas de la región activa que

ocasionó este estallido. Minutos más tarde, LASCO captó la tercer imagen (derecha) donde se aprecia la enorme eyección de masa coronaria que precedió a la explosión. Por último, en la gráfica se muestran los valores alcanzados para la densidad de protones y para la velocidad que se registró.

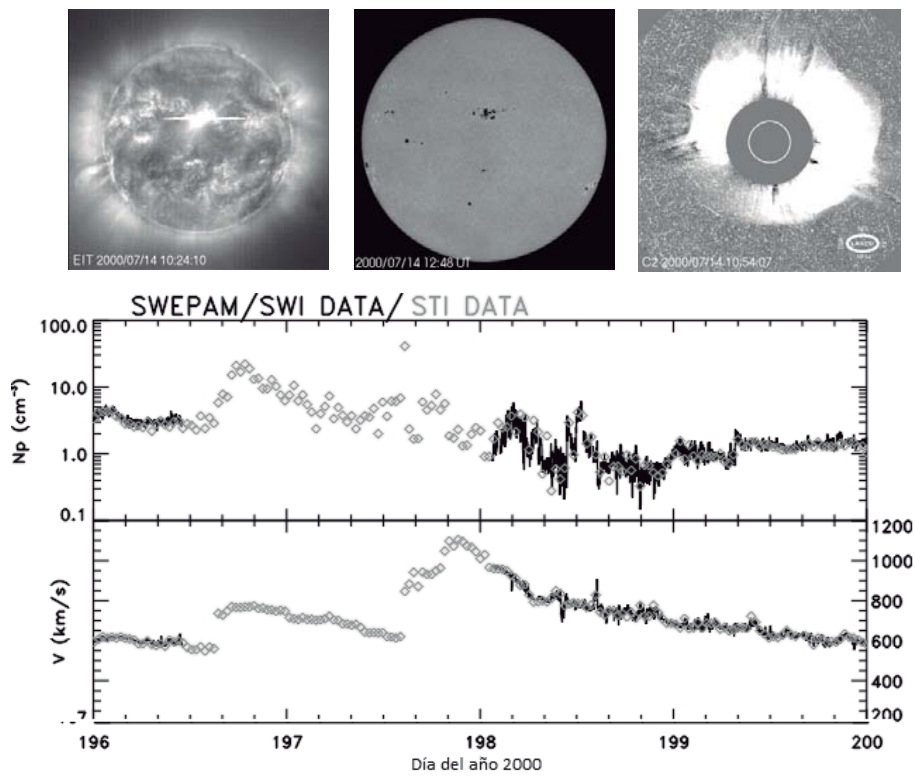


Fig. 15 Imágenes y registros de LASCO/EIT de la gran explosión del 14 de julio del 2000.

Como ha sido posible notar, las manifestaciones extraordinarias de actividad solar traen consigo enormes eyecciones de material coronal cuyas consecuencias repercuten de manera importante en el campo magnético terrestre; sin embargo, estos resultados serán analizados posteriormente.

1.2 *La Tierra.*

El planeta Tierra, al estar ubicado en tercer lugar a partir del Sol, junto con sus características externas e internas le permiten ser un planeta lleno de privilegios, con agua líquida, una atmósfera rica en oxígeno, una temperatura media de 15° le permiten conservar diversos tipos de vida

Este planeta, el mayor planeta sólido, se creó hace más de 4 500 millones de años, poco después de la creación del Sol. Probablemente por reacciones radiactivas de las rocas ocasionó que la Tierra se derritiera. El hierro y el níquel que son los elementos más pesados se hundieron en el interior para formar su núcleo; para posteriormente formar la corteza.

Durante varios millones de años la corteza fue aumentando su grosor y los volcanes una vez entrados en fase de actividad empezaron a arrojar gases que dieron formación a la atmósfera. Al mismo tiempo un gran proceso se estaba suscitando, la deriva continental que hasta nuestros días se mantiene como tectónica de placas el cual, a través de millones de años, ha modificado la apariencia de la corteza, del clima y la evolución de los seres vivos.

La Tierra se puede dividir en cinco partes partiendo desde el exterior:

Atmósfera: Es la parte gaseosa que rodea al planeta, su grosor se calcula en más de 1100 km, pero por efecto de la gravedad, la mayor parte de su densidad se encuentra en los primeros kilómetros de altitud.

Hidrosfera: Compuesta esencialmente por los mares, pero comprende los demás cuerpos de agua como ríos y lagos.

Litósfera: Se compone de la corteza terrestre que llega hasta 100 km de profundidad. Se encuentra fracturada en grandes placas.

Manto: Comprende desde la base de la corteza hasta una profundidad de 2800 km. Su densidad aumenta a mayor profundidad.

Núcleo: Está dividido en dos partes, el externo con 2225 km de grosor y el interno con 1275 km de diámetro ambos están compuestos de hierro y níquel.

Adicional a las partes antes citadas, existe una característica importante de nuestro planeta, el poderoso campo magnético que lo rodea, como si éste tuviera un gigantesco imán en su interior; tal magnetismo es el resultado de los movimientos que se producen en su interior.

1.2.1 *Origen y características del geomagnetismo.*

Desde hace más de 2000 años que se descubriera la brújula, la ciencia del geomagnetismo ha evolucionado de manera radical a través de los años. Como su nombre indica, el geomagnetismo se ocupa del estudio del campo magnético terrestre, desde su génesis hasta su comportamiento y variación. Para su estudio se deben considerar dos partes esenciales, *el campo interior y el exterior.*

Dentro del campo interior, se ocupa de explicar su generación y de la permanencia del mismo a través del tiempo, al igual que de su variación en el espacio geográfico. En cuanto al campo externo, estudia la relación existente entre el magnetismo interno con el campo magnético solar así como de su interacción con la ionosfera.

Se puede considerar que la tierra funciona como una enorme barra imantada o dipolo magnético cuyo eje se encuentra inclinado 11.5° en relación al eje de rotación terrestre, inclusive, su centro no coincide con el de la esfera terrestre. Es importante considerar que dicho ángulo de 11.5° entre los dos ejes, es un valor solo indicativo, que se ha mantenido constante durante los últimos siglos.

Para principios del siglo XIX, la meteorología se encontraba en una etapa de amplio desarrollo, y considerando que entonces, el geomagnetismo no podía ser definido como ciencia independiente, fue casi natural que la electricidad atmosférica y el geomagnetismo, fueran involucrados dentro de los límites de la meteorología.

Pero a pesar del rápido desarrollo de la meteorología, el geomagnetismo era vinculado a la astronomía. De esta forma, para la segunda mitad del siglo XIX, en Europa, casi todos los observatorios astronómicos habían agregado los departamentos de meteorología, geomagnetismo y electricidad atmosférica.

Para 1873 la ya para entonces existente Organización Meteorológica Internacional (IMO) creó la comisión de Magnetismo Terrestre y Electricidad Atmosférica, la cual organizó la primera campaña científica internacional, que se llamó “primer Año Polar Internacional” (1882-1883). En ella, se realizaron observaciones en 14 estaciones ubicadas en altas latitudes del hemisferio norte y dos en el hemisferio sur, dichos estudios fueron realizados en los campos de meteorología y geomagnetismo. Particularmente sobre las “luces polares”. El objetivo del estudio fue el de analizar simultáneamente las auroras polares, la actividad solar y las mediciones geomagnéticas a nivel del suelo.

Para 1878, Balfour Stewart, un físico escocés, publicó un artículo en la Enciclopedia Británica en que explica las variaciones del campo geomagnético a nivel del suelo como consecuencia de una inducción provocada por corrientes eléctricas que circulan en una altura de 100 kilómetros aproximadamente (Muñiz, 1997). Por ello, para finales del siglo XIX se impulsó el interés por estudiar la propagación de las ondas de radio en la alta atmósfera, dando inicio a los estudios de la Ionosfera.

Durante los años siguientes, fueron organizados con cada vez mayor interés el segundo y tercer año polar, a este último se le llamó “Año Geofísico Internacional”, el cual significó el mayor esfuerzo científico hecho por la humanidad (Muñiz, 1997) cerca de treinta mil científicos de más de sesenta países dieron un gran giro al conocimiento sobre la Tierra, de ahí nació la era espacial, fueron descubiertos los anillos de Van Allen,

se determinó con gran precisión la forma y dimensiones de nuestro planeta y se logró conocer mejor su estructura interna.

A fin de poder comprender cómo es originado el magnetismo de nuestro planeta, primeramente debemos considerar y analizar sus valores medios por medio de la sencilla ecuación (Muñiz, 1997):

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_o + \mathbf{B}_r + \mathbf{B}_c + \mathbf{B}_t$$

Cuyo significado es el siguiente:

B: valor del campo magnético medido en la superficie terrestre.

B_o: valor de un campo magnético teórico producido por un dipolo magnético que tiene su eje inclinado con un ángulo de aproximadamente 11.5° en relación con el eje de rotación de la Tierra y que no pasa exactamente por su centro. Como referencia, se considera su valor mayor al 90% del valor medio de B.

B_r: se le conoce como campo residual que puede ser asociado con varios dipolos menores que el dipolo central, están localizados en el manto terrestre, en diferentes regiones del planeta.

B_c: se le llama campo cortical cuyo origen está en la corteza terrestre, en regiones aún menores.

B_t: es la parte del campo medido en la superficie, el cual varía con el tiempo; a su vez está compuesto de componentes vectoriales siguientes: la componente horizontal H; la componente vertical Z; la componente X que indica el norte geográfico; la componente Y, indicando el este geográfico; la D que indica la declinación geomagnética, o sea, el ángulo entre el norte geográfico y el geomagnético y la I que sugiere la inclinación geomagnética, esto es, el ángulo formado entre el plano horizontal y dicho vector. Este componente **B_t** se origina fuera de la Tierra y se le considera como campo externo.

A fin de identificar de manera más sencilla los conceptos anteriores y de separar el campo geomagnético observado en el suelo en dos partes, una que varía poco con el tiempo de otra que varía mucho, además de sus distintos orígenes, podemos cambiar la fórmula anterior quedando de la siguiente manera:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_0 + \Delta\mathbf{F}$$

De la cual \mathbf{F} sigue siendo el campo medido en la superficie terrestre. \mathbf{F}_0 representa la parte del campo que varía más lentamente con el tiempo y su origen se encuentra en el interior de la Tierra. La componente $\Delta\mathbf{F}$ que representa la porción más variante, tiene su origen en la parte exterior del planeta.

Puede suponerse que la parte \mathbf{F}_0 es originada en el núcleo externo de la Tierra, compuesto principalmente de níquel y de hierro en un estado más líquido que sólido a diferencia del sólido núcleo central.

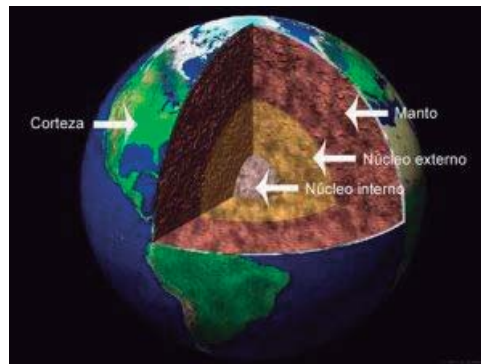


Fig. 16 Estructura interna de la Tierra.

Fuente: <http://thales.cica.es/files/glinex/practicas-glinex05/biologia/rocas/c22.html>

Con un espesor aproximado de 2 800 km y próximo al núcleo se ubica el manto inferior, compuesto en su mayoría de materiales semiplásticos a gran temperatura y con característica eléctricas que asemejan a un semiconductor. En esta área se encuentran circulando corrientes eléctricas por medio de procesos convectivos. Tales corrientes producen campos magnéticos que pueden ser considerados como componentes del campo residual \mathbf{B}_r .

El campo principal se debe a lo que se le puede denominar “dinamo auto sostenido” que responde a la diferencia de rotación entre el núcleo interno, que rota a una velocidad más lenta que el núcleo externo que lo hace a una velocidad mayor. Esta teoría supone que el campo magnético tiene su origen en la zona ubicada entre el núcleo externo y el manto inferior donde corrientes de electrones se encuentran en constante circulación; es entonces que estas corrientes bajo la acción de la rotación terrestre cuando producen un campo magnético.

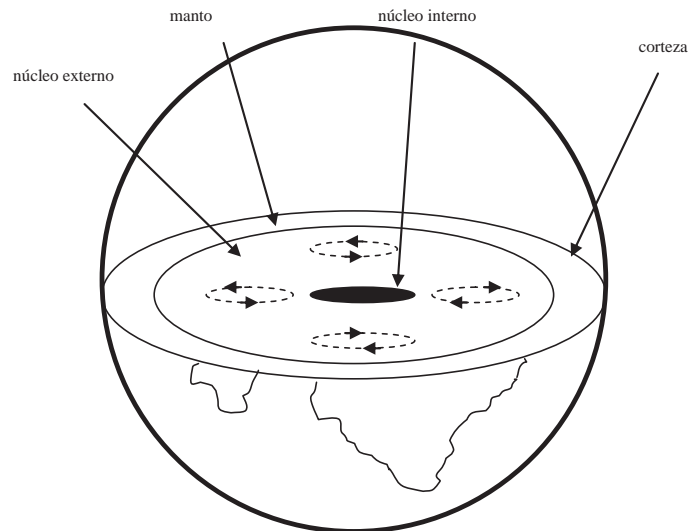


Fig. 17 Movimiento circulatorio en el núcleo externo.
Fuente: Elaboración propia.

Por encima del manto superior se encuentra ubicada la corteza terrestre con una estructura sólida, su espesor medio es de 50 km. Es en esta zona donde se localiza la componente B_c (campo cortical) que genera campos magnéticos locales debido principalmente a la presencia, entre otras cosas, de materiales magnéticos. La magnetometría es la encargada de localizar y de calcular estos campos.

A pesar de que se tiene conocimiento sobre el campo magnético por mediciones que se han realizado en los últimos 300 años, es posible conocer por medio de métodos indirectos los valores que pudo tener hace millones de años; el paleomagnetismo se encarga de estudiar las condiciones que la Tierra poseía mucho antes que el ser humano existiera. Un fenómeno encontrado gracias a esta disciplina es la inversión de polaridad del campo geomagnético; a pesar de que las razones exactas a las que se debe tal cambio no son claras, se cree que se debió a modificaciones en núcleo terrestre (Campbell, 1997).

Como se puede ver, las variaciones que ha sufrido el campo magnético interior, particularmente los componentes \mathbf{B}_o , \mathbf{B}_c y \mathbf{B}_r o simplemente para la ecuación más sencilla \mathbf{F}_o , corresponden a cambios de largo período de ocurrencia, del orden de miles hasta millones de años entre sí; por lo que podemos decir que éstas serían la variaciones de la parte “sólida” del magnetismo terrestre.

1.2.2 La atmósfera

De acuerdo con la teoría moderna, la atmósfera terrestre se formó por la lenta acumulación de partículas tanto del interior del planeta como del exterior. Durante 500 millones de años la Tierra se calcinaba durante el día y en la noche se congelaba, mientras que sin resistencia alguna los meteoritos llegaban a la superficie generando innumerables cráteres y fisuras que generaron volcanes por donde escapaban los gases del interior. Así se formó una atmósfera que estaba compuesta por nitrógeno, dióxido de carbono, oxígeno, dióxido de azufre y vapor de agua; la mezcla de estos últimos ocasionaban lluvia ácida y óxidos; para ese momento la presencia de gases tóxicos impedían toda forma de vida.

Progresivamente el vapor de agua ascendía y de nuevo se precipitaba en forma de lluvia de manera cíclica y continua ocasionando que la superficie de la Tierra se enfriara y generara una corteza sólida; mientras tanto, al agotarse los materiales de la corteza ya no

se formaban tantos óxidos y por tanto, la acumulación del oxígeno se llevó a cabo y se estabilizaron los demás componentes.

Actualmente la mezcla de gases que compone la atmósfera se mantiene constante hasta una altura de superior a los 60 km con las siguientes proporciones: Nitrógeno 78%, Oxígeno 21%, Argón 0.9% y otros gases 0.1%.

La atmósfera puede considerarse como una enorme envoltura gaseosa que rodea a la Tierra, se extiende hacia arriba mientras su densidad va disminuyendo progresivamente. No existe un límite superior aparente ya que su densidad disminuye y se va confundiendo con la atmósfera solar; por lo que tres cuartas partes de su densidad y componentes se ubican dentro de los primeros 11 km.

La capa inferior llamada tropósfera posee un espesor promedio de 11 km, en ella la temperatura disminuye de manera inversamente proporcional a la altura.

Por encima se localiza la estratósfera que se caracteriza por tener en la parte inferior una pequeña zona de igual temperatura la cual posteriormente va en aumento según la altura. La mesósfera ubicada por encima de la estratósfera se caracteriza por su acusado descenso térmico conforme a la altura. La termósfera, ubicada por encima, posee un aumento rápido de temperatura después de un ascenso paulatino de unos 10 km. Por último, la exósfera se extiende a partir de unos 500 km hasta confundirse con la atmósfera solar.

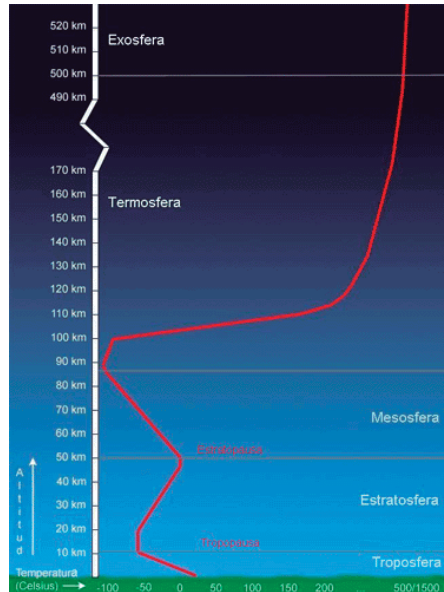


Fig. 18 Distribución de las capas de la atmósfera.
Fuente: Wikipedia.

Desde el punto de vista meteorológico y con relación a la interacción atmósfera-hombre, la tropósfera representa el mayor punto de interés ya que dentro de esta capa es donde se generan los cambios físicos que caracterizan las condiciones del tiempo atmosférico; sin embargo, para fines de esta investigación, es importante enfocarse en una capa distinta comprendida entre los 50 y los 500 km, por encima de la parte superior de la estratósfera: la Ionósfera, donde los componentes B_t del geomagnetismo sufren cambios repentinos y se asocian con la aparición de la aurora polar.

1.2.3 La Ionósfera y las tormentas geomagnéticas.

Anteriormente se habló de la fuente del campo magnético interno y de los cambios que éste sufre en períodos de tiempo razonablemente largos. Por otro lado, correspondería

ahora hablar sobre las variaciones que sufre el magnetismo de la Tierra en períodos de tiempo más cortos, del orden de algunos días de duración con lapsos de días o meses entre sí, los que corresponden a la componente B_t ó ΔF cuyo origen se localiza en las capas de la atmósfera superior. Este tema es de particular importancia ya que dentro de esta región es donde se genera el fenómeno objeto de estudio de este trabajo. La aurora polar aparece en zonas específicas de la atmósfera dentro de las cuales la ionización de los átomos de gases existentes a esas alturas ocasionan un cambio abrupto en el magnetismo terrestre, como consecuencia del bombardeo repentino de partículas provenientes del Sol.

Los estudios que realizaron los primeros investigadores sobre el geomagnetismo notaron paralelamente la posibilidad de que las radiaciones que inciden del Sol podían ionizar las partes altas de la atmósfera a fin de que contuviera partículas cargadas y generara así una corriente eléctrica (Kamide, 1993). Constatando lo anterior, se observó que la dirección de la aguja de la brújula fluctuaba regularmente durante el día y que esta fluctuación poseía diversos grados según la ubicación de la medición. Cuando se comprobó la teoría de Steward en 1882 se pensaba que en determinadas condiciones esas corrientes podían fluir a través de los gases cuando se encuentran a una presión suficientemente baja, como se encuentran en la atmósfera superior; sólo se requería un dinamo que hiciera el papel de conductor. Steward pensaba que la misma atmósfera podría ser en sí misma ese dinamo porque en un conductor eléctrico la corriente fluye cuando se mueve a través de un campo magnético, tal como sucede cuando los cables conductores en la armadura giratoria de un dinamo recorren los polos del campo estacionario del imán (fig. 19).

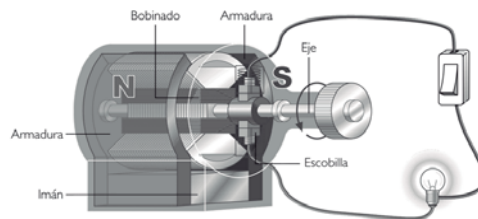


Fig. 19 Principio básico del dinamo eléctrico.
Fuente: Wikipedia.

Por lo tanto, si la parte superior de la atmósfera funciona como conductor, y si por una razón se desplaza a través del campo magnético de la Tierra, tendrá el mismo comportamiento que la armadura de un gran dinamo en la que fluirán las corrientes eléctricas. Steward pensó que el calor del Sol podría ser la causa por la cual la atmósfera tuviera variaciones en el paso del día a la noche lo que sirvió para comprender la razón de la variación de la aguja magnética de la brújula.

Para modificar la teoría de que la atmósfera superior condujera electricidad sólo por su baja presión, comenzó a comprobarse que para ser posible, primeramente sus gases deberían ser ionizados desde el exterior y de esta manera puedan convertirse en conductores. La fuente ionizadora de la alta atmósfera podría entonces ser el Sol, ocasionando que la ionización en la cara que da hacia el Sol se extendiera, aunque con menor intensidad, hacia la cara no iluminada durante la noche; por tanto, las corrientes que fluyen en esa dinamo atmosférica deberían ser mayores en la cara iluminada.

Después de especular sobre qué tipo de radiación podría causar esa ionización y pensar que podían ser rayos X, ultravioleta, o cualquier otro tipo de partículas cargadas o no, se llegó a considerar que se debía a dos tipos de radiaciones solares: una que es prácticamente constante, que ioniza la alta atmósfera durante la cara diurna de la Tierra; la otra consideraba un chorro de electrones que variaba de intensidad proveniente del Sol que chocaban con la atmósfera durante el día y la noche, pero solamente en zonas de mayor latitud tanto norte como sur.

Durante largo tiempo se realizaron observaciones que enfatizaban una variación en la amplitud de la oscilación de la aguja de la brújula con respecto al mayor o menor ciclo de manchas solares; con ello se notó que durante el máximo de manchas solares, el rango de oscilación era de 1.8 veces mayor de lo normal. Si la variación o la intensidad de ésta eran el resultado de diferencias en la conductividad atmosférica, hubo la necesidad de darle seguimiento a la radiación solar durante el mismo lapso y notar que también variaba según la etapa del ciclo de manchas solares. En ocasiones esa oscilación se ve interrumpida, a veces se ve más pronunciada, más rápida y menos regular; a estas

irregularidades se les conoce como *tormentas magnéticas* y se manifiestan con mayor intensidad en las cercanías de los polos, aunque su presencia puede ser notada en toda la superficie del planeta.

La Ionósfera es un conjunto de capas que se encuentran ubicadas por encima de los 50 km y hasta 500 km de altitud. La parte superior de la atmósfera se encuentra ionizada por la acción de la radiación solar en la cual un electrón es liberado de un átomo atmosférico, principalmente de un átomo de oxígeno o de nitrógeno para posteriormente convertirse en un ión; como la principal fuente de esta ionización o fotoionización es la luz solar, cabe mencionar que el grado de este efecto se ve modificado tanto por la hora del día como de la estación del año y repentinamente por el efecto de las manchas solares. Por ello es justo después del medio día del verano cuando la ionósfera alcanza su mayor densidad, del orden de $10^{11} \text{e}^-/\text{m}^3$.

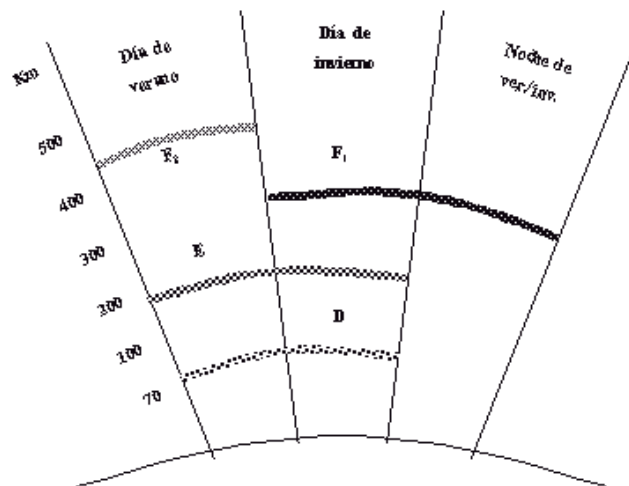


Fig. 20 Variación de las capas de la ionósfera según época del año. Los números a la izquierda representan la altitud en kilómetros, mientras las letras D,E,F corresponden a sus subcapas. Fuente: Wikipedia

Para la producción de electrones en la atmósfera, según Champan (en Ratcliffe 1970) primeramente se considera que la concentración de cualquier gas en posibilidad de ser ionizado disminuía exponencialmente con la altura a la que se encontrara; otra consideración fue que la radiación ionizante llega a la atmósfera desde arriba formando electrones y iones positivos. Se supuso que los electrones quedarían libres durante cierto tiempo después de haberse formado, para que posteriormente se re combinaran con iones positivos y formar de esta manera átomos neutrales.

Debido al gradiente vertical de densidad de los gases atmosféricos, en la parte superior de la misma no es posible que se produzcan. Cuando la radiación ionizante penetra hacia la Tierra encuentra cada vez más moléculas de gas y por tanto, producirá mayor número de electrones. Hay que considerar también que esta producción depende de la energía de la radiación, a cierta altura de penetración ésta sufre un debilitamiento hasta que en un momento dado la concentración de la producción quedaría equilibrada con el debilitamiento de la intensidad de la radiación; es en este momento de máxima producción de electrones a la que se le conoce como “cresta” de producción, la altura de la misma queda determinada por la concentración de electrones. A las zonas dentro de esas crestas se le conocen como “zonas de Champan”.

Como la producción debe frenarse en algún momento a fin de que no todo el gas llegue a ser ionizado, debe existir algún proceso que frene lo anterior. La respuesta es una pérdida de electrones, cuya velocidad depende directamente de su concentración. Una vez que se ha igualado el volumen de producción con el de pérdida, la ionización se mantiene constante (Ratcliffe, 1972).

Para la pérdida de electores se da el proceso inverso a su producción, la “recombinación” se produce cuando un electrón choca con ión positivo y de esta forma su carga queda neutral. Por ello, la pérdida de electrones por recombinación es proporcional al cuadrado de su concentración.

Como se ha comentado anteriormente, la creación de iones depende de la radiación solar y de la densidad de las moléculas esparcidas por la atmósfera, podemos entonces considerar que para alturas mayores, la radiación incidente es mayor pero la densidad de moléculas disminuye, mientras que a una altura menor, existe mayor densidad de moléculas pero la radiación que recibe es menor; por tanto, el mayor grado de ionización y mayor densidad de iones se generan en alturas intermedias. Es aquí donde localizamos a la capa **E** que se encuentra localizada a una altura entre los 90 y los 130 km de altitud. A pesar de que durante el día sufre grandes variaciones de ionización, se conserva más homogénea incluso durante la noche cuando a pesar de sufrir cierta disminución en cuanto a su densidad, nunca llega a desaparecer. En algunas ocasiones aparece una segunda capa **E**, se le denomina capa E esporádica (**E_s**) la cual es más frecuente en latitudes medias durante el verano, llegando incluso a poseer mayor densidad que la capa **E** principal.

Por debajo encontramos la capa **D**, ubicada entre 50 y 90 km de altitud. Aquí la ionización es muy pequeña y procede solamente de las radiaciones solares muy intensas. A esta capa se le conoce como una capa diurna ya que durante la noche prácticamente desaparece.

La capa **F** se localiza por encima de los 130 km, debido a diferencias de comportamiento entre el límite superior e inferior de la misma. Se ha subdividido en capa **F₁** entre 130 y 210 km de altura y la capa **F₂** por encima de los 210 km de altitud; la capa **F₁** desaparece durante la noche mientras la **F₂** se mantiene casi constante durante el día y la noche, aunque generalmente durante la noche ambas subcapas se vuelven a unir para constituir una sola capa **F** (ver figura 21).

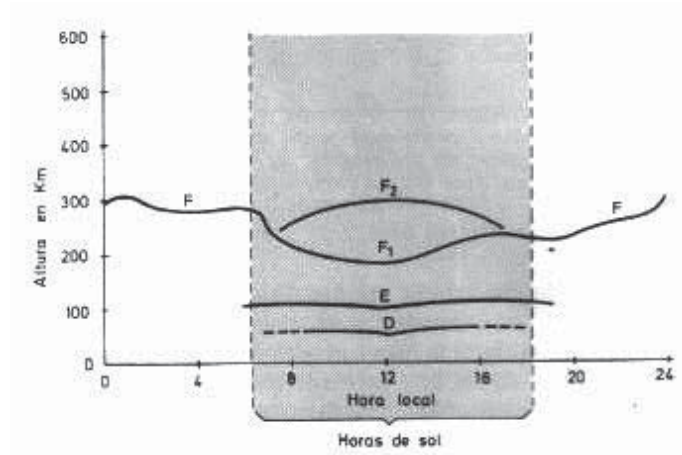


Fig. 21 Representación gráfica de las diferentes subcapas ionosféricas según la hora del día.
Fuente: Wikipedia

Como se vio previamente, los gases dentro de la ionósfera, particularmente dentro de la zona **E** son ionizados por los rayos ultravioleta procedentes del Sol, produciendo gases ionizados tanto con cargas negativas como positivas. Es por ello que la ionósfera es conocida también como una capa de Plasma¹¹ (Kamide, 1993). A diferencia de los gases fríos como el aire a la temperatura ambiente, los plasmas conducen la electricidad. Estas corrientes eléctricas dentro de la ionósfera producen campos magnéticos adicionales en la superficie que son los elementos principales del componente B_t ó ΔF . Al proceso por el cual se produce este campo se le conoce como “dinamo ionosférico” (Ratcliffe, 1972) el cual es muy diferente al dinamo auto sostenido que se produce en el interior de la Tierra. Su variabilidad principal de corto plazo se debe a la posición geográfica del sitio de la lectura, hora del día, de la estación del año y de la actividad solar. En la siguiente figura (22) se aprecia un mapa mundial, para un momento dado, de la concentración de electrones en la Ionósfera.

¹¹ Al Plasma se le llama a veces "el cuarto estado de la materia", además de los tres conocidos, sólido, líquido y gas. Es un gas en el que los átomos se han roto, que está formado por electrones negativos y por iones positivos, átomos que han perdido electrones y han quedado con una carga eléctrica positiva y que están moviéndose libremente.

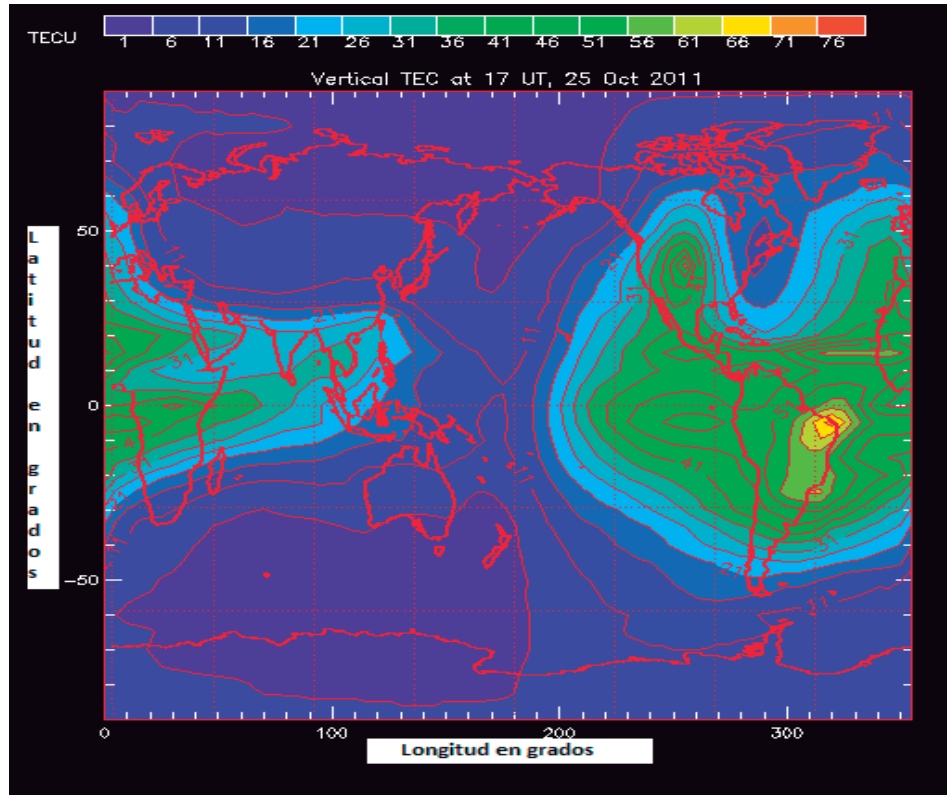


Fig. 22 Ionograma mundial para el 25/10/11 señalando la densidad total de electrones o TECU (TECU = $10^{16} \text{e}^-/\text{m}^2$).

Fuente: <http://www.ea8brw.es/index.php/estado-de-la-ionosfera>

Tormentas magnéticas

Las tormentas magnéticas representan perturbaciones en la magnetósfera cuya duración puede llegar a ser muy variable, del orden de minutos, horas o días. Al parecer, no existe una teoría absoluta sobre el origen de las tormentas magnéticas, sólo se tiene la certeza de que son ocasionadas por la llegada de una perturbación interplanetaria, procedente y relacionada con la actividad solar y la emisión de partículas contenidas en el plasma que constituye el viento solar justo en el momento de llegar y chocar con la frontera del

campo magnético terrestre, lo cual ocasiona cambios súbitos en las corrientes eléctricas que ocurren en la Ionósfera; con esto se registran incrementos repentinos en las lecturas normales de un observatorio geomagnético. Se distinguen dos tipos principales, las que se producen con una frecuencia de 27 días (tiempo que tarda el Sol en dar un giro completo sobre su eje de rotación) y las que son precedidas por el *inicio repentino de tormenta* (SSC por sus siglas en inglés) las cuales no parecen tener algún tipo de tendencia periódica.

En latitudes medias y bajas sobre la Tierra, muchas tormentas muestran un comportamiento similar en componente H del campo magnético, el cual representa la intensidad de la fuerza hacia el norte geomagnético. Se utiliza un magnetómetro para medir las fluctuaciones en la componente horizontal del campo geomagnético con respecto a un día calmado en el sitio en el que está ubicado. NOAA utiliza mediciones de un magnetómetro en Boulder, Co., y calcula los índices de actividad geomagnética K de acuerdo a la tabla siguiente que muestra las variaciones en nanoteslas (nT) y su respectivo índice K:

K	nT
0	0-5
1	5-10
2	10-20
3	20-40
4	40-70
5	70-120
6	120-200
7	200-330
8	330-500
9	>500

Tabla 2 Relación entre nanoteslas (nT) y su respectivo índice K
Fuente: <http://www.noaa.gov/>

En ocasiones, la tormenta comienza con un violento inicio que ocurre casi simultáneamente en todo el planeta; este repentino inicio es ocasionado por la onda de choque en la magnetósfera formada por el arribo del plasma del viento solar iniciando así la tormenta. El inicio repentino puede ser seguido por un incremento general del campo magnético interplanetario (IMF) con dirección norte de la eclíptica, como fase inicial; un efecto de compresión de la magnetósfera sigue a continuación el cual puede durar varias horas. Según Campbell (1997) muchas tormentas pueden llegar a ocurrir sin esta fase inicial. La siguiente fase o en algunas ocasiones, la primera de éstas, es la llamada fase principal o fase de desarrollo, en la cual el componente principal del campo decae y muestra mayores fluctuaciones durante un tiempo prolongado; en esta etapa las auroras son visibles. Finalmente, en la fase de recuperación, la tormenta requiere de la mayor parte del tiempo, incluso de días, para volver gradualmente a sus valores normales.

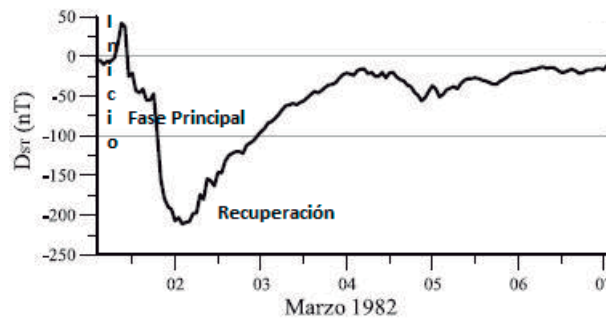


Fig.23 Lectura de un magnetógrafo mostrando las fases de una tormenta tipo.
 Fuente: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1026-87742010000200016&script=sci_arttext

En la figura 23 puede mostrarse claramente el comportamiento del componente H durante las diversas etapas de una tormenta registrada por el magnetómetro “El Cerrillo” en Toluca estado de México en marzo de 1982. En la fase inicial se aprecia el repentino incremento en la intensidad del campo, para posteriormente en la fase principal caer abruptamente; la fase de recuperación es en comparación, más lenta.

En raras ocasiones, grandes tormentas ocurren con un mayor decremento del campo, sin mostrar claramente sus fases de desarrollo; tales tipos de tormentas están asociadas con

un intenso bombardeo de protones sobre los casquetes polares y con las poco comunes auroras color escarlata.

El SSC está relacionado con choques hidro-magnéticos del viento solar con el campo geomagnético. La intensidad del SSC es proporcional a la raíz cuadrada de la presión dinámica del viento solar (Campbell, 1997); esto es, que en condiciones normales de 2 nano pascales (nPa), el valor del índice SSC sería de 1.41. Si el IMF presente en el viento solar llega con dirección sur ($-B_z$) se suscita una tormenta geomagnética; por el contrario, si el IMF se mantiene hacia el norte de la eclíptica después de su arribo, no existe una tormenta posterior.

Los SSC son mayores en el hemisferio de verano y en el ecuador debido a una mejor conductividad que permite un mayor flujo en la corriente ionosférica de esas regiones. La fase principal depende del flujo constante dirigido hacia el sur eclíptico del campo magnético interplanetario IMF del viento solar en los límites de la magnetósfera; durante esta etapa existe un mayor incremento en el plasma de los iones y electrones atrapados entre $L=2$ y $L=9$ (el parámetro L se refiere a las líneas de campo cuyo valor es igual a un radio terrestre).

Sub tormentas

Como se mencionó anteriormente, solo en bajas y medias latitudes los campos geomagnéticos describen el aumento y disminución gradual de corto tiempo. La idea de sub tormentas (algunas veces llamadas sub tormentas polares) surgió de la necesidad de ligar las observaciones in situ de períodos de actividad a los que están unidos en una escala de tiempo más corto que la fase principal y de recuperación.

Mientras que la velocidad del plasma del viento solar, del orden de 500 a 900 km/s, comprime la magnetósfera, la dirección del componente B_z del IMF condiciona su

comportamiento. Si se encuentra dirigido hacia el norte del plano eclíptico, una compleja corriente fluye dentro y fuera de la ionosfera polar diurna y no existe ninguna sub tormenta; por otro lado, si se encuentra dirigido al sur permite la conexión entre el viento solar y el campo magnetosférico dirigido hacia el norte y existe una desviación de B_z hacia el norte para que se desencadene una mayor sub tormenta en la cual la entrada de partículas modifica la forma y composición de la magnetósfera.

Una vez que las partículas se introducen en la magnetósfera, pueden identificarse dos mecanismos para la creación de la corriente de la sub tormenta; en el primero, las partículas que arriban rápidamente encuentran su camino hacia los bordes del campo bipolar y durante su trayecto ocasionan auroras. En el segundo, hay un aumento y reconfiguración en el flujo de partículas a través de la cola de la magnetósfera en la cual obtienen aún más energía que al inicio, precipitándose dentro de la zona auroral la cual puede ser del orden de varios cientos de kilómetros de diámetro. Los procesos de carga y descarga de partículas tienen una duración de entre 10 y 20 minutos, una hora después, poco más o menos, las corrientes de auroras alcanzan su pico máximo de desarrollo.

Una tormenta magnética se compone básicamente de tres etapas, la primera es cuando la onda de choque proveniente del Sol alcanza la magnetósfera y la comprime de manera súbita del lado que da hacia el sol, creando una cola magnetosférica que llega a extenderse hasta los 30 000 km en el extremo contrario. En la figura 24 se aprecia gráficamente este efecto.

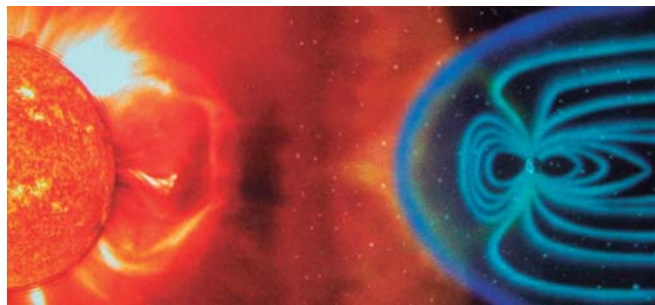


Fig. 24 Imagen que muestra el achatamiento sufrido por la magnetósfera del lado hacia el Sol.
Fuente: <http://cosmoecologos.blogspot.com/2011/08/las-tormentas-solares.html>

La segunda etapa ocurre cuando el plasma que empuja la onda de choque llega a la magnetósfera ocasionando una corriente eléctrica que ocasiona la caída en la intensidad del componente horizontal magnético por debajo del promedio en un lapso de una horas; durante este intervalo ocurre una sucesión de procesos explosivos conocidos como sub-tormentas magnéticas; y por último la fase de recuperación gradual del campo magnético a su valor promedio que puede tomar varios días.

En la imagen siguiente (figura 25) puede apreciarse claramente como para los días 17 y 18 de abril de 1965 en diferentes regiones del mundo cayeron los registros de los niveles del campo magnético durante una tormenta magnética producida durante esos días. En la gráfica se nota la caída de la componente horizontal del campo magnético con inicio poco después de los primeros minutos del 17 de abril, llegando al nivel mínimo poco antes de las 12 horas del mismo día para que finalmente durante las primeras horas del día 18 se recuperaran las lecturas a sus valores regulares.

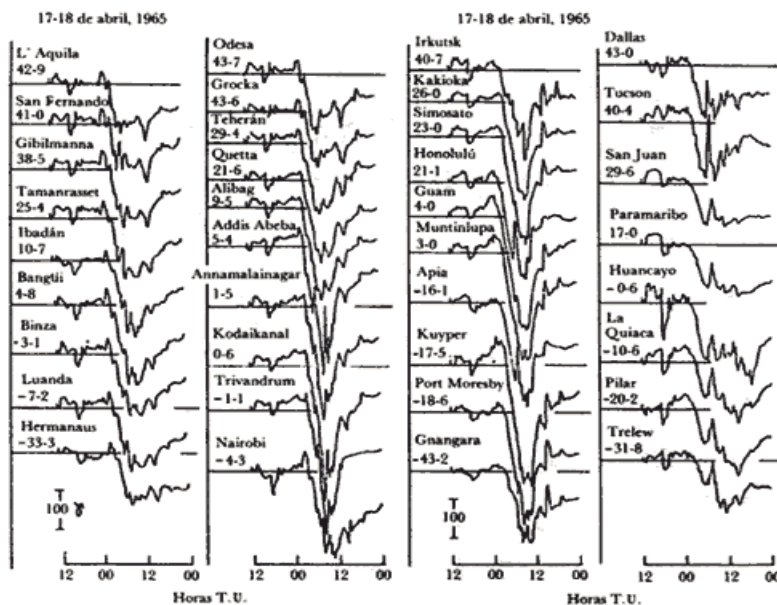


Fig. 25 Registros de observatorios en diferentes partes del mundo para el 17 y 18 de abril de 1965.
Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/114/htm/sec_7.htm

Los eventos que generan los cambios repentinos y súbitos en el magnetismo terrestre y sus principales consecuencias serán analizados con mayor detalle más adelante, donde se comparará la relación entre la actividad normal y extraordinaria del Sol con la magnetósfera terrestre.

1.2 .4 Interacción de partículas provenientes del Sol con la Atmósfera.

Para Störmer (1955), el comportamiento de las partículas cargadas que se encuentran en el viento solar cuando se encuentran con los campos eléctricos y magnéticos terrestres es más complejo que el de objetos sólidos ante fuerzas mecánicas solamente. Una vez que esas partículas entran a la magnetósfera viajan en forma helicoidal o de resorte a través de las líneas del campo magnético que las atrapan, los cuales debido a su forma las llevan hacia las altas latitudes tanto norte como sur (figura 26).

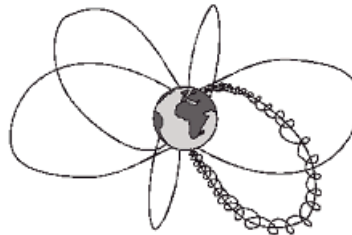


Fig. 26 Trayectoria de las partículas dentro de las líneas de campo terrestre.
Fuente: <http://intercentros.cult.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Electromagnetismo/.htm>

A pesar de que las partículas que se introducen en la magnetosfera son muy ligeras, experimentan un ligero jalón hacia la Tierra que altera ligeramente su trayectoria circular a través de las líneas de campo, dando como resultado que las partículas positivas tengan un cambio menor hacia la izquierda y las negativas hacia la derecha. En caso de que campos eléctricos estén presentes en la magnetósfera, éstos también pueden ocasionar un movimiento a la deriva de las partículas a través de las líneas del campo magnético. La parte de una campo eléctrico dirigido paralelamente a las líneas del campo magnético

afectará las partículas cargadas, ya sea acelerándolas o disminuyéndole su velocidad (Akasofu, 1981).

En resumen, las partículas cargadas dentro de la magnetosfera luchan por seguir las líneas del campo magnético rodeándolo en forma de serpentinatas. Están sujetas a modificaciones en su trayectoria hacia la superficie debido a que el campo magnético no es uniforme, sino que varía de una zona a otra, a la gravedad terrestre y en menor parte, por los campos eléctricos. Por otro lado, es muy relevante considerar un concepto relativo al movimiento de las partículas dentro de la magnetósfera. La “botella magnética” o “espejo magnético” (Schröder, 2005) que consiste en líneas de campo que convergen en los extremos donde la fuerza del campo es más intensa mientras en el centro se torna más débil con lo que a su vez encierra en su interior las partículas cargadas las cuales se mueven de un extremo a otro regresando al centro más débil cada vez que llega a un extremo (ver figura 27).

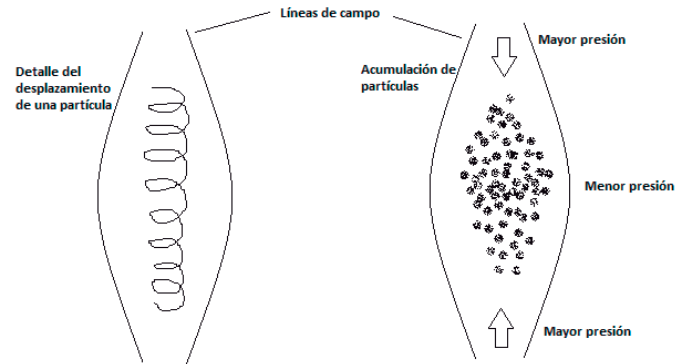


Fig. 27 Gráfico que muestra cómo se comportan las partículas dentro de la “botella magnética.”
Fuente: Elaboración propia

Una partícula cargada moviéndose dentro de un campo magnético posee cierta energía cinética¹² que depende de su masa y del cuadrado de su velocidad. Si la partícula se mueve dentro de un campo magnético convergente, sus giros se hacen cada vez más

¹² Es la energía que posee todo cuerpo en movimiento que al chocar con otro es capaz de moverlo.

cerrados lo cual ocasiona que su velocidad se vea incrementada, por tanto, su energía cinética también aumenta. Sin embargo, al final el total de la energía cinética debe permanecer constante, y por eso la energía cinética del movimiento circular debe realizarse a expensas del movimiento hacia delante de otras partículas sobre las líneas del campo. Al final de uno de los extremos de la “botella” las partículas realizan un último giro rápido, ya que enseguida comienza a moverse en sentido contrario. La magnetósfera es una botella magnética, una especie de dona colocada alrededor de la Tierra, capaz de atrapar partículas cargadas en su interior. Cuando esas partículas penetran la magnetósfera, algunas de ellas se trasladan hacia las líneas de campo que llegan a las zonas polares, otras penetran más profundo dentro de la magnetósfera para luego ser atrapadas en la botella magnética que se localiza ahí, comúnmente llamado cinturón de Van Allen¹³ (figura 28).

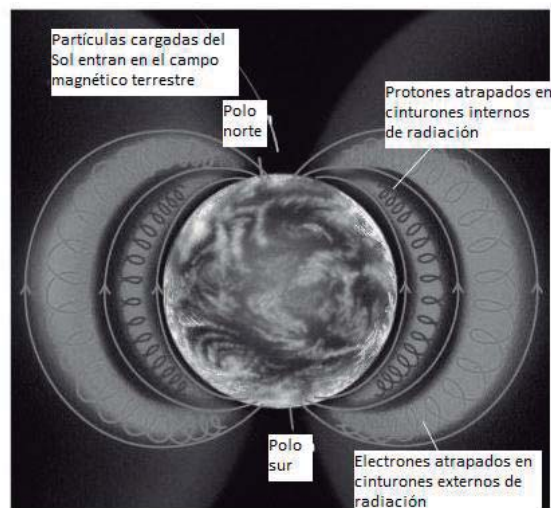


Fig. 28 Comportamiento de las partículas dentro de los cinturones de Van Allen.
Fuente: <http://luisperezsolis.blogspot.com/2011/09/exosfera-y-cinurones-de-van-allen.html>

¹³ Son ciertas zonas de la magnetosfera terrestre donde se concentran las partículas cargadas. Son llamados así en honor de su descubridor James Van Allen, son áreas en forma de dona en las que gran cantidad de protones y electrones se están moviendo en espiral entre los polos magnéticos del planeta.

El sol “vaporiza” los electrones y protones, que componen el viento solar que además está asociado al campo magnético solar. De este modo, el viento solar consistente de partículas cargadas mezcladas con un débil campo magnético solar, a medida que se dirige a la Tierra comienza a interactuar con el campo magnético de ésta. En el plano Sol-Tierra, las líneas del campo magnético son más o menos perpendiculares al flujo del viento solar, por ello, el campo magnético de cierto modo obstaculiza el viento. Las partículas tratan de penetrar el campo magnético terrestre pero son desviadas, los protones hacia el este y los electrones hacia el oeste; este movimiento de desviación crea una corriente eléctrica que ocasiona que los dos campos se unan, generando lo que se conoce como límite de la magnetósfera, fuera de esta frontera el flujo de viento continua ya desviado hacia los alrededores de la magnetósfera.

Hacia los lados de la magnetósfera, justo en la frontera de la misma, las partículas intentan unirse a líneas de campo magnético más externos. El flujo del viento solar a lo largo de la frontera de la magnetósfera arrastra las líneas de campo hacia el lado opuesto del Sol, de manera que éstas actúen como ligas; el resultado es que detrás de la Tierra se extiendan grandes distancias, incluso más allá de la órbita lunar. Como ejemplo podríamos decir que la forma que presenta la cola de un cometa es resultado de un proceso parecido. A través de esa cola magnética es por donde penetra la mayoría de energía y partículas, un factor determinante que afecta su entrada es la dirección del campo magnético contenido en el viento solar. Algunos científicos creen que esa dirección está determinada por la dirección que el campo tenía cuando partió de la superficie solar, estas condiciones prevalecen durante días. Justo en los límites de la magnetósfera, las líneas de campo geomagnético se unen a las líneas de campo del viento solar, esta conexión crea un camino por donde las partículas penetran la frontera de la magnetósfera hacia una región inestable. Lo que sucede ahí debe ser muy complejo, pero una idea es que la energía cinética llevada por las partículas queda temporalmente almacenada como energía magnética la cual es liberada repentinamente durante las sub tormentas y causa la aceleración de las auroras. Ese proceso ocurre cuando el campo magnético solar se dirige hacia el sur y cuando el viento solar se mueve más rápidamente.

Como resultado del proceso de unión entre los campos magnéticos y solares y las líneas de campo geomagnéticas a través del límite de la magnetósfera las partículas del viento solar pueden recorrer esa zona de unión de campos, este flujo genera una fuerza electromotriz (el proceso del dinamo o bobina eléctricos que se mencionó en capítulos anteriores) débil mientras haya baja actividad geomagnética y fuerte durante las tormentas magnéticas; como ejemplo podemos comparar los 12 volts que genera una batería de automóvil con los 10 000 volts que se producen durante una tormenta geomagnética. Ese generador establece un voltaje a través de la cola de la magnetósfera que junto con el campo geomagnético convierten la circulación de partículas cargadas de la parte externa de la magnetósfera en dos celdas de convección. Este movimiento convectivo en el plano ecuatorial de la parte exterior de la magnetósfera involucra tanto partículas y líneas de campo por lo que la parte externa de la magnetósfera circula con el movimiento de las partículas. Este movimiento de la parte externa de la magnetósfera se proyecta hacia las líneas de campo que convergen en las regiones polares.

Uno de los efectos que ocasiona en las zonas aurorales es producir un lento desplazamiento de las auroras, generalmente hacia el oeste durante la tarde y hacia el este después de la media noche; este desplazamiento no es fácil de notar para alguien que eventualmente observa la aurora, pero se notaría si se tomaran diversas fotografías con gran amplitud de ángulo desde un mismo punto.

Debido a que las partículas cargadas fluyen libremente a través de las líneas de campo, las líneas de campo geomagnético actúan como conductores de electricidad; así forman parte del circuito alimentado por el generador o dinamo geomagnético y extienden este circuito hacia la ionósfera de las zonas polares; de una u otra forma la ionósfera actúa como la fuente principal de dicho circuito. La energía que este circuito obtiene del viento solar produce las brillantes descargas aurorales; de la energía de las partículas en el viento solar que altera el frente de la magnetósfera terrestre, cerca del 98% recorre los contornos externos de la magnetósfera y se desplaza más allá del sistema solar, el restante 2% puede ser almacenada en forma de energía eléctrica o magnética pero pronto se convierte en energía cinética transportadas por partículas cargadas que ya sea que

fluyan hacia las regiones polares creando la aurora, o penetren hacia el interior de la magnetósfera para ser atrapadas dentro de los cinturones de Van Allen.

Cuando los electrones penetran a lo largo de una línea de campo y llegan a la atmósfera polar se dan colisiones que pueden tener dos consecuencias: Por un lado, por el impacto de partículas de alta energía cuyo impacto puede despojar a una molécula de aire de un electrón ionizando esa molécula, se duplica el número de electrones, (el que está llegando más el obtenido por la colisión) y se incrementa la conductividad eléctrica. Por otra parte, por partículas de menor energía; las moléculas atmosféricas reciben esa energía y son excitadas, para posteriormente liberar esa energía como emisiones de luz.

De cierto modo, las auroras son similares a la luz de los anuncios de neón; el tubo de gas es bombardeado por una corriente eléctrica de partículas que emite la energía suficiente al gas para brillar en un color determinado (véase figura número 29).

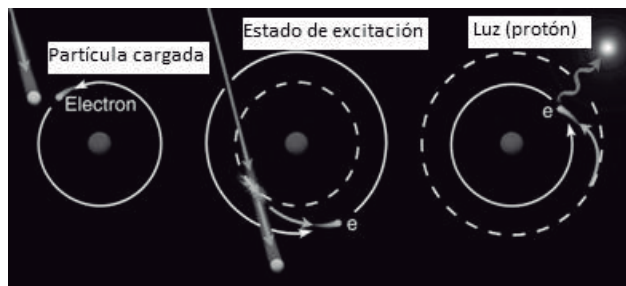


Fig. 29 Fases de excitación de un átomo: colisión, excitación y liberación de energía en forma de luz.
Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/32/html/sec_9.html

La altura de las auroras intensas están determinadas por los siguientes factores: la energía de las partículas que se precipitan, la composición y densidad de la atmósfera y de la vida media de las partículas excitadas. Entre 60 y 100 km de altitud domina la presencia de moléculas de oxígeno y nitrógeno; de 100 a 200 km encontramos principalmente átomos de oxígeno y moléculas de nitrógeno; sobre 200 km dominan los átomos de oxígeno. Por encima de los 150 km la densidad atmosférica es tan baja que existen muy pocas colisiones para arrebatarse energía a los átomos excitados.

La tonalidad principal de la aurora oscila entre el verde intenso que lo determina el oxígeno y del nitrógeno con emisiones de luz entre el azul-violeta entre la región comprendida sobre los 100 y hasta los 300 km. A pesar de que las emisiones del nitrógeno son casi tan fuertes como las del oxígeno por debajo de los 200 km, nuestros ojos captan más fácilmente el verde. Las emisiones de oxígeno duran en promedio .75 segundos considerando, que las emisiones del nitrógeno son relativamente instantáneas. Las tonalidades rojizas se encuentran limitadas a mayores altitudes porque con un promedio de 130 segundos de vida en las emisiones generadas por el oxígeno no se podrían efectuar a alturas inferiores ya que a mayor número de colisiones la energía podría perderse antes de la emisión de luz. Las auroras rojo intenso a gran altitud son más impresionantes aunque poco comunes. Otro tipo de bandas rojizas se presentan por la emisión del nitrógeno a altitudes por debajo de los 100 km, ocasionalmente forman un borde inferior color rojo en las auroras de tonalidades verdes.

1.2.5 Morfología y color de las auroras.

A partir del año 1930, como preparativo para el año polar de 1932, Carl Störmer junto con investigadores de otros países elaboraron un atlas auroral con formas y descripción de las auroras basados en observaciones visuales del cual fueron extraídas las siguientes formas con base a clasificación de tres divisiones:

- a) **Formas sin estructura de rayos**
- b) **Formas con estructura de rayos**
- c) **Auroras con forma de llamaradas**

A las tres formas antes citadas le antepusieron las siglas HA, HB, RA, G, F, etc., a fin de determinar más específicamente cada subclase. Aquí cabe hacer mención que debido a que la clasificación se basa en observaciones directas, muchas de las veces no existe una frontera bien definida entre una forma y otra. Por lo tanto, la clasificación quedaría de la siguiente forma:

Formas sin estructura de rayos:

HA (Arcos estáticos homogéneos)

Son arcos que aparecen en el horizonte con segmentos oscuros por debajo del mismo, pueden ser anchos o angostos agrupados en uno solo o varios de ellos; generalmente son más intensos en la parte inferior y difusos en su parte alta. Su color es entre gris y amarillo verdoso, aunque sólo en los años de máxima actividad solar éstos pueden adquirir un color rojizo. Pueden durar varias horas antes de cambiar de forma.



Fig. 30 Arcos estáticos homogéneos.
Fuente: Störmer (1955)

HB (Bandas homogéneas)

No tienen la forma regular de arcos y poseen un movimiento más dinámico. La parte inferior es a menudo más irregular, consistente en pliegues como serpentinadas o pequeños cúmulos. Su amplitud puede variar de angosto a muy amplio. A menudo se convierten en bandas con estructura de rayos.



Fig. 31 Bandas homogéneas.
Fuente: Störmer (1955)

PA (Arcos pulsantes)

Son arcos homogéneos con segmentos que destellan y desaparecen de manera alterna con periodos que van de segundos a algunos minutos entre sí a lo largo de todo el arco. Generalmente aparecen después de una o dos noches después de una aurora de gran extensión.



Fig. 32 Arcos pulsantes.
Fuente: Störmer (1955)

DS (Superficies luminosas difusas)

Son una especie de velos luminosos las cuales se asemejan a una nube brillante, no poseen un contorno definido. Hay dos tipos de DS, las de color verde amarillento y las de tono rojo que aparecen a mayor altitud que las primeras durante períodos de gran actividad solar.



Fig. 33 Superficies luminosas difusas.
Fuente: Störmer (1955)

PS (Superficies pulsantes)

Son áreas que pueden aparecer y desaparecer rítmicamente en el mismo sitio con pulsaciones irregulares durante varios segundos mientras mantiene su forma. A menudo aparecen asociadas a las auroras en forma de llamaradas.



Fig. 34 Superficies pulsantes.
Fuente: Störmer (1955)

G (Resplandor débil)

Se trata de un resplandor débil en el horizonte que se asemeja al amanecer, en color rojo o blanco puede estar sola como única manifestación o puede estar en ocasiones por encima de un arco que se aprecie en el horizonte. Cuando es vista en latitudes medias luce en color rojizo.



Fig. 35 Resplandor débil.
Fuente: Störmer (1955)

Formas con estructura de rayos:

Son formas compuestas de rayos cortos o largos los cuales se encuentran agrupados en diferentes formas; son más luminosas que las anteriores y a menudo más dinámicas.

RA (Arcos con estructura de rayos)

Se asemejan a las del grupo HA pero con rayos de diferente longitud que se mueven a lo largo del arco. El contorno inferior es más delgado y más luminoso que las partes superiores.



Fig. 36 Arcos con estructura de rayos.
Fuente: Störmer (1955)

RB (Bandas con estructura de rayos)

Son similares a los del grupo HB pero consisten de series de rayos que pueden estar agrupados entre sí a lo largo de la banda. Comúnmente presentan una onda. A menudo aparecen varias formas colocadas de manera paralela entre sí; cuando este tipo de aurora llega a ser muy fuerte, el borde inferior se torna de color rojo.



Fig. 37 Bandas con estructura de rayos.
Fuente: Störmer (1955)

D (Draperías)

Son parecidas a las bandas RB pero con rayos mucho más largos que asemejan cortinas colgando, con su borde inferior ondulante y más brillante que la parte superior. Con frecuencia aparecen agrupadas una tras de la otra.



Fig. 38 Draperías.
Fuente: Störmer (1955)

R (Rayos)

Los rayos pueden estar aislados, pueden ser anchos o angostos, cortos o largos. Pueden aparecer estacionarios durante algunos minutos, moviéndose lentamente de derecha a izquierda o viceversa. Su longitud puede variar rápidamente, puede ser de color amarillo verdoso, gris, con color rojo en la parte superior o totalmente escarlatas.

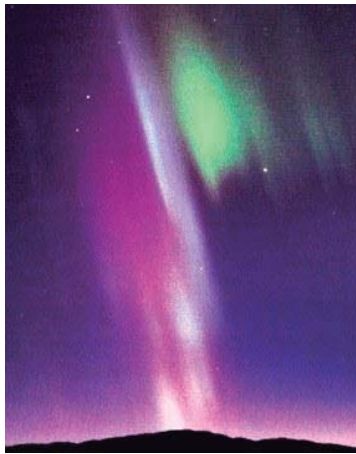


Fig. 39 Rayos.
Fuente: Störmer (1955)

C (Corona)

Cuando aparecen grupos de varios rayos en el cenit, todos ellos aparentan apuntar hacia un solo punto de fuga por efecto de perspectiva; esto es debido a que todos los rayos se encuentran paralelos a la dirección de la fuerza magnética.



Fig. 40 Corona.
Fuente: Störmer (1955)

Aurora con forma de llamaradas (F)

Su principal característica es su veloz movimiento consistente en fuertes ondas de luz las cuales se mueven rápidamente una tras otra hacia arriba con dirección al cenit magnético. Las ondas tienen forma de arcos independientes los cuales iluminan el resto de las formas mientras avanzan hacia arriba. Estas formas generalmente aparecen poco tiempo después de la presencia de rayos y cortinas; posteriormente, es común que sea seguido por la formación de la corona.



Fig. 41 Llamaradas.
Fuente: Störmer (1955)

Pudieran existir otras formas visibles dentro del amplio espectro de las luces polares. Para Störmer, un observador entrenado podría en una sola noche apreciar un sin número de formas distintas, incluso algunas formas que nunca antes pudieron haber sido vistas. Sin embargo, las formas citadas anteriormente son sólo las principales que en casi cualquier ocasión pueden ser vistas, o que al menos ocurren con mayor frecuencia.

Al igual que las diversas formas observadas en la estructura de las auroras, el color de las mismas varía ampliamente.

Si la aurora es apenas visible, como es el caso de las formas sin estructura de rayos, su intensidad suele ser tan débil que el ojo humano no puede distinguir sus colores; la aurora solo se ve como un gris tenue con algún tinte verdoso. Por otro lado, cuando la intensidad de la aurora es grande, pueden apreciarse diferentes colores. Los siguientes son los colores que pueden ser apreciados:

- **Amarillo-verdoso.** Es el color más común visto en arcos, bandas, nubes y rayos, particularmente durante los períodos de menor actividad solar. Algunas veces predomina un verde intenso con muy poco amarillo.
- **Rojo.** Es la tonalidad que aparece durante los años de mayor actividad solar. Aparecen en las nubes o manchones y en la parte superior de los rayos; sobre todo son visibles en auroras de mayor altitud y cuando el óvalo auroral alcanza latitudes menores. Otro tipo de coloración roja que se presenta en los bordes inferiores de los arcos, mientras que otra coloración rojo-violeta es visto algunas veces en la parte frontal de los rayos cuando un arco con estructura de rayos se desenvuelve rápidamente de un lado a otro. Este tipo de coloración desaparece rápidamente.
- **Amarillo y naranja.** Algunas ocasiones durante fuerte actividad auroral con presencia de rayos y corona se pueden apreciar tonalidades amarillas y naranja. Estas tonalidades según Störmer han sido reportadas en las regiones árticas y en Europa.
- **Azul.** Corresponde a una tonalidad muy poco común, de hecho Störmer en su libro “The polar aurora” comenta que solamente han sido reportados pocos casos en el sur de Noruega entre 1911 y 1951 y algún otro caso que ha sido reportado en Alaska.
- **Violeta.** En Noruega han sido registrados eventos donde la parte superior de los rayos se torna en color violeta y gris-violeta. Algunas veces la totalidad de la aurora se pinta de este color.

- Blanco. Este color surge en el caso de existir una aurora de gran intensidad cuando los rayos adquieren una tonalidad blanca.

En general, los tipos más comúnmente descritos son:

- Tipo A. Auroras verdes con borde superior oscuro o rojo.
- Tipo B. Auroras verdes con borde inferior rojo.
- Tipo C. Auroras totalmente verdes.
- Tipo D. Auroras totalmente rojas.
- Tipo E. Auroras Tipo B con rápido movimiento.
- Tipo F. Auroras con tonalidades azules y lilas.

Los anteriores son los grupos y tipos de colores principales que han sido reportados durante décadas de observación por parte de los principales investigadores del fenómeno; algunos colores son los cotidianos que cada día son observados, otros sólo han sido reportados un par de veces durante el mismo período; sin embargo, la siguiente es una idea del porqué del color en cada una de las manifestaciones aurorales; para ello, hay que considerar los siguientes factores:

- ✓ La energía del haz de partículas que se adentra a la magnetósfera.
- ✓ De la altitud depende la distribución de átomos y moléculas en la atmósfera.
- ✓ De las características que posean los átomos y moléculas en la atmósfera responsables de la emisión de luz.
- ✓ El incremento en la densidad de los gases que las partículas encuentran al penetrar más profundamente la atmósfera.

La energía de las partículas entrantes determina que tan profundo éstas pueden llegar dentro de la atmósfera, y por tanto, a qué altitud se producirá la luz auroral. La distribución en la altura de los diferentes gases que componen la atmósfera determina con qué tipo de gas chocarán las partículas entrantes y qué tipo de luz emitirá. Las características de los átomos y moléculas de los gases son cruciales porque determinan el color de la luz emitida. La densidad también importa porque en la alta atmósfera, donde la densidad es baja, los *procesos que generan la luz son afectados por las colisiones*

entre los átomos y moléculas presentes; por ello, más abajo, donde la densidad es mayor esas colisiones modifican dramáticamente dicho proceso intensificando un color o disminuyendo otro.

La luz solar posee un espectro continuo; cada tono de color en el arcoíris está presente (violeta, índigo, azul, verde, amarillo, naranja y rojo) y la transición de un color a otro forma un amplio y continuo espectro de color. En contraste, la luz auroral carece de la mayoría de las tonalidades y su color proviene de pequeñas zonas dentro del espectro luminoso; esas estrechas regiones llamadas líneas y bandas están en lugares específicos en el espectro y generalmente separados uno de otro. La manera más fácil y precisa de determinar el color de la luz es por medio de su longitud de onda; sin embargo, ese análisis complejo no es necesario considerarlo para los fines de este trabajo.

Otra característica importante de las auroras es su movimiento, y su forma cambia de manera radical de un momento a otro; y aunque fuera que no estuviera sujeta a ningún cambio, el movimiento de la Tierra generaría un efecto de movimiento relativo para un observador por debajo del ovalo auroral. A partir del ensanchamiento del ovalo hacia el ecuador en la cercanía del meridiano de la medianoche, la rotación de la Tierra produce movimientos aparentes del mismo en dirección norte-sur. Como ejemplo, en la región de Alaska alrededor de la medianoche el ovalo tiende a avanzar hacia el sur y en horas posteriores se torna hacia el norte.

Otro movimiento de escala global es causado por la fricción que ejerce el viento solar sobre los costados de la magnetósfera que genera una fuerte fuerza electromotora que genera dos grandes celdas convectivas en la parte externa de la magnetósfera, se extienden hacia la parte que contiene las partículas cargadas que se introducen en la ionósfera para crear la aurora, la velocidad del flujo es de entre 1 a 2 km/s. Esto trae como resultado un lento desplazamiento de las auroras hacia el oeste sobre el lado del anochecer de la Tierra, y otro desplazamiento hacia el este en el lado matutino (figura 42).

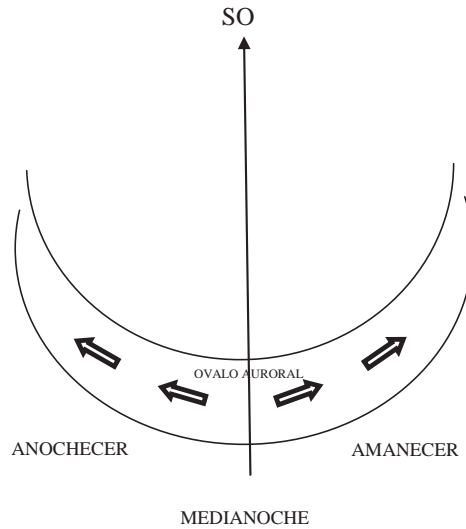


Fig. 42 Gráfica vista desde arriba del óvalo auroral.
Fuente: Elaboración propia

Cuando se incrementa el nivel de actividad auroral, el diámetro del óvalo aumenta y la franja se ensancha, estos cambios ocasionan que un observador vea de norte a sur movimientos que pueden ser lentos o rápidos. Esta amplia gama de movimientos son al parecer fenómenos de geometría, de la interacción entre el viento solar con la magnetósfera externa y el nivel de actividad auroral y contribuyen al esplendor del dinamismo auroral. Una causa del movimiento a gran escala de las auroras se debe al movimiento de las zonas donde se generan en la magnetósfera externa, regiones donde las partículas se unen a las líneas de campo geomagnético que las guían hacia la atmósfera de las zonas aurorales. Según Davis, tales regiones fuente se localizan cerca del plano ecuatorial y si éstas se mueven, las auroras que de ella se generan también lo hacen; cuando estas regiones fuente se mueven en dirección contraria a la Tierra, ocasionan que la aurora se mueva hacia el norte (en el hemisferio norte); se las regiones fuente se mueven hacia la Tierra, ocasionan que las auroras tengan un movimiento hacia el sur. Es posible que aunque las regiones fuente no sufran ningún movimiento, las líneas de campo sufran una oscilación que ocasione los mismos efectos.

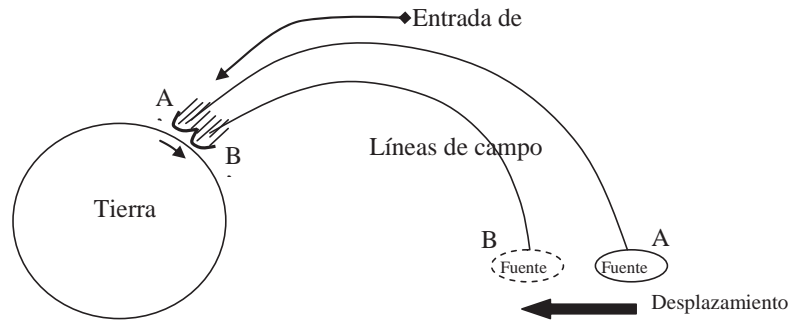


Fig. 43 Desplazamientos de las áreas fuente que ocasionan el desplazamiento de la aurora.
Fuente: Elaboración propia

El flujo de partículas cargadas conforma una especie de lámina de corrientes eléctricas con sus respectivos campos magnéticos. Tales campos a pesar de ser pequeños ayudan a alterar levemente la dirección de las líneas principales hacia cualquier lado del centro de la lámina de carga, por esta razón, si la lámina que produce un arco auroral forma una ligera irregularidad, tal irregularidad se torna más grande y puede generar desde una pequeña ondulación, hasta una espiral más compleja (figura 44).

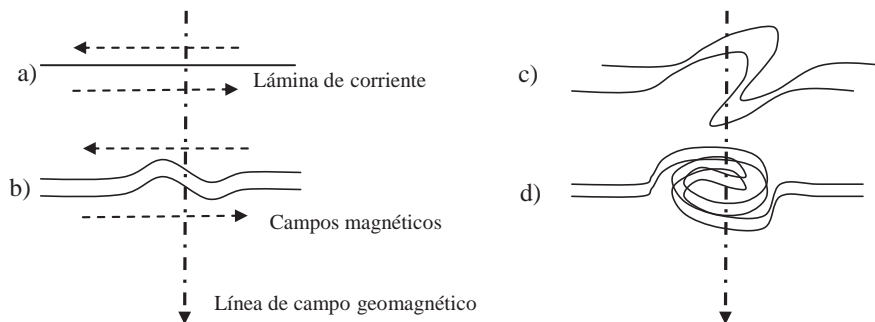


Fig. 44 Formación de espirales a partir de ligeras ondulaciones.
Fuente: Elaboración propia

Tales espirales pueden llegar a tener una longitud de hasta 1500 km; a estos cambios en la forma de la aurora se les conoce como movimientos de gran escala. Existen otros movimientos de menor escala aunque de mayor velocidad como el de los rayos los cuales son claramente visibles durante la aparición de la corona.

1.2.6 Distribución geográfica de las Auroras.

En el año 1773 el filósofo Jean Jacques d'Ortous de Marian consideró la posibilidad de que mientras se observaba una formación auroral en las cercanías del polo norte, también existía una formación similar en el polo sur. En ese momento de Marian sugirió que la aurora podía ser una extensión de la atmósfera del Sol la cual de alguna manera se mezclaba con la de la Tierra; tal fuente debería ser igual tanto en el hemisferio norte como sur de nuestro planeta. Por tanto, de Marian brindó la primera idea de lo que en el lenguaje inglés se le conoce como *auroral conjugacy*, lo cual en el lenguaje práctico significa paridad auroral. En otras palabras, esta paridad está dada porque las partículas que convergen sobre una misma línea de campo geomagnético son llevadas en igualdad de condiciones tanto al norte como sur de los polos.

Para una observación auroral dada sobre Fairbanks, Alaska, significa que su paridad auroral se está repitiendo con exactitud en el sur del Océano Pacífico, a unos 600 km al este de la isla Macquerie (véase imagen 45 donde se aprecia esta paridad).

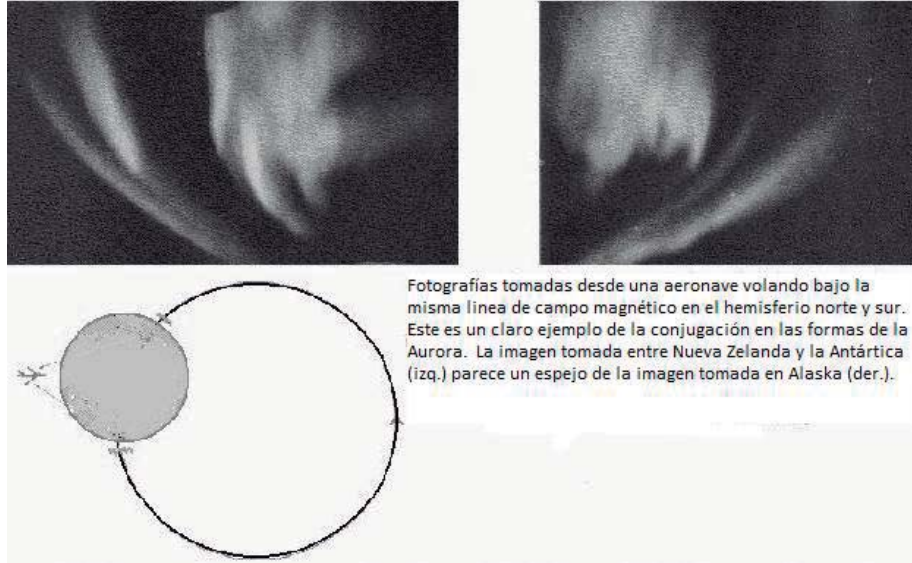


Fig. 45 Imágenes captadas por dos aviones volando simultáneamente bajo la misma línea de campo entre la Antártica y Alaska, donde se aprecian los mismos patrones de actividad auroral.
Fuente: <http://www.albany.edu/faculty/rgk/atm101/aurora.htm>

En cada hemisferio las auroras ocurren mayormente dentro de un cinturón que anteriormente citamos como zona auroral. Para el hemisferio norte, durante períodos de actividad solar normales, esta región forma una franja que abarca aproximadamente 23° de latitud o 2500 km. La región pico de esta franja (se le conoce así porque estadísticamente es donde hay un mayor número de avistamientos durante el año) intercepta la costa oeste de Alaska, cerca de Point Hope, baja hacia el sur cubriendo Alaska, pasando por Bettles y Fort Yukon; cruza la frontera de Canadá por el norte de Dawson, pasa al sur de Yellowknife y siguiendo hacia el este, cruza la Bahía de Hudson y la Bahía de James; se adentra al Mar de Labrador al norte de la Bahía de Goose para posteriormente complementar la circunferencia de la Tierra, no sin antes recorrer Islandia, el territorio de Laponia y el extremo norte de Siberia. Para apreciar la aurora, un observador no necesariamente necesita estar exactamente debajo de la línea pico ya que entre 100 y 200 km al norte o sur de ésta se aprecia el mismo fenómeno debido a la altura a la que se genera. Por esta razón, Fairbanks y Yellowknife son dos de los sitios con excelente localización para tal efecto.

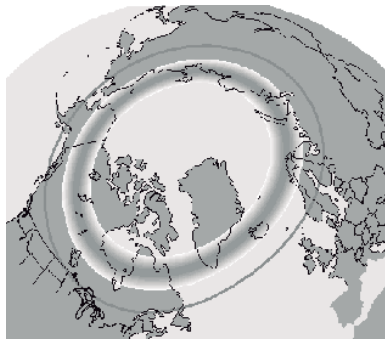


Fig. 46 Región auroral norte durante la actividad solar promedio.
Fuente: Instituto de Geofísica, Universidad de Alaska en Fairbanks

Para el hemisferio sur, donde se le conoce como aurora austral, a pesar de que en estas regiones existen pocas observaciones del fenómeno debido a lo escasamente poblado de las zonas por debajo del cinturón auroral, la distribución del óvalo auroral es similar al del hemisferio norte; con la diferencia de que la zona de mayor frecuencia auroral cae dentro de la Antártida, y la franja de menor frecuencia cruza al sur de Nueva Zelanda y la Isla de Tasmania.

Gracias al trabajo de miles de observaciones realizado por el geofísico Herman Fritz a partir de 1878, se obtuvo una gráfica ampliamente conocida entre los estudiosos de las auroras; esta gráfica muestra las líneas de igual frecuencia auroral. Esta frecuencia es llamada M y representa el número de días con aurora al año; por ejemplo, $M = 0.1$, representa una aurora en 10 años y así, sucesivamente. Cabe hacer mención que esta línea cruza el Trópico de Cáncer (23.5° de latitud norte) pasando por el centro del estado de Zacatecas, México. Fritz llamó *isochasms* a esas líneas de frecuencia (véase figura 47), y a partir de su publicación se adicionaron considerablemente las observaciones con lo que en 1944 Ernest Harry Vestine construyó un nuevo mapa basado en el de Fritz al que le agregó los promedios de intensidad de la alteración magnética durante los años 1932-1933.

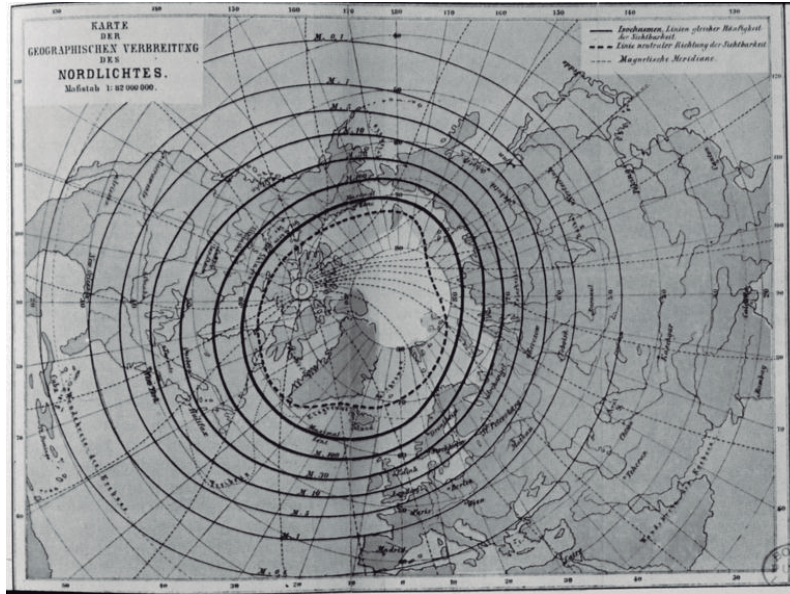


Fig. 47 Mapa de isochasms de finales del siglo XIX, propiedad de la NOAA.

La frecuencia con la que la aurora puede ser vista desde un lugar específico no está dada tanto por su latitud geográfica; sino por su latitud magnética; por ello, a partir del polo magnético norte se crean en su entorno de manera concéntrica las líneas isogónicas y por tanto, también cada isochasm. Dado que el polo norte magnético se encuentra (por el momento) a 80° latitud norte y 104° de longitud oeste, cerca de la Isla Bathurst, Canadá, el territorio de Norteamérica se ve más beneficiado en el número de frecuencias de observación que cualquier otro punto con igual latitud geográfica de Europa.

1.2.7 Desplazamiento del óvalo auroral hacia latitudes bajas durante las grandes tormentas magnéticas.

Estamos acostumbrados a relacionar el fenómeno de las auroras boreales y australes como un acontecimiento estrictamente de las regiones polares de nuestro planeta; sin

embargo, bajo ciertas condiciones llegan a extenderse hacia latitudes menores y pueden entonces ser vistas por mucho más gente ya que así cubren grandes asentamientos poblacionales a lo largo del mundo. Tales eventos no solo brindan un majestuoso juego de luces para el observador, si no que el gran disturbio geomagnético y eléctrico que están detrás pueden ocasionar interrupciones en los servicios eléctricos de alguna ciudad, como la ocurrida en Quebec, Canadá el 13 de marzo de 1989 cuando un apagón en una central eléctrica ocasionó que más de seis millones de personas quedaran sin electricidad por más de nueve horas. En casos menos dramáticos, ocasiona problemas menores como el sucedido en California durante el mes de agosto de ese mismo año cuando un sinnúmero de propietarios de cocheras automáticas experimentaron la apertura y cierre de las mismas sin ninguna razón aparente; o el mal funcionamiento de las computadoras que reportaron en algunos almacenes de Toronto, Canadá. Tales efectos significaron, en su momento, una alerta temprana de que se aproximaban la posibilidad de observar majestuosos juegos de luces en la atmósfera sur de Canadá, y del centro de Estados Unidos.

Las tormentas aurales que penetran las latitudes medias (centro de Estados Unidos, norte de Europa, entre otras regiones) surgen a partir de fuertes disturbios magnéticos. Como se comentó en capítulos previos, esos disturbios marcan el arribo muy por arriba de lo ordinario de partículas cargadas de energía incluidas en el viento solar procedente a partir de grandes regiones de manchas o de agujeros en la corona solares. Como consecuencia de estas condiciones extraordinarias de actividad solar el óvalo auroral puede ensancharse tanto que las luces del norte pueden llegar a ser vistas desde Miami, Florida e incluso del norte de México durante un lapso que puede llegar a ser de 1 a 5 días, para luego, una vez que esa extraordinaria actividad haya cesado, volver a sus condiciones normales.

Tales períodos de inusual actividad solar sólo pueden ser apreciados por habitantes de latitudes menores (cerca de los 40°) cada once años en promedio, coincidiendo éste casi siempre con el pico máximo de cada ciclo solar. Cuando tal desplazamiento del óvalo auroral hacia bajas latitudes ocurre, a pesar de que llegue a estar directamente

encima de localidades ubicadas alrededor de los 40° (el estado de Illinois, por ejemplo), las luces generadas pueden llegar a ser vistas 10° más al sur, con lo que los habitantes de Texas y Florida pueden también ser partícipes de tal evento, ya que por la altitud en la que se generan (100 km) pueden ser vistas en el horizonte de las poblaciones de estos estados.

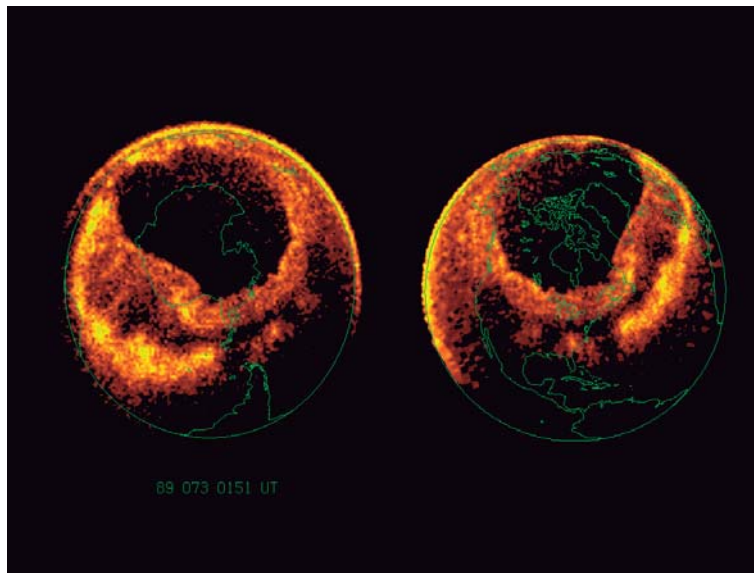
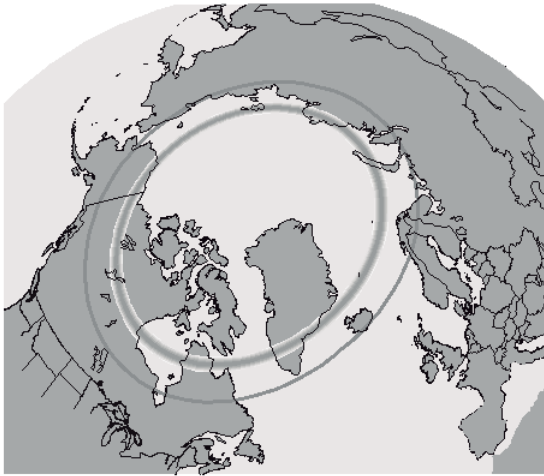


Fig.48 Imagen de ambos polos mostrando los alcances del óvalo auroral descendiendo a bajas latitudes durante la actividad del 13 y 14 de marzo de 1989.
Fuente: <http://www-pi.physics.uiowa.edu/sai/gallery/>

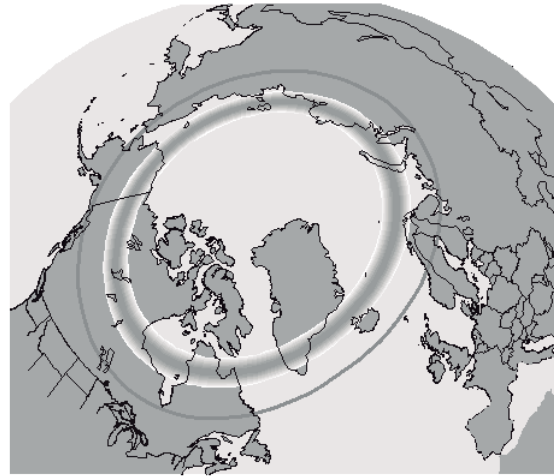


Fig. 49 Fotografía desde el observatorio McDonald en Texas, el 6 de abril del 2000.
Fuente: http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2000/ast25apr_1m/

En las siguientes imágenes puede apreciarse la extensión que sufre el ovalo auroral durante cada fase de actividad geomagnética:



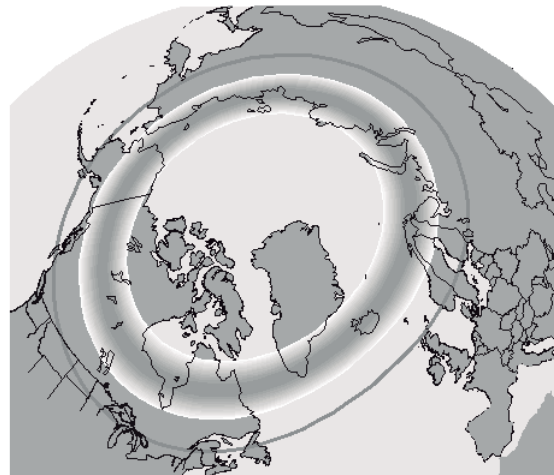
Kp=0: Actividad auroral mínima



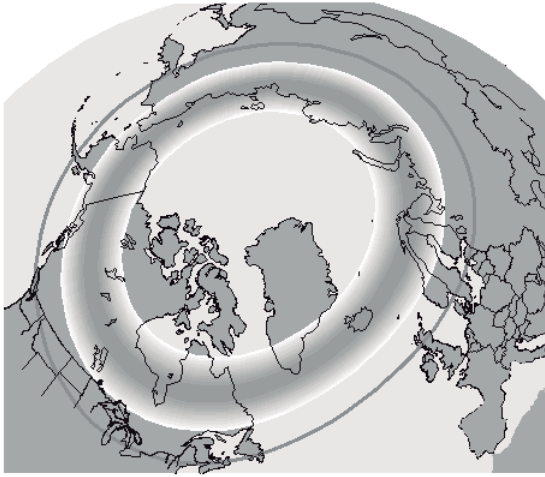
Kp=1: Actividad auroral calma



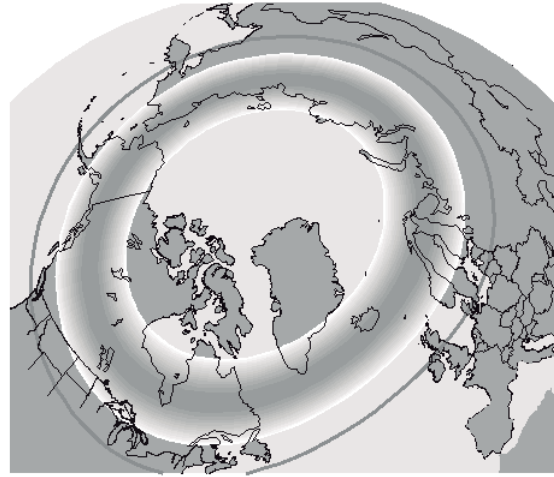
Kp=2: Actividad auroral baja



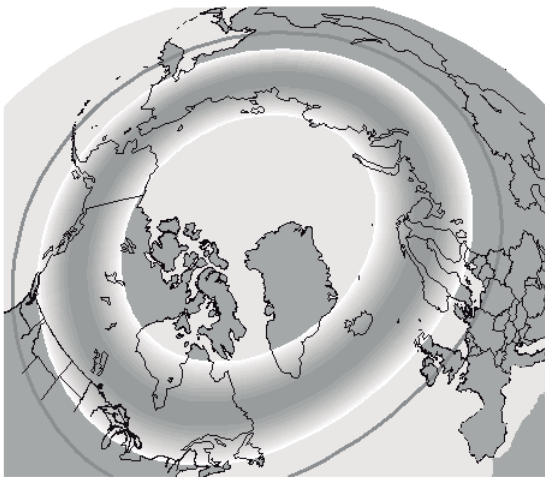
Kp=3: Actividad auroral moderada



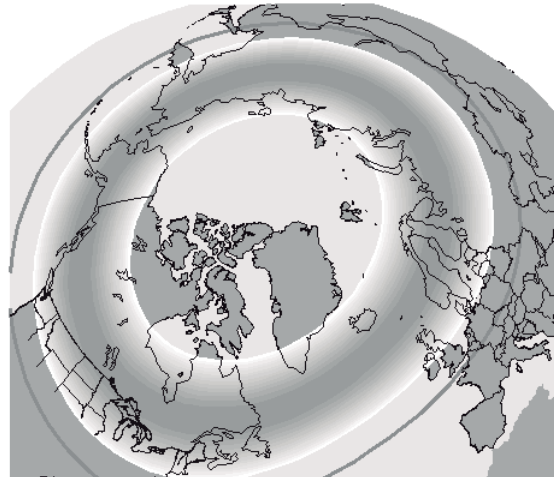
Kp=4: Actividad auroral activa



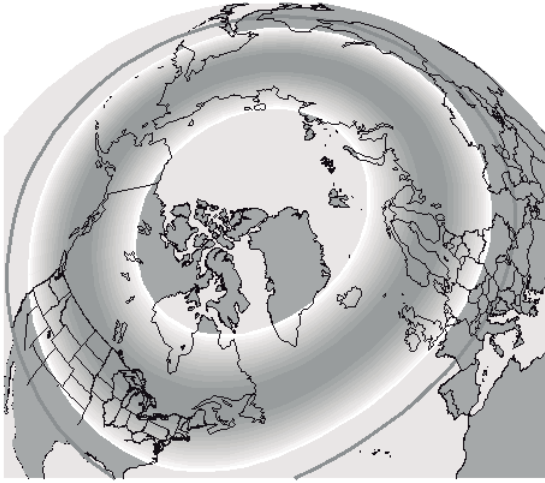
Kp=5: Actividad auroral alta



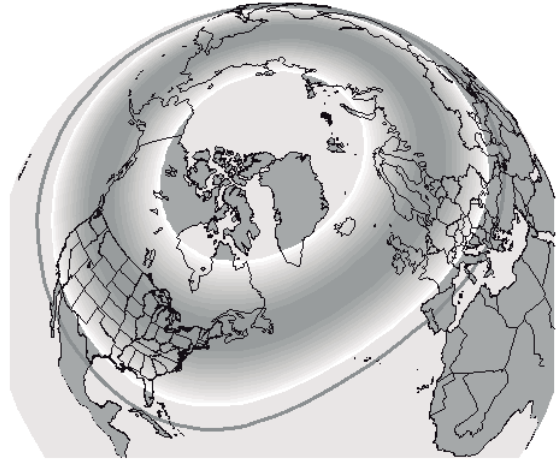
Kp=6: Actividad auroral alta+



Kp=7: Actividad auroral alta++



Kp=8: Actividad auroral alta+++



Kp=9: Actividad auroral máxima

Fig. 50 Gráfica compuesta de 10 imágenes mostrando los diferentes índices Kp y su respectivo óvalo auroral.

Fuente: Instituto de Geofísica, Universidad de Alaska en Fairbanks

II. PRONÓSTICO DE AURORAS

2.1 Los satélites “Solar and Heliospheric Observatory” (SOHO) y “Advanced Composition Explorer” (ACE) como fuentes de imágenes e indicadores del clima espacial.

Cuando el hombre lanzó su primer satélite artificial el 4 de octubre de 1957 por parte del programa ruso “Sputnik” como aportación para el año geofísico de esa fecha, empezó una gran carrera por una parte, en cuanto a las comunicaciones y la exploración tanto del espacio como de investigación en las partes altas de la atmósfera, la cual hasta entonces era desconocida ya que los investigadores sólo se limitaban al conocimiento de los primeros kilómetros por medio de globos sonda, por lo que en cuanto al comportamiento de las capas superiores era cuestión de especulación y deducción.

Cuando los Estados Unidos lanzaron el *Explorer 1* el 31 de enero de 1958 inició la era de la investigación geofísica de las partes más externas de nuestro planeta; de hecho, la principal aportación de este satélite fue el descubrimiento de la radiación que rodea a la Tierra, lo que actualmente conocemos como cinturones de radiación de Van Allen. Fue a partir de este primer satélite americano que se desencadenó una larga lista de satélites del programa *Explorer* que se dedicaron a la investigación de las condiciones del espacio próximo y de los diversos componentes que rodean a la Tierra (Muñiz, 1997). Una vez discontinuado este programa, los siguientes satélites fueron nombrados con siglas relacionadas con la actividad a la que estaban enfocados.

En 1995 fue lanzado desde Cabo Cañaveral en Florida el Observatorio Solar y Heliosférico *SOHO* (Solar and Heliospheric Observatory) con la misión de estudiar a profundidad el Sol y la actividad que de él deriva. A pesar del problema que tuvo en Tierra la NASA durante un período de 4 meses en el que después de 3 años de continuo servicio se perdiera todo tipo de comunicación y control sobre el satélite, este importantísimo proyecto ha sido de absoluto valor para la investigación de cada uno de los componentes cualitativos y cuantitativos del Sol las 24 horas al día.

Con un volumen aproximado de 43 m³ y una masa de 1850 kg, el SOHO posee diversos instrumentos que hasta la fecha siguen enviando a Tierra datos sobre las características del Sol y de los diversos tipos de energía que de él provienen; sin embargo, para fines prácticos solo se mencionarán tres de ellos:

- ✓ Telescopio Ultravioleta Extremo (Extreme ultraviolet Imaging Telescope, EIT). Provee imágenes del disco solar en cuatro colores dentro del rango ultravioleta.
- ✓ Coronógrafo de Gran Angulo y Espectrométrico (Large Angle and Spectrometric Coronagraph, LASCO). Estudia la atmósfera externa solar (corona), a partir del limbo hasta una distancia de 21 millón de kilómetros. Adicional a esto, se ha convertido en el principal buscador de cometas.
- ✓ Visor Dopler Michelson (Michelson Doppler Imager, MDI). Mide el movimiento vertical de la superficie del sol, al medir las ondas acústicas en su interior las que perturban la fotosfera.

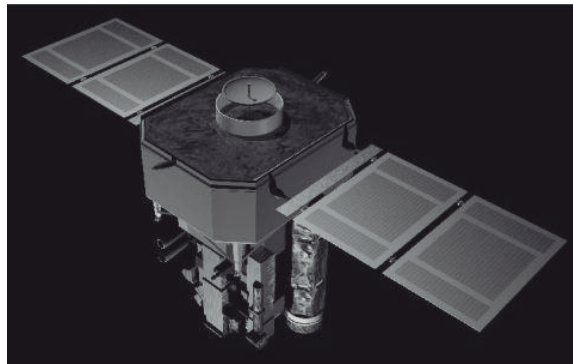


Fig. 51 Imagen del satélite SOHO.
Fuente: <http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

Años después del lanzamiento del SOHO, particularmente el 25 de agosto de 1997 fue lanzado el satélite Explorador de Composición Avanzado ACE (Advanced Composition Explorer), su objetivo primordial es medir y comparar diversos tipos de material espacial como la corona y el viento solares, partículas interestelares y materiales galácticos.

Conforme se desarrollaban mayores y mejores estudios sobre heliofísica, y a las variaciones que sufría el Sol en su actividad y las consecuencias que estas tenían sobre la Tierra, se le designó un nuevo reto al ACE, el pronosticar las condiciones de lo que ya se le conocía como *Tiempo Espacial*. Para ello, en un cuerpo de 1.6 m de ancho por 1 m de alto, con una masa de 785kg fueron instalados nueve instrumentos con diferentes tareas cada uno, pero solo dos nos serán útiles:

- ✓ Magnetómetro (Magnetometer instrument, MAG). Se encarga de la medición del campo magnético interplanetario (IMF), al igual que de su magnitud y dirección.
- ✓ Monitor de viento solar, electrones y protones (Solar Wind Electron, Proton, and Alpha Monitor, SWE/PAM). Registra y mide el rango de velocidad del flujo y dirección de iones y electrones del viento solar.

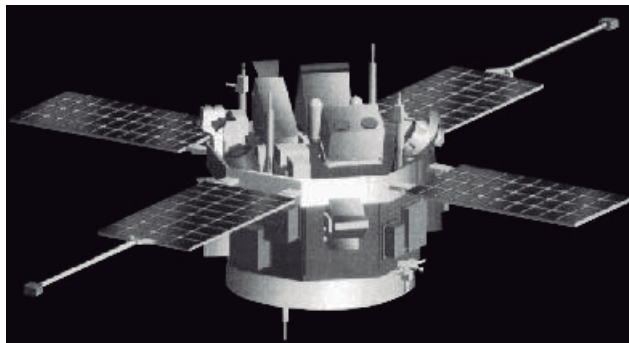


Fig. 52 Imagen del satélite ACE.
Fuente: <http://www.srl.caltech.edu/ACE/>

Para SOHO, del cual se usará el Visor Dopler Michelson (MDI) se puede acceder directamente desde la siguiente dirección:

http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/mdi_igr/1024/latest.html

En este vínculo se encuentran imágenes en tiempo real. Aquí existen imágenes con gran resolución que muestran los grupos de manchas presentes en el disco solar.

También se utilizarán imágenes del Telescopio Ultravioleta Extremo (EIT) para detectar posibles huecos coronarios, directamente de esta dirección:

http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/eit_284/1024/latest.html

Del mismo satélite se usará el Coronógrafo de Gran Angulo y Espectrométrico (LASCO C2 y C3) desde los siguientes vínculos:

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/c2/1024/latest.html>

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime/c3/1024/latest.html>

En el primero se pueden apreciar las eyecciones de masa coronaria mientras que en el segundo puede distinguirse la longitud de las mismas.

Por parte del ACE se usará el magnetómetro (MAG) localizado en el siguiente vínculo:

http://www.swpc.noaa.gov/ace/MAG_24h.html

Aquí se obtendrá la intensidad y dirección del campo magnético contenida en el viento solar.

Por otro lado, el Monitor de Viento Solar, Electrones y Protones (SWEPAM), con acceso en el siguiente vínculo:

http://www.swpc.noaa.gov/ace/SWEPAM_24h.html

Brindará información sobre la densidad y la velocidad del viento solar. O por otro lado, se puede acceder a la siguiente dirección donde se puede consultar ambos registros:

http://www.swpc.noaa.gov/ace/MAG_SWEPAM_24h.html

Por otra parte, para poder analizar la posición de la Tierra respecto a los sectores del IMF, se puede consultar el gráfico que realiza el Instituto de Geofísica de la Universidad de Alaska Fairbanks en el siguiente vínculo:

http://gse.gi.alaska.edu/recent/javascript_movie.html

2.2 Aplicación de los diferentes indicadores del clima espacial para pronóstico de Auroras.

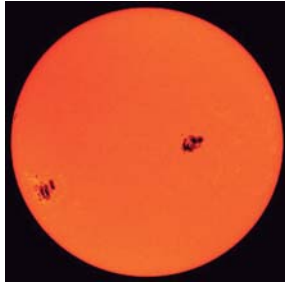
Una vez revisados los diferentes componentes e indicadores del clima espacial y conocido los instrumentos que pueden proporcionar las imágenes y lecturas en tiempo real de éstos con acceso a sus bases de datos sin ningún tipo de restricción, sería momento de realizar algunas aplicaciones prácticas que permitan comprender, primeramente, casos acontecidos con anterioridad con el fin de identificar los valores registrados con las condiciones que prevalecieron es ese momento, para posteriormente aventurarse a elaborar un pronóstico de las condiciones del clima espacial y del comportamiento de la magnetósfera ante tales circunstancias y así poder predecir la posible aparición de auroras y la intensidad de las mismas.

Caso: 29 y 30 de octubre del 2003.

Los días 29 y 30 de octubre del año 2003 fueron fechas extraordinarias para los observadores del cielo. Para ese momento la fase pico del ciclo solar número 23 había pasado ya, correspondiendo el mismo durante el año 2001; a pesar de que para el 2003 la fase de actividad del ciclo se encontraba en claro retroceso, la gran actividad magnética registrada en la Tierra a finales del mes de octubre del 2003, activó una de las auroras más brillantes y extensas recordadas, ya que mucha gente experimentó por primera vez este espectacular fenómeno desde Florida, Nuevo México, Texas y Arizona.

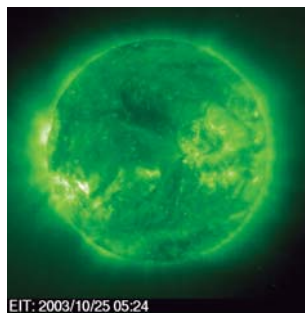
De inicio, a partir de la siguiente página se analizarán los días previos a las fechas mencionadas:

Octubre 25.



IMF: $B_{\text{Total}} = 12.2 \text{ nT}$
 $B_z = 9.7 \text{ nT}$ Norte
SW: Vel. max (00 hrs): 603 km/s
Vel. min. (23 hrs): 454 km/s
Vel. a 20 Rs: 325 km/s
Densidad max (01 hr): 24.6 protones/cm³

Fig. 53 Imagen del MDI



Nomenclatura:
IMF: Campo Magnético Interplanetario.
 B_{Total} : Intensidad Total del IMF.
 B_z : Intensidad y dirección del componente vertical.
SW: Viento solar.
nT: Nanotesla.
Rs: Radios solares.

Fig. 54 Imagen de EIT.

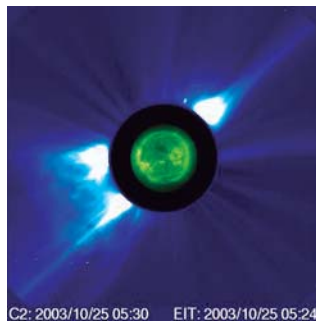


Fig. 55 Imagen de LASCO y EIT.

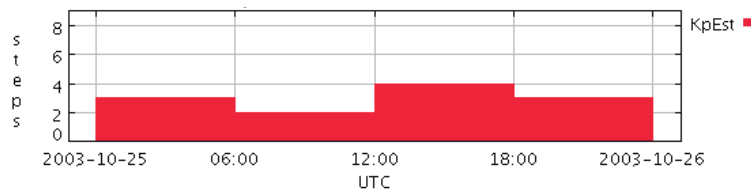


Fig. 56 Índice Kp promediado.

Sinopsis: En la figura 53 pueden apreciarse los dos enormes grupos o regiones de manchas, las cuales pudieron ser vistas sin ningún tipo de ayuda desde Tierra. La región izquierda con el número 486 y la de la derecha la 484; ambas con gran actividad potencial. En la siguiente imagen de EIT (figura 54) puede apreciarse el enorme hueco coronario del cual pudiera escapar gran cantidad de materia. Las eyecciones de masa coronaria o fulguraciones “normales” para el pico máximo del ciclo 23 se aprecian en la tercer imagen (figura 55) tomada por medio de la cámara 2 de LASCO. Para ese momento se espera, que ya sea por el enorme hueco en la corona pueda ser lanzado una enorme cantidad de material o por la región 484 (de cara a la Tierra) y posteriormente la aproximación de la región 486 permiten prever un posible y pronto incremento en la ya para entonces alta actividad solar. Tales ráfagas por venir pudieran alcanzar rápidamente el campo magnético terrestre puesto que a este momento la velocidad del viento solar se encuentra por encima del promedio. El índice Kp promediado entre los trece principales observatorios a lo largo del planeta reporta un rango entre 2 y 4 (de tranquilo a activo) lo cual representa las condiciones normales para esta etapa del ciclo (figura 56).

Octubre 26.

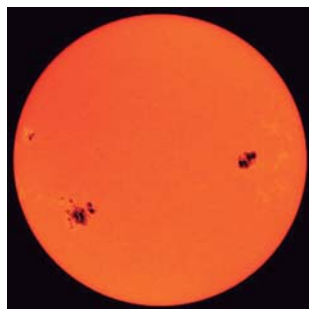


Fig. 57 Imagen de MDI.

IMF: $B_{Total} = 12.3 \text{ nT}$

$B_z = 1.7 \text{ nT Sur}$

SW: Vel. max (18 hrs): 1561 km/s

Vel. min (06 hrs): 384 km/s

Vel. a 20 Rs (06:54 hrs): 1249 km/s

Vel. a 20 Rs (18:25 hrs): 1561 km/s

Densidad max (20 hrs): 5 protones/cm³

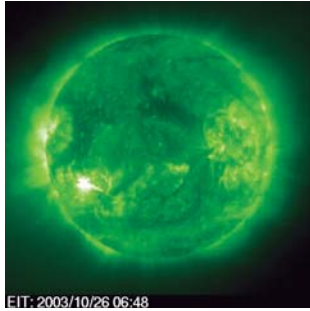


Fig. 58 Imagen de EIT.

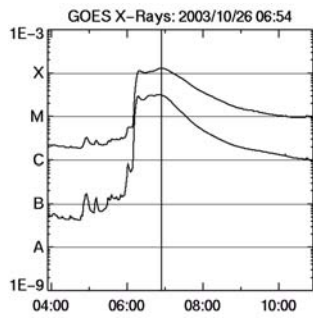


Fig. 59 Gráfica del satélite GOES que indica la escala de la fulguración.

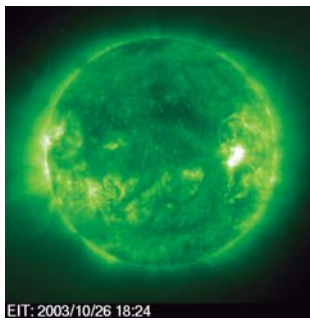


Fig. 60 Imagen de EIT.

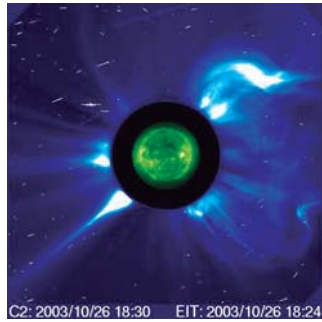


Fig. 61 Imagen de LASCO y EIT

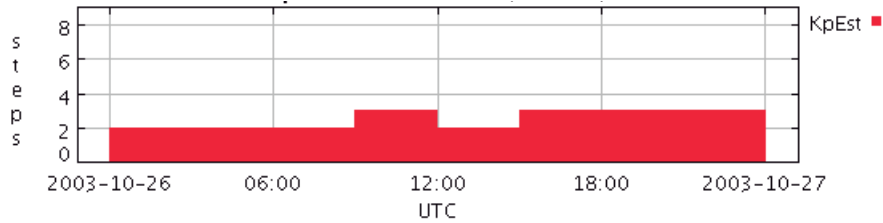


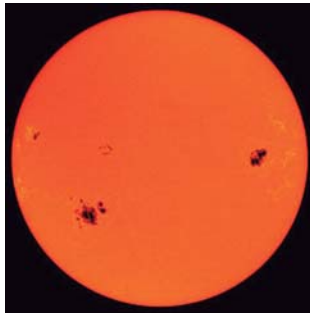
Fig. 62 Índice Kp promediado.

Sinopsis: Comienza a apreciarse las dimensiones de la región 486 en camino hacia la cara de la Tierra, mientras, al NO de la misma, cerca del limbo la región 487 se nota ya; como referencia, el área de la R484 corresponde al tamaño de Júpiter (figura 57). Para las 06:50 MG (Meridiano de Greenwich) la R486 había despedido una ráfaga clase X (figura 58) y doce horas después, a las 18:15 MG la R484 había hecho lo mismo con una ráfaga de la misma intensidad. En la imagen de EIT (figura 60) se sigue apreciando el hueco coronario de unos 10 000 000 de km² aprox. y puede notarse el momento justo cuando la R486 está emitiendo la fulguración ya mencionada. La gráfica que le precede (figura 59) la registró uno de los satélites GOES y muestra claramente minutos antes de las 7 horas la categoría X alcanzada paralelamente con otra de menor intensidad, la cual es relativamente común para esta altura del ciclo. A través de la segunda imagen de EIT (figura 60) se aprecia la segunda eyección hacia el este del disco originada por la región activa 484 mientras que en la R486 ha disminuido su actividad. La imagen compuesta por la cámara 2 de LASCO y EIT captadas minutos después de la emanación muestra el avance de la materia expulsada (figura 61).

La intensidad del IMF no ha sufrido gran variación respecto al día anterior, no obstante la intensidad del componente B_z ha disminuido pero sobre todo ahora se mantiene con tendencia hacia el sur lo cual hace suponer que debido al gran aumento en la velocidad del viento solar que lo transporta, a partir de las 6 horas que registró su menor lectura en velocidad de 384 km/s para que a las 18:25 a una distancia de 20 radios solares registrara 1249 km/s, para el día 28, cuando se encuentre con la magnetósfera terrestre, se pueda registrar una variación significativa en las lecturas

de los magnetógrafos terrestres como efecto de una posible tormenta geomagnética. Por otro lado, se espera que la segunda oleada barra el campo magnético terrestre durante la mañana del mismo día. El índice Kp se ha mantenido bajo (figura 62), con un valor máximo de 3 (de tranquilo a intranquilo) para el final de día, el cuál se espera alcance valores mayores conforme se vaya acercando las oleadas anteriores.

Octubre 27



IMF: $B_{\text{Total}} = 9.9 \text{ nT}$ (22.47 UTM)

$B_z = 4.2 \text{ nT}$ Nte

SW: Vel. max (09 hrs): 1371 km/s

Vel. min (21 hrs): 453 km/s

Vel. a 20 Rs (09 hrs): 1371 km/s

Fig. 63 Imagen de MDI.

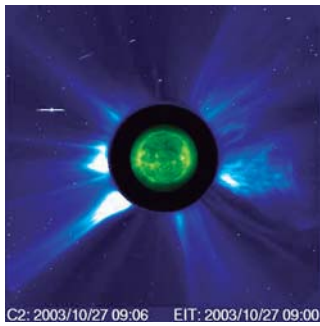


Fig. 64 Imagen de LASCO y EIT.

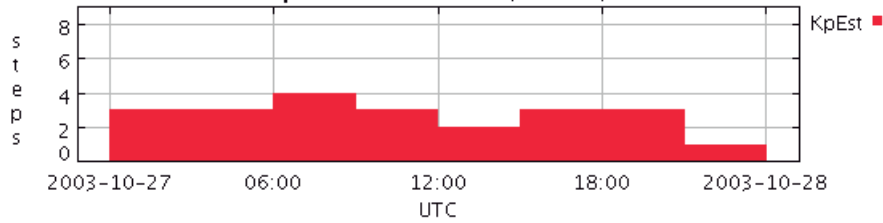


Fig. 65 Índice Kp promediado.

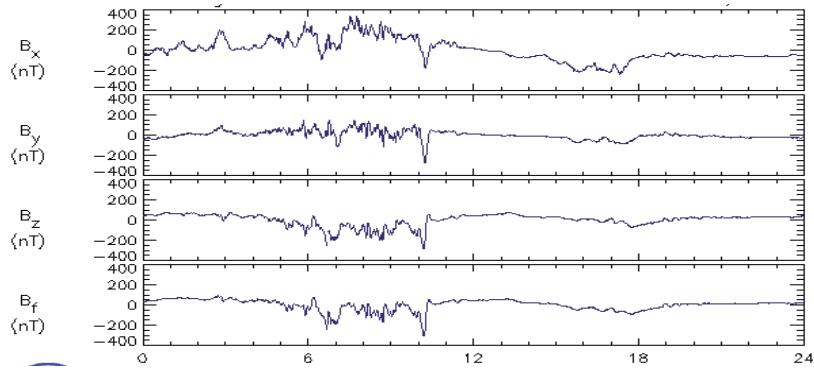
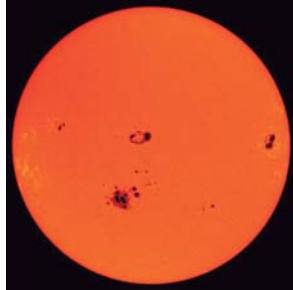


Fig. 66 Magnetómetro de la Universidad de Alaska en Fairbanks.

Sinopsis: Las dos eyecciones coronarias han estado bañando el espacio con material expulsado por las dos grandes regiones de manchas, y se encuentra en camino hacia la Tierra, es posible que tal cantidad de material se encuentre con la magnetósfera terrestre para el día 28; mientras tanto, al norte de la R486 se aprecia un nuevo grupo de manchas poco más al norte del ecuador (figura 63). El índice Kp se ha mantenido con rangos variables entre lo *muy tranquilo* y lo *activo* (figura 65). El magnetómetro del Instituto de Geofísica de la Universidad de Alaska en Fairbanks registró una sub tormenta de pronta recuperación alrededor de las 9:30, la cual alcanzó su recuperación una hora después (antecedida de tres horas de disturbios menores), para mantenerse con poca variación durante el resto del día (figura 66); tal estabilidad coincide con la gráfica Kp que descendió al valor 1 correspondiente a una actividad geomagnética “muy tranquila”.

Octubre 28



IMF: $B_{\text{Total}} = 8.9$ (22:57 UTM)

$B_z = 1.7$ nT Sur

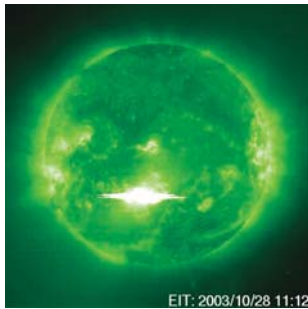
SW: Vel. max (11 hrs): 733 km/s

Vel. min (00 hrs): 475 km/s

Vel. a 20 Rs (11:30 UTM): 2268 km/s

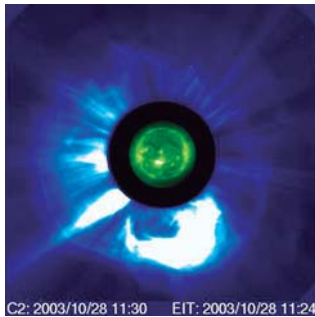
Densidad max (22:56 hrs): 48.7 protones/cm³

Fig. 67 Imagen de MDI.



EIT: 2003/10/28 11:12

Fig. 68 Imagen de EIT.



C2: 2003/10/28 11:30 EIT: 2003/10/28 11:24

Fig. 69 Imagen de LASCO y EIT.

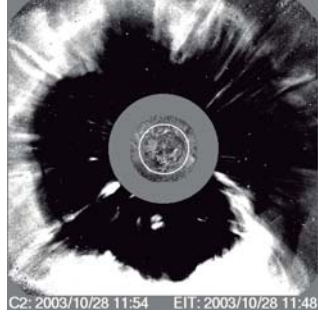


Fig. 70 Imagen de LASCO.

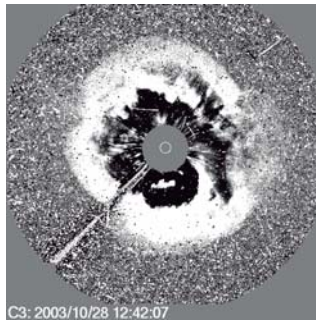


Fig. 71 Gran angular de LASCO.

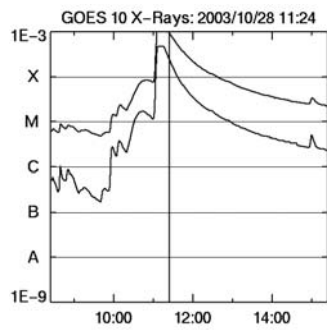


Fig. 72 Gráfica del satélite GOES.

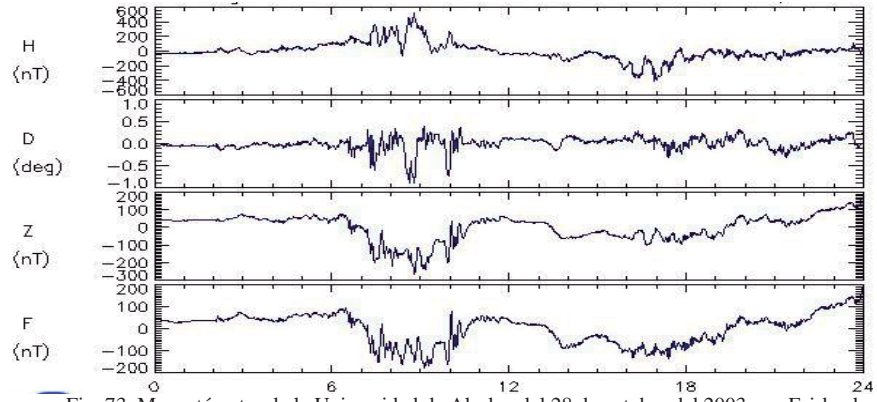


Fig. 73 Magnetómetro de la Universidad de Alaska, del 28 de octubre del 2003, en Fairbanks.

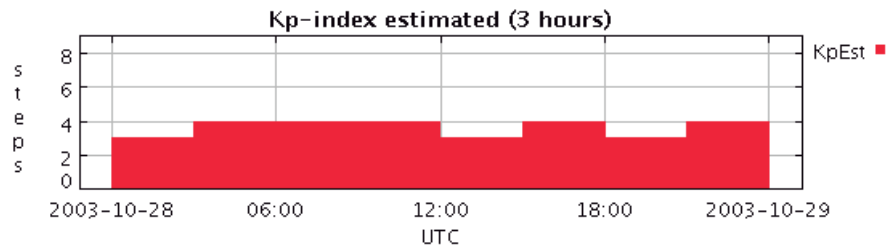


Fig. 74 Índice Kp promediado.

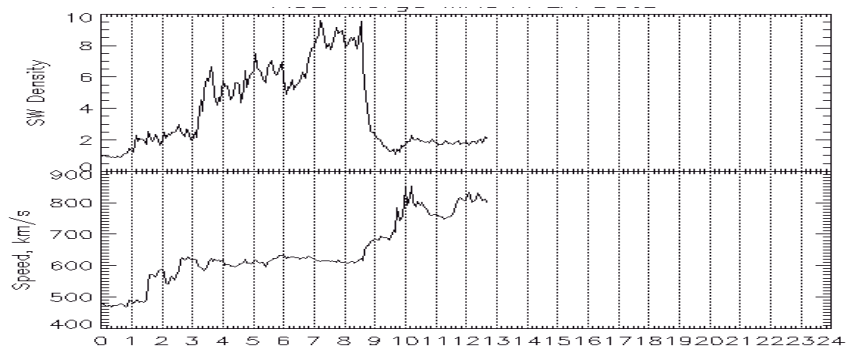


Fig. 75 Gráfico elaborado por ACE.

Sinopsis: Después de casi veinte horas de relativa estabilidad, hoy poco después de las 06 hrs MG la magnetósfera terrestre ha sido alcanzada por las oleadas emitidas dos días antes. En la lectura del magnetómetro de Fairbanks (figura 73) se registra una tormenta con una duración cercana a las cinco horas; sin embargo, su intensidad según el índice Kp registra un valor máximo de 4 (figura 74), aunque casi constante durante el transcurso del día lo cual representa que el campo geomagnético se mantiene activo, lo que beneficia la aparición de auroras con una intensidad similar al día de ayer, visibles verticalmente desde el norte hasta el sur de Alaska, del centro hasta la frontera sur de Canadá, norte de Escandinavia y de Siberia. También podrá ser vista desde el horizonte en la región de los Grandes Lagos y norte de Estados Unidos.

Por otra parte, la nueva región de manchas solares que el día de ayer apareció hoy muestra una forma de anillo más definida (figura 67) con actividad considerable según imagen tomada por la cámara de EIT. Y una vez más, la R486 poco después de las 11 hrs ha lanzado una fulguración de gran dimensión, la cual puede ser apreciada desde arriba en la imagen de EIT de las 11:12 hrs (figura 68). La velocidad captada de esta explosión a una distancia de 20 radios solares por LASCO muestra un registro de 2268 km/s, por lo que se espera que esta gran ráfaga de gran velocidad alcance y barra la magnetósfera terrestre alrededor de las 06 hrs MG del día de mañana, por lo que la región norte de Europa, aún de noche para esa hora, puedan ser testigos de una gran actividad auroral poco vista, al igual que el norte de América horas después. La cámara 2 de LASCO para las 11:30 hrs (figura 69) muestra la emanación hacia el sur del disco solar; mientras que para las 11:54 hrs puede ser apreciada la gran oleada de material solar expandiéndose por el espacio en todas direcciones (figura 70). Con la lente 3 de LASCO se aprecia la misma con un ángulo mayor de cobertura en el momento justo que es saturado por los efectos de tal explosión (figura 71). GOES 10 registra una intensidad en rayos X muy por encima del límite máximo considerado para estas emanaciones (figura 72), según la NASA la dimensión de esta fulguración llegó a tener una dimensión de X17 en la escala Richter de fulguraciones solares. La densidad del viento solar de casi 50 protones por cm^3 (casi 10 veces más de contenido normal) hace suponer que existirán un mayor número de colisiones con los átomos de la atmósfera terrestre superior lo que brindará mayor dinamismo en las luces boreales.

Poco antes de las 13 horas ACE fue incapaz de continuar registrando sus lecturas debido a la saturación que sufrió por la densidad de partículas cargadas y la velocidad de dicha ráfaga (figura 75).

Octubre 29

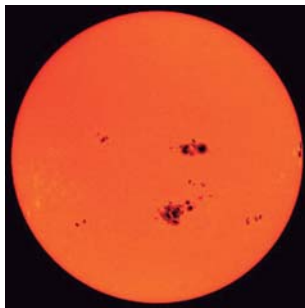


Fig. 76 Imagen de MDI.

IMF: $B_{\text{Total}} = 23.1$ (22:47 UTM)
 $B_z = 20.3$ nT Sur

SW: Vel. max (20:54 hrs): 2029 km/s

Vel. min (14 hrs): 530 km/s

Vel. a 20 Rs (20:54 UTM): 1519 km/s

Densidad max (21:28 hrs): --- protones/ cm^3

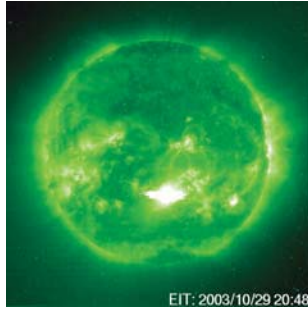


Fig. 77 Imagen de EIT.

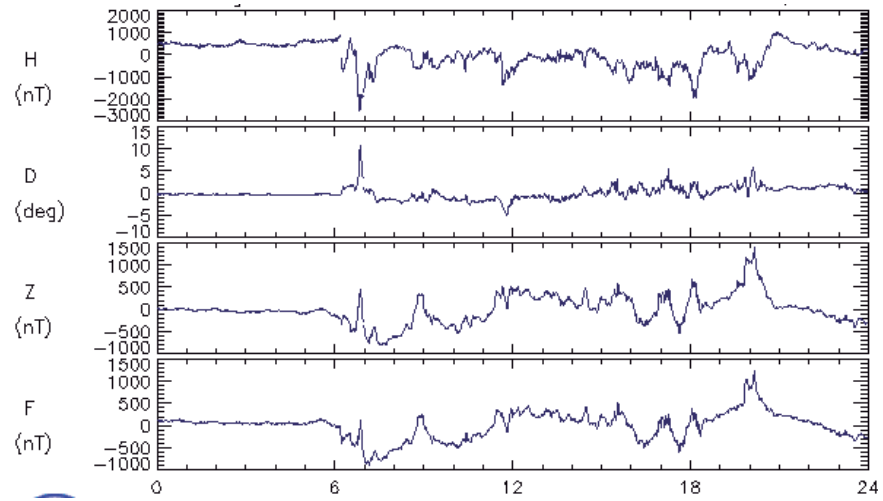


Fig. 78 Magnetómetro de la Universidad de Alaska para el 29 de octubre en Fairbanks.

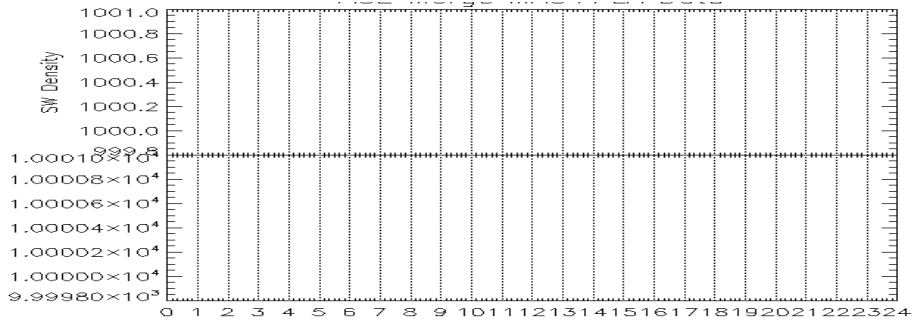


Fig. 79 Gráfica de densidad de partículas contenida en el viento solar registrada por ACE.

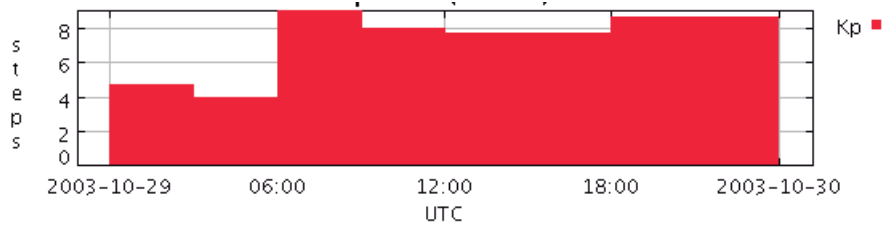


Fig. 80 Índice Kp promediado.

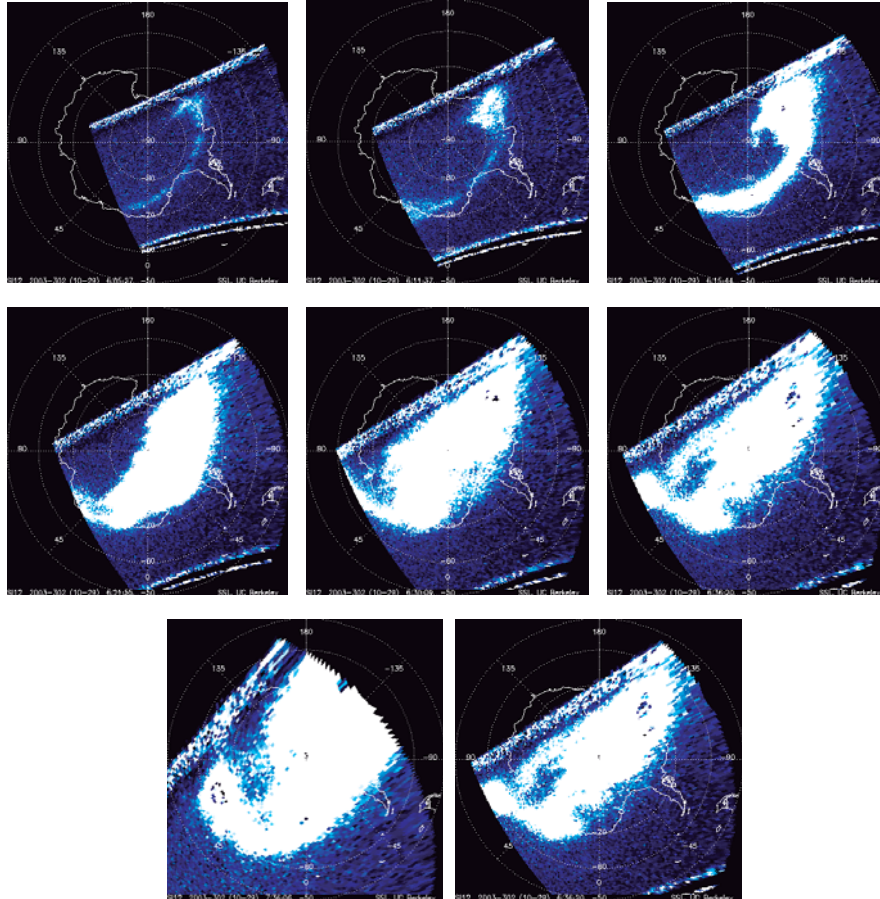


Fig. 81 Secuencia fotográfica tomada por el satélite estadounidense IMAGE; para el momento que captó esta serie de fotos se encontraba posicionado sobre la antártica. A las imágenes se le han agregado los límites continentales y la retícula geográfica a fin de considerar la magnitud del desarrollo de la actividad auroral.

Síntesis: Una gran tormenta geomagnética se encuentra en proceso durante el día, ya que como se anticipó el día anterior, la magnetósfera terrestre fue alcanzada y barrida hoy cerca de las 06:30 Meridiano de Greenwich lo que activó una tormenta de dimensiones poco vistas. En el magnetómetro de la Universidad de Alaska (figura 78) puede apreciarse la caída de los registros poco después de las 06 hrs; sin embargo, la principal fase de la tormenta se registra minutos antes de las 07 hrs. Algo curioso ha sucedido con las lecturas de ACE (figura 79) que debido a la gran velocidad y densidad de partículas contenidas en el viento solar, ha sido incapaz de registrar dato

alguno debido a la gran saturación en la que se vio envuelto; por ello la gráfica que ha emitido luce tal como se aprecia en la parte inferior. La gráfica que representa el índice Kp promediado muestra el altísimo nivel de actividad alcanzado en la magnetósfera terrestre a partir de las 06 y durante el resto de día (figura 80). La tormenta principal ha sido seguida de otras sub tormentas a lo largo del día lo cual ha permitido que el óvalo auroral avance ampliamente hacia latitudes bajas, favoreciendo con ello que en la cara nocturna de la Tierra puedan ser visibles grandes destellos de auroras durante los días 29 y 30, ya que la dirección del campo magnético solar conserva una dirección hacia el sur de la eclíptica.

Para las 06:30 MG que fue afectada la magnetósfera de la Tierra y que activó esta gran tormenta, era cerca de la medianoche del día 28 en América por lo que se pudo apreciar gran actividad auroral en estados tan al sur de los Estados Unidos como lo son Texas, Arizona y California.

Al final puede apreciarse una secuencia cronológica de fotografías captadas por el satélite estadounidense IMAGE (figura 81) que muestra la respuesta de la magnetósfera terrestre ante la llegada de la oleada y de la excitación sufrida como consecuencia de las partículas contenidas en ella. Por si fuera poco, cerca de las 20:45 hrs la poderosa R486 ha vuelto a emitir otra gran llamarada, esta vez categoría X11 la cual puede apreciarse en la imagen captada por EIT (figura 77); por lo que se espera que sus consecuencias entorno a la actividad auroral sean similares durante el transcurso del día 30.

Octubre 30

Sinopsis: Durante las primeras horas de este 30 de octubre la magnetósfera terrestre se encuentra en fase de recuperación por la tormenta que azotó la Tierra durante la tarde de ayer. En el magnetómetro instalado en el Instituto de Geofísica de la Universidad de Alaska, Fairbanks (figura 82) se muestra que después de las 02 hrs se inicia la fase de recuperación del campo magnético terrestre, para que a partir de las 04:30 las condiciones del mismo se mantengan estables. El índice Kp (figura 83) indica un pronunciado descenso de intensidad para situarse cerca de valor 4; con lo que oficialmente da por concluida la fase de tormenta que se ha analizado los días anteriores para continuar solo como fase activa.

Sin embargo, poco después de las 14:30 hrs una nueva barrida ha sufrido la magnetósfera y activado una tormenta más como consecuencia de la última emisión solar registrada a las 20:45 del día 29, el satélite F15 de la fuerza aérea estadounidense ha tomado dos fotografías con las que se aprecia claramente cómo la aurora generada por esta última tormenta cruza la región de Los Grandes Lagos en Estados Unidos (figura 84) y en la otra toma puede notarse que Inglaterra, sur de la península escandinava y prácticamente toda Europa se encuentran cubiertos por dicha aurora (figura 85).

Al final se muestran imágenes fotográficas ocasionales de auroras captadas por habitantes de las regiones donde fueron apreciadas; puede constatarse el hecho de que tal actividad auroral fue apreciada en regiones tan al sur del hemisferio norte que pudo ser vista en California y Texas (figura 86).

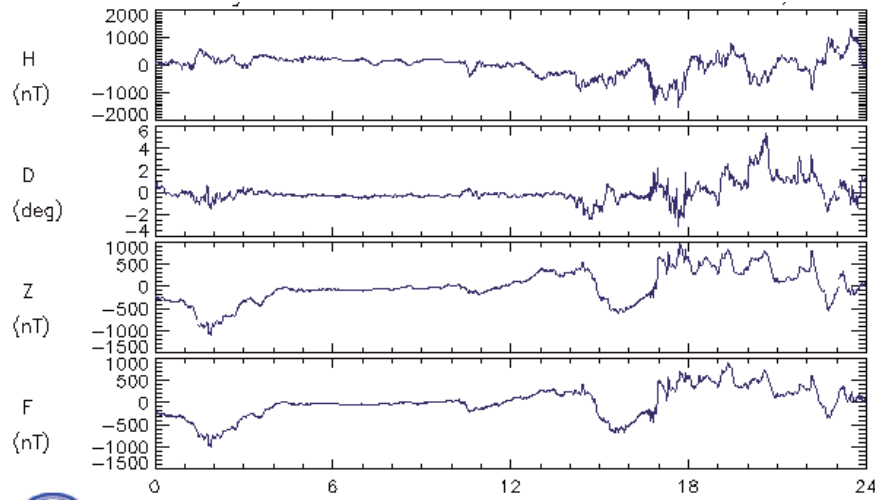


Fig. 82 Magnetómetro de la Universidad de Alaska en Fairbanks del 30 de octubre.

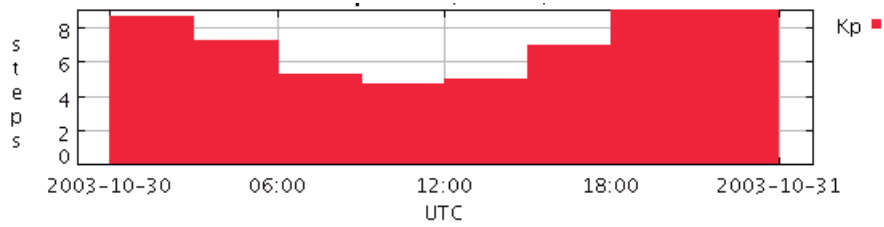


Fig. 83 Índice Kp promediado.

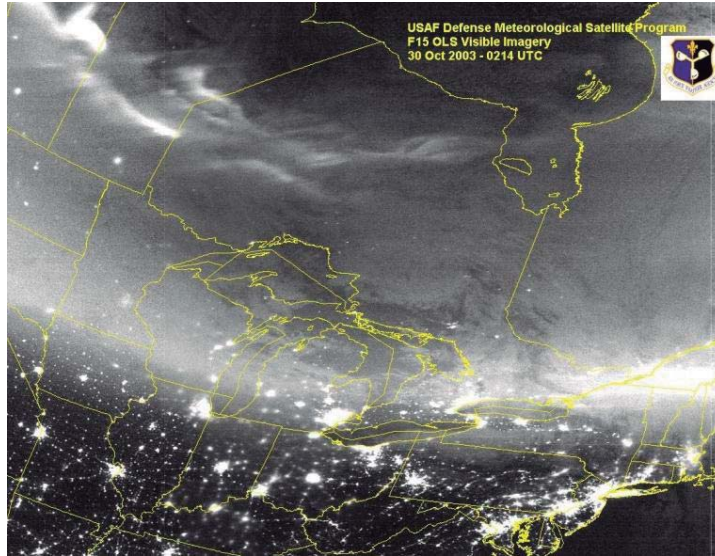


Fig. 84 Imagen visible del satélite F15 con la aurora directamente por encima de la región de los Grandes Lagos.

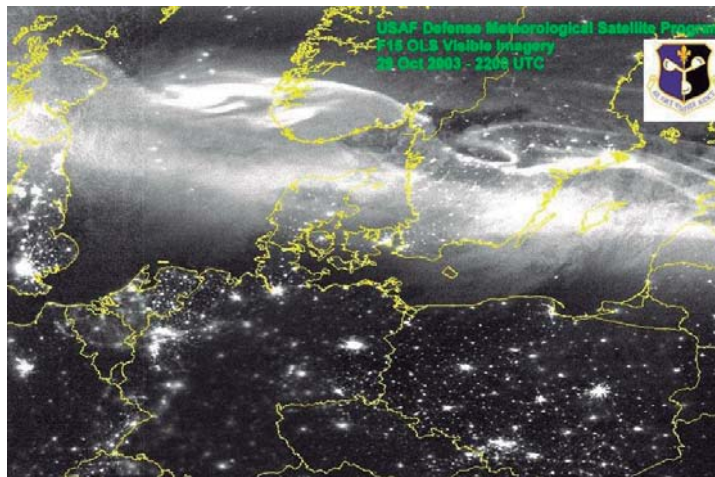


Fig. 85 Imagen visible del satélite F15 con la aurora atravesando Inglaterra, sur de Escandinavia y Europa.



Mark Cunningham.
Craig, Colorado. USA
Oct. 29, 2003



Christie Ponder.
Houston, Texas. USA
Oct. 29, 2003



Joe Eiers.
Sacramento, California. USA
Oct. 29, 2003

Fig. 86 Compilación de fotografías tomadas por aficionados en lugares del sur estadounidense.

III. LAS AURORAS COMO ATRACTIVO TURÍSTICO ALTERNO A LOS DESTINOS CONVENCIONALES.

Este apartado pretende vincular al fenómeno geofísico de la aurora polar con una actividad social y económica que repercute en las regiones de la Tierra donde se aprecia este evento y que tiene que ver con la recreación, el descanso y la interacción del hombre con el entorno de esos lugares: el *turismo alternativo*. Para tal efecto, se ha analizado al turismo desde sus inicios, las características de sus variantes y el impacto financiero que representa para algunos destinos.

3.1 La geografía en el turismo: origen, características e importancia.

En la prehistoria, desde que el ser humano tuvo la necesidad de salir a buscar metales, tejidos, y algunos alimentos para satisfacer sus necesidades más básicas, trajo consigo el surgimiento de una nueva actividad que revolucionaría la evolución de todas y cada una de las civilizaciones del período neolítico comprendido entre los años 7000 y 3000 a.C., el comercio, el cual se volvió cada vez más popular y necesario, que a su vez, demandaba la necesidad de viajar de un asentamiento a otro.

Para el año 3000 a.C. existía ya una clara división de clases sociales: los esclavos, artesanos y mercaderes, y los sacerdotes quienes gobernaban las ciudades. El hecho de que en esas fechas marcaran la existencia de esclavos, significaba, como consecuencia que había otra clase que no tenía necesidad de trabajar y gozaba por tanto de tiempo libre que podía dedicar para el ocio y para viajar. Los desplazamientos más comunes para entonces eran visitar sus propiedades distantes o para fines religiosos; debido a que no existían los hostales ni restaurantes, cada viajero dormía al aire libre y portaba sus propios alimentos. Posteriormente, los persas, responsables de la creación de carreteras, fueron también los primeros en la instalación de hoteles al pie de los caminos.

Otro ejemplo de viajes de placer se presenta para el año 776 a. C. cuando se celebraron los primeros Juegos Olímpicos de Grecia lo que motivó un gran desplazamiento de visitantes de tierras lejanas que viajaron por el placer de tomar parte o de presenciar la justa olímpica, y a partir de entonces, particularmente en el siglo V a. C. el Partenón griego se ha convertido en uno de los sitios más visitados hasta nuestros días.

Para los años 350 a. C. el pueblo romano fue el primero en practicar lo que hasta hoy se le conoce como *turismo* ya que generalmente los nobles realizaban viajes por placer que requerían al menos de una noche de pernoctación. Entre sus viajes están los que realizaban a través del Mediterráneo, la visita a las pirámides y monumentos de Egipto, los juegos olímpicos y para adquirir artículos de placer y ocio en los mercados de Asia menor; muchas de las veces contrataban los servicios de guías locales que les ayudaban con el idioma y la explicación de los sitios atractivos, así como de las costumbres de las culturas visitadas. A los romanos también les inquietaba la idea de pasar unos días de tranquilidad y relajamiento alejados de las ciudades por lo que decidían trasladarse a las costas y hacia lugares con aguas termales las que conocían como medicinales, esto requería que los viajeros se desviaran de los caminos más transitables con lo que el viaje se tornaba un poco más incómodo de lo ordinario pero que preferían realizar para satisfacer sus necesidades de relajamiento. Con esto se hacen notar los primeros viajes de la historia hacia la interacción con la naturaleza; por lo tanto, se podría decir que los viajes de placer en busca de la interacción con la naturaleza han existido desde tiempos ancestrales; sin embargo, es en el siglo XX cuando el turismo de aventura, de exploración y de interacción con el entorno natural revoluciona y obtiene cierta independencia del turismo convencional.

Según Hall y Page (1999) en Barrado y Calabuig (2001) existe una vinculación entre la geografía y el turismo y está dada por el *análisis espacial*, cuyo objetivo sería el de analizar los factores de localización, la morfología y estructura espacial, los sistemas y redes de flujos con sus respectivos mapas. Considerando el fenómeno transformador que el turismo ocasiona sobre el territorio donde se aplica es cuando se hablaría *del turismo geográfico* o *geografía del turismo* ya que desde el punto de vista geográfico es

importante conocer las transformaciones económicas y territoriales dados por esta actividad. La magnitud de su impacto estaría dada por el nivel de desarrollo de las comunicadas receptoras, del volumen del gasto turístico, del número de visitantes, de la escala espacial, etc.

Los desplazamientos que efectúan los turistas de un lugar a otro, o sea, entre los destinos y las poblaciones de origen son definidos básicamente como *flujos turísticos*. Entre los factores que definen las características de los flujos se encuentran por una parte, las áreas emisoras y las receptoras, ya que por parte de las emisoras depende básicamente de que el turista goce de un buen nivel económico mientras que por parte de las receptoras depende esencialmente de su atractivo y de la accesibilidad (Viñals Blasco, citado en Barrado y Calabuig, 2001).

Básicamente, los flujos pueden ser identificados como flujos internacionales y flujos nacionales, incluso se habla también de los flujos en sentido geográfico, relativo al lugar de procedencia de los turistas (flujo sur americano, etc.) y hacia el destino (flujo hacia el Mediterráneo, etc.). En cualquier forma todos los desplazamiento anteriores están sujetos, según su intensidad, en flujos principales y flujos secundarios, que a su vez se encuentran sujetos a distintas variables como la conectividad, lazos culturales y la distancia, ya que en esta última existe una relación proporcional inversa a con el volumen del flujo; o sea, a una mayor distancia, existe un menor volumen de desplazamiento).

Para analizar los flujos turísticos sería necesario separarlos en aspectos cuantitativos y en cualitativos (Viñals Blasco, 2001); en el primer orden se puede considerar el volumen de turistas hacia un destino específico que brinda una idea de la intensidad de tráfico. Características del turista, que brinda una idea del rango de edad, sexo, perfil socio económico, etc. Otro aspecto muy importante es el que tiene que ver con el impacto económico en la zona de destino ya que considera el monto que ingresa en esos lugares por medio de los gastos realizados por los visitantes; en el caso de México, el turismo consume el 50% de la producción artesanal ((Mesplier y Bloc-Duraffour, 2000).

En cuanto a los aspectos cualitativos, se pueden destacar las características socioeconómicas de los turistas, y lo divide, por un lado, en turismo de *élite* el cual está en condiciones de pagar altos precios en lugares poco comunes o muy exclusivos. El turismo de *masas* que involucra a la gran mayoría de turistas por tratarse de destinos de fácil acceso o precios relativamente económicos y por último, el turismo *social* el cual le brinda a trabajadores asalariados la oportunidad de viajar con su familia ya sea a precios muy bajos o de manera gratuita por medio de prestaciones que las empresas le brindan a sus empleados. En este renglón podría entrar el turismo escolar que adicional al objetivo cultural o de aprendizaje no deja a un lado lo recreativo.

Además de las características cualitativas y cuantitativas de los flujos, éstos están sujetos a las condiciones que dicta la infraestructura turística; dicho de otro modo, habría que resaltar el papel primordial que representa el transporte y la industria hotelera. Para el siglo XIX la internacionalización del turismo ha traído consigo la instalación de grandes redes ferroviarias y apertura de línea marítimas transoceánicas. A partir de 1960 el transporte terrestre y aéreo permitió el desarrollo del turismo de masas (Mesplier y Bloc-Duraffour, 2000).

Paralelo al transporte también la hotelería se empezó a desarrollar a finales del siglo XIX, primeramente para acoger a una clientela con un alto poder adquisitivo y posteriormente, después de la segunda guerra mundial, el desarrollo del turismo de masas contribuyó a la aparición de los hostales, hoteles y moteles en todos los ámbitos turísticos, algunos antes que otros pero todos de manera progresiva (Mesplier y Bloc-Duraffour, 2000).

Barrado y Calabuig (2001) señalan básicamente tres tipos de turismo:

- ✓ *Turismo litoral*: Relaciona la playa, el mar y el buen clima con el descanso y el recreo. Un litoral para ser turístico debe cumplir con condiciones dadas por las accesibilidad, características físicas del entorno además de cumplir con las normas de uso del suelo demás normas políticas y socioculturales. Generalmente están localizados entre los 20° y 40° norte y sur, y representa una opción relativamente accesible y económica para la mayoría de los turistas, convirtiéndose así en el turismo litoral como uno de los que mayor demanda poseen.

- ✓ *Turismo urbano*: Los elementos que convierten en atractivas a las ciudades son las funciones especializadas que poseen y los servicios que ofrecen.; por lo que una ciudad con una infraestructura amplia en museos, monumentos, teatros, clubes nocturnos, tiendas comerciales, etc., aunado a una vasta red de comunicaciones convierte a una ciudad en un núcleo de atracción turística.
- ✓ *Turismo rural*: George Cazes (citado por Such y García) en Barrado y Calabuig, 2001, menciona que el turista al rechazar la pasividad, la masificación y el consumismo puro tiende a buscar destinos no explotados o inalterados por el turismo de masas, por lo que prefiere un contacto más directo sobre el medio receptor, dependiendo para su alojamiento de la infraestructura elemental del lugar, al margen de las grandes cadenas hoteleras. Por esto, Cazes señala que el turismo rural se encuentra dentro del *turismo alternativo*. De esta manera el turismo rural busca el aprovechamiento de los recursos naturales para el descubrimiento y el gozo del paisaje, de artesanías, gastronomía y costumbres del ámbito rural.

Mieczkowski (citado en Wearing y Neil, 2000) también incluye al turismo rural dentro del turismo alternativo, y que junto al cultural, educativo, científico y de aventura es conocido como *ecoturismo*, y lo manifiesta en el siguiente esquema:

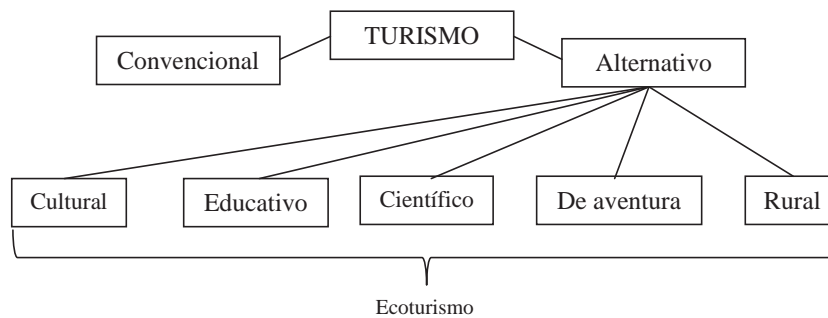


Fig. 87. El turismo alternativo según Mieczkowski.

El término alternativo tiene como significado “opuesto”, y el turismo alternativo o ecoturismo se encuentra contrario al turismo convencional y de masas, se caracteriza por poseer flujos de baja densidad, por tener flujos dispersos entre si y dirigidos hacia zonas no urbanas. Está dirigido principalmente para personas o grupos con intereses especiales

y con un nivel cultural y económico por encima de la media (Wearing y Neil, 2000).

Algunas de sus características son las siguientes:

- ✓ El desplazamiento es hacia regiones naturales relativamente inexploradas, aunque también podría coadyuvar a la recuperación de zonas dañadas por las actividades industriales o comerciales; como ejemplo se podría hablar de la reforestación de bosques, la limpieza de playas, o en programas para la conservación de especies como aves o tortugas.
- ✓ Está íntimamente ligado a la naturaleza y por ello buscaría fines científicos o de estudio, o simplemente para disfrutar de los accidentes geológicos y fenómenos naturales.
- ✓ Está orientado a la conservación ya que produce un impacto mínimo en el entorno físico, social y cultural de la región.
- ✓ El ecoturista busca casi siempre adquirir nuevos o mayores conocimientos ya que tiende a apreciar, analizar, e interpretar sus conceptos, su significado y la interacción de fenómenos naturales con los ecosistemas.

Por otro lado, cabe señalar que el hecho de practicar el ecoturismo representa gastar casi con seguridad más de lo que se pueda gastar en algún sitio convencional o mayormente popular, muy a pesar de que éste último posea mayor accesibilidad y confort. Lo anterior pudiera estar basado en lo siguiente:

- ✓ Mientras para un destino popular existen diversas opciones de transporte, hay también mayor número de itinerarios para poder viajar; a diferencia de los destinos poco frecuentados los cuales generalmente se localizan distantes de las ciudades con estaciones o aeropuertos, lo cual encarece el costo de traslado.
- ✓ Mientras que en un destino popular existen diversas opciones de alojamiento con categorías que van de una estrella hasta gran turismo, los destinos alternos si bien cuentan con hostales que a pesar de contar con una infraestructura bastante básica, poseen tarifas similares en promedio a las de un hotel de tres estrellas o de mayor categoría; por otro lado, en caso de no contar con alguna opción de hospedaje, obligaría a los visitantes a trasladarse cada una de las noches hacia la

población más cercana lo que representa cubrir la tarifa de hospedaje más los gastos que genera ese traslado.

Cabe señalar también, la diferencia existente entre los visitantes que acuden a un destino turístico convencional y los que acuden a lugares alejados del bullicio buscando estar rodeados de fenómenos y ambiente naturales, lo cual refleja de cierto modo, una capacidad económica mayor de estos últimos sobre los primeros, como ejemplo, bastaría citar lo siguiente:

✓ En la mayoría de los casos, la gente que acude a los entornos naturales son en su mayoría personas especializadas sobre un tema en particular que desean analizar, interactuar o simplemente contemplar; mientras que para poder visitar cualquier otro destino no se requiere de más conocimiento que el interés que se tenga por el mismo.

✓ Para poder interactuar con el entorno, en muchos de los casos son necesarios equipos que van desde simples hasta sofisticados, como ejemplo estarían los botes de remo o con motor, vestimenta especial ya sea para lugares fangosos, húmedos, áridos, fríos, etc.; en contraste con los destinos convencionales que en algunos casos sólo podrían requerir de un traje de baño adicional a la vestimenta cotidiana.

✓ Para los ecoturistas, dado el interés particular por el lugar que desean visitar, muchas veces es necesario el empleo de equipo fotográfico o de video de una calidad media o superior con sus respectivos complementos, a fin de captar escenas específicas o tomas que requieren de mayor precisión; contrario a las fotografías que se toman en casi todos los destinos turísticos que sólo requieren de algún tipo de cámara comercial de mediano precio.

Con lo descrito antes, y como se comentó previamente, podemos encontrar que el turismo alterno o ecoturismo está dirigido en su gran mayoría hacia un grupo de personas con cierto nivel cultural y una capacidad económica de nivel medio hacia alto que

prefiere pagar más dinero por menos confort pero que, al mismo tiempo disfruta igual o más que los destinos más convencionales. Si bien es cierto que es menor el grupo que prefiere el turismo alternativo, también es cierto que este mismo representa una preferencia clara sobre el entorno natural lo cual, aunado a una posición económica más holgada, representan las bases necesarias para que los profesionales de turismo opten por explotar o crear nuevos destinos aún poco conocidos o poco alterados por la actividad humana.

Por todo lo anterior, y considerando que dentro de la geografía del turismo se señala la variante del turismo alternativo o ecoturismo, es donde sin duda el fenómeno de la aurora aparece como un acontecimiento geofísico propio de zonas de la Tierra muy específicas y que para poder observarlo dichas regiones requieren primeramente ser ubicadas en un espacio territorial concreto para poder ser analizado posteriormente desde un enfoque científico, educativo y cultural o simplemente para ser contemplado y disfrutado por los ecoturistas.

Para el caso de México, un documento elaborado por CNNExpansión.com señala que el 65% de los mexicanos gasta en sus vacaciones entre MX\$3000.00 y MX\$8000.00 y un 17% considera gastar una suma de MX\$15000.00, lo cual les permite acudir a los destinos de playa que representa el 50% de preferencia en cuanto a destinos se refiere. Este mismo reporte señala que tan sólo un 4% de los encuestados podría viajar hacia los Estados Unidos o Canadá y sólo el 1% visitaría algún país de Europa.

Otro documento elaborado por la Secretaría de Turismo, a finales del año 2001, donde se encuestó a habitantes de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, señala que el 53% vacaciona con el objetivo de obtener descanso y relajación contra el 19% que menciona a la diversión como principal objetivo para viajar. Particularmente el 9% prefiere acudir a sitios donde exista contacto con la naturaleza para gozo y relajación.

Lo anterior muestra que por lo menos para México, existe un porcentaje bastante significativo de habitantes de grandes ciudades que prefieren viajar a sitios donde

interaccionen directa o indirectamente con la naturaleza, lo cual representa una muestra clara de la importancia que ha adquirido en las últimas décadas el turismo alternativo.

3.2 Las Auroras como atracción turística para territorios o zonas boreales.

Una vez que se ha considerado al entorno natural como destino digno de visitar para conseguir descansar y relajarse o en todo caso buscar recreación ya sea por medio de la contemplación de los fenómenos que la naturaleza ofrece o de la interacción con las actividades que pudieran ser practicadas gracias a las características que éstos ofrecen, cabe entonces señalar a las auroras polares como un fenómeno de recreación visual muy merecedor de considerar la próxima vez que se planee un viaje de placer y descanso.

En la mayoría de los países que habitan dentro de latitudes comprendidas entre los 0 y 45° de latitud norte y sur pueden encontrarse un gran número de destinos paradisíacos cuyo tema primordial es reflejar los accidentes naturales que durante cientos de años han maravillado al mundo entero, y hacia los cuales acuden cada año un gran número de visitantes nacionales y de países cercanos. Como ejemplo se podría citar algunos de los escenarios que la revista española “Viajar” del mes de marzo del 2008 señala como maravillas de la naturaleza:

- ✓ El Gran Cañón, al norte de Arizona (Estados Unidos) con una longitud de 446 km y una profundidad de 1500 m, recibió durante el 2007 4.5 millones de visitantes según Wikipedia.
- ✓ Cataratas del Niágara, (Canadá y Estados Unidos) con una altura de 52 m, recibieron más de 14 millones de turistas durante el 2003.
- ✓ Yellowstone, entre Montana, Wyoming e Idaho (Estados Unidos) cubre una superficie de 8983 km² con géiseres y aguas termales, recibe cerca de 3 millones de visitantes al año.

- ✓ Selva del Amazonas, (Brasil, Perú, Venezuela, Colombia, Bolivia y Ecuador) cubre un área de 6 millones de km² y alberga un incalculable número de especies de flora y fauna. Por su enorme extensión y cantidad de países que comparten esta cuenca, sería difícil precisar un número de visitantes, sin embargo, se cree que al año acuden miles de aventureros e investigadores para contemplar y estudiar la vasta biodiversidad que alberga.
- ✓ Cataratas Victoria, (Zimbabue y Zambia) con una altura de 108 m y casi 2 km de ancho, estas cortinas de agua recibieron a finales de 1990 más de 300 mil visitantes aunque se calcula que actualmente se puedan contabilizar cerca de 1 millón de turistas que acuden a ellas cada año.

Entre las anteriores se podría también incluir al Monte Everest, las Fuentes del Río Nilo, el Volcán Kilimanjaro, las Cataratas del Iguazú, el Parque Komodo, la barrera Coralina de Australia, etc. Todos estos escenarios naturales tienen la característica de encontrarse entre los +45 y los -45° de latitud, justamente dentro de la región del planeta donde más población habita, sobre todo en el hemisferio norte con la excepción de las zonas deshabitadas de los desiertos y selvas.

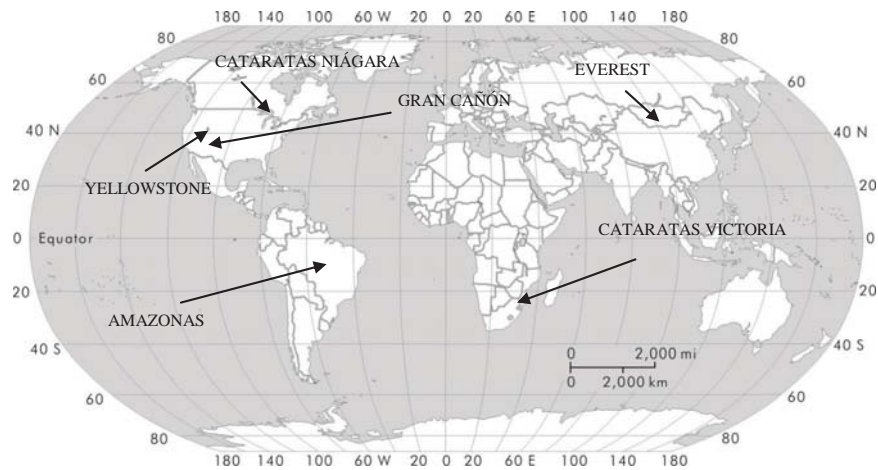


Fig. 88 Localización de algunos accidentes y escenarios naturales en el mundo.
Fuente: Elaboración propia.

Como puede apreciarse en la imagen anterior (figura 88), algunos de los destinos con temas naturales a nivel mundial más conocidos se encuentran ubicados dentro de las regiones más habitadas del planeta; sin embargo, entre los 65 y 70° de latitud norte pueden apreciarse durante la mayoría de las noches de otoño e invierno las majestuosas auroras polares. Nos referimos en este caso a la zona boreal debido a que es en este hemisferio donde se encuentra la mayor parte de la litósfera, y por tanto, habita la mayoría de la población mundial, trayendo como consecuencia que el óvalo auroral se ubique por encima de algunos asentamientos humanos.

Es aquí, en las regiones boreales donde se encuentran ciertas poblaciones con algo más de unos miles de habitantes (en el mejor de los casos) a los que en la actualidad acuden visitantes de regiones cercanas y de países más distantes con la esperanza de que las condiciones atmosféricas les permitan presenciar al menos una noche de actividad auroral, y es donde existen algunos puntos que cuentan con las condiciones idóneas para facilitar la idea de la observación.

Si bien es cierto que durante los meses de invierno es posible practicar actividades que tengan que ver con la nieve, tales como esquiar, patinar, pasear en trineo tirado por perros, conducir una moto nieve, etc.; o simplemente habitar durante unos días alguna cabaña de madera rodeada de bosques de pinos cargados de nieve; es durante las noches cuando en verdad pudiera valer la pena el traslado hacia acá y soportar temperaturas congelantes. Bien valdría la pena analizar la importancia de la atracción ejercida por las luces del norte hacia el turismo y el impacto económico que sufren las regiones que rodean esta zona. Existen dos casos de estudio que muestran el impacto económico que ocasiona el turismo que cada año acude aquí para ser testigo de las auroras boreales, tales documentos se han realizado en dos de las regiones más importantes a nivel mundial: los Territorios del noroeste en Canadá y el centro de Alaska.

3.3 Impactos en la economía local por las Auroras:

a) Territorios del noroeste de Canadá.

Para esta región localizada entre el Territorio de Yukón y de Nunavut, al norte de la provincia de Alberta, el turismo se encuentra en una etapa de claro crecimiento que beneficia a las pequeñas comunidades que lo integran, sobre todo durante los meses comprendidos entre noviembre y abril de cada año; mucho de este crecimiento se debe a un segmento particular del mercado turístico, los visitantes de las auroras boreales.

Para 1989 cuando los primeros tours para apreciar las auroras fueron ofertados, había menos de 100 visitantes; para el año 2000 se contabilizaron 12316 visitantes hacia los Territorios del Noroeste con el mismo fin.

El turismo que las auroras atrae es muy importante para los Territorios del Noroeste ya que representa una nueva fuente de ingresos para su economía, comparando sus efectos como cualquier producto de exportación según la empresa Ellis Consulting Services. Se estima que para la temporada de 1994-1995, la atracción de las auroras generó ingresos de 1.8 millones de dólares y para 2000-2001 reflejó un ingreso de 19.9 millones de dólares, esto es, un incremento en este rubro del 1100% en tan sólo 6 años. Cabe hacer mención que estos valores son reflejados por cuatro operadores de servicios turísticos de auroras dentro de esta región, tres localizados en Yellowknife (capital) y uno más en Fort Smith (figura 89); sin embargo, no se consideran los visitantes que realizan el viaje por su propia cuenta y que pudieran ocasionar que estos valores se dispararan claramente.



Fig. 89 Gráfica que muestra el rápido crecimiento del número de visitantes en Territorios del Noroeste para contemplar la Aurora.

Fuente: Ellis Consulting Services

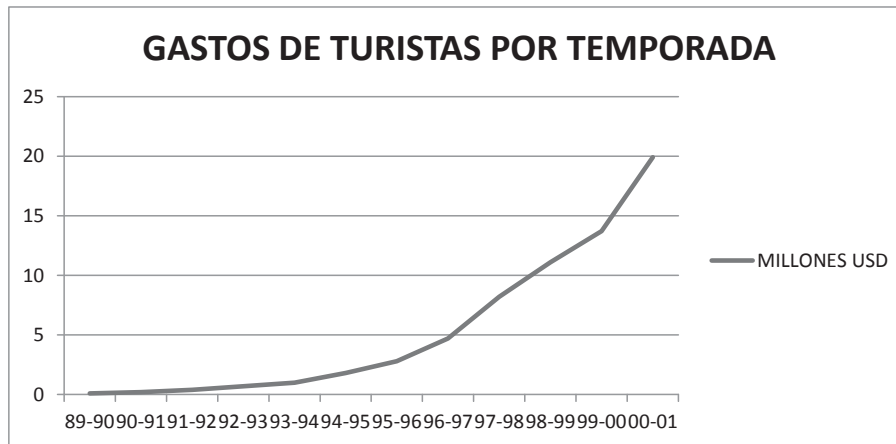


Fig. 90 Importe gastado por los visitantes en Territorios del Noroeste.
Fuente: Ellis Consulting Services

En las tablas anteriores se compara tanto el número de visitantes como de los gastos realizados durante los mismos periodos (figuras 89 y 90 respectivamente), se puede resaltar que en ambos casos corresponden de manera proporcional señalando un acusado crecimiento.

Considerando que el arribo del turismo impacta en diversos sectores comerciales en función de los gastos que éste realice, para la temporada invernal del 2000-2001, en la que 12316 visitantes fueron recibidos, se calculó un gasto promedio de cada uno de ellos con base a los datos recabados por los operadores de este sector durante una estancia promediada en 4 días y 3 noches de pernoctación; el valor obtenido fue de \$1709 dólares por persona durante ese lapso; los valores desglosados y totalizados se expresan en la siguiente tabla:

CONCEPTO	IMPORTE (Dólares)	TOTAL (Dólares)
Vuelo ¹⁴	\$423	\$5 209 668
Hospedaje	\$266	\$3 276 056
Comida	\$169	\$2 081 404
Tours	\$453	\$5 579 148
Suvenires y manualidades	\$212	\$2 572 832
Otros	\$185	\$2 278 460
SUMA	\$1709	\$21 048 044

Tabla 3 Desglose de gastos efectuados por visitantes en Territorios del Noroeste.
Fuente: Ellis Consulting Services

¹⁴ Los vuelos se refieren solo a los realizados dentro de los Territorios del Noroeste.

A partir de los atentados terroristas del 11 de septiembre del 2001, el turismo hacia Norteamérica decreció enormemente debido en parte al temor de los viajeros, así como por las restricciones impuestas por el departamento de seguridad de los Estados Unidos para los vuelos entrantes a su país o en tránsito hacia Canadá. Por ello, los Territorios del Noroeste experimentaron una lenta pero constante reducción en el número de visitantes para fines de negocios y más aún con fines de placer.

A pesar de la caída sufrida, durante los últimos años se ha notado una mejoría en el sector; como comparativo, de los poco más de 12000 visitantes recibidos durante la temporada invernal 2000-2001, para el período 2005-2006 se registró ya un número de turistas poco mayor a los 10000. Sin embargo, debido al establecimiento y apertura de otros destinos con el mismo fin, la competencia se ha vuelto cada día más ardua y como reflejo de ello es que para la siguiente temporada comprendida entre el 2006-2007, fueron contabilizados solo 7000 visitantes, ese decremento del 30% con respecto al año anterior refleja por un lado, la recuperación que ha tenido el turismo de auroras para los Territorios del Noroeste pero al mismo tiempo que existen destinos alternos que pudieran ofrecer las mismas condiciones y un mejor servicio. Como prueba de lo anterior, un 5% de los entrevistados dijo haber visitado los Territorios del Noroeste anteriormente, otro 6% de los visitantes de la última muestra manifestaron haber visitado otros destinos aparte de Yellowknife con el mismo propósito de contemplar las luces del norte; entre esos destinos destacan en orden de incidencia Finlandia y Alaska pero también mencionaron tener conocimiento de otros destinos canadienses como Whitehorse, en el valle del Yukón, Suecia, Groenlandia, Islandia y Noruega. Cuando se les cuestionó que lugar habrían visitado de no ser Yellowknife para apreciar la Aurora, el 5.8% mencionó Alaska, el 5% Finlandia, el 3.8% Whitehorse, y el 3.6 mencionó el norte de Europa como opción.

Respecto al medio por el cual se enteraron de este destino para apreciar las luces del norte, particularmente sobre Yellowknife, El 40% dijo haber sido enterados por medio de un agente de viajes, el 28% por medio de amigos y familiares, el 22% mencionó al internet y un 22% citó a la televisión como fuente informativa; en menor recurrencia hicieron mención de revistas y periódicos.

A los mismos se les pidió calificar a Yellowknife como destino turístico en un rango donde 1 representa *muy pobre* y 5 representa *excelente*, el 37.2% le otorgó un 4 y el 37.7 le dio un 5 por lo que en promedio fue calificado con un 4.2. Cerca del 89% mencionó que volvería a visitar Yellowknife.

Otro dato obtenido de la muestra indica que 72% de los visitantes acudieron en grupos de 2 o más personas, dando en promedio 3.3 personas por grupo; el 71.3% de estos turistas

tuvieron una estadía de 3 noches, lapso suficiente para que el 91% de ellos pudieran contemplar la Aurora.

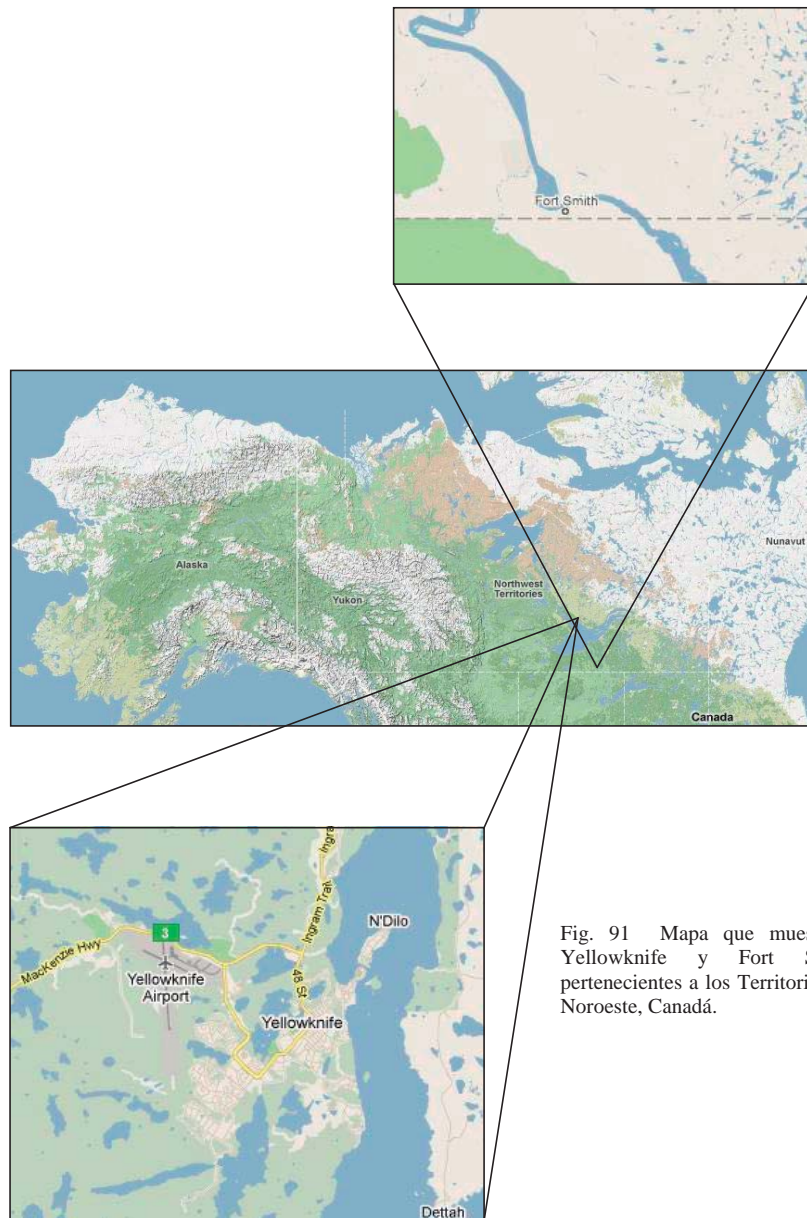


Fig. 91 Mapa que muestra a Yellowknife y Fort Smith, pertenecientes a los Territorios del Noroeste, Canadá.

b) Centro de Alaska.

En la temporada otoño-invierno de 1997-1998, Alaska recibió 209600 visitantes de acuerdo a un reporte de la división de turismo del estado; de los cuales la mitad ingresó por fines comerciales, la otra mitad lo hizo con el propósito de apreciar las luces del norte en la región, esto es; poco más de 100000 viajeros ingresaron al estado de Alaska para apreciar la aurora boreal. De la cifra anterior, se estima que al menos el 10 por ciento ha realizado el mismo viaje con el mismo objetivo. De la misma cifra, según la división de turismo calcula que un 70% arriban por medio de tours previamente contratados en desde su país de origen y en promedio pasan 3 o 4 días en Fairbanks y uno o dos días en Anchorage como complemento a su paseo. Un dato adicional que proporciona el estudio, indica que a pesar de que los pagos previos hayan sido realizados desde el domicilio origen del los viajeros, se estima que cada uno gasta adicionalmente en promedio, 523 dólares durante su estancia.

Para Ron Bennett, propietario de Snow Monkey Tours Inc. en Chena Hot Springs Resort, en una entrevista para la publicación "Alaska Business Monthly", en diciembre de 1999, manifiesta que durante los últimos seis años previos a esa fecha, el incremento en el número de visitantes que acudieron con el objetivo de observar las auroras había crecido de manera notoria sobre todo de ciudadanos americanos, lo cual justifica debido al crecimiento de la fuerte publicidad que se le dio a este fenómeno dentro de la unión americana durante ese período. Este crecimiento en el turismo americano hacia las luces del norte es muy importante ya que son ellos los unos de los que mas gastan en servicios y productos que benefician la economía del centro de Alaska.

Según el departamento de convenciones y de turismo de Fairbanks, se estima que el número promedio de turistas interesados en apreciar las auroras, en su gran mayoría japoneses, durante la temporada invernal 2000-2001 osciló entre 6000 y 8000, estos datos fueron obtenidos mediante encuestas aplicadas a los principales promotores y operadores de tours de la región, como Chatanika Lodge, Chena Hot Springs Resort, entre otros.

Pero una vez más, los atentados de septiembre del 2001 afectaron el flujo de turistas hacia la región debido tanto por el aumento de en la seguridad de los vuelos que entraban a tierras estadounidenses, como por el temor sembrado en los viajeros.

Cabe mencionar que en la actualidad, si bien unos de los lugares que registran mayor número de visitantes son Chatanika Lodge y Chena Hot Springs Resort, ambos a unas millas de distancia de Fairbanks (figura 92), también es cierto que el volumen de sus recepciones ha disminuido debido a los nuevos centros de observación y hospedaje que han emergido como competencia, generando así una alternativa más para el turismo local y extranjero.

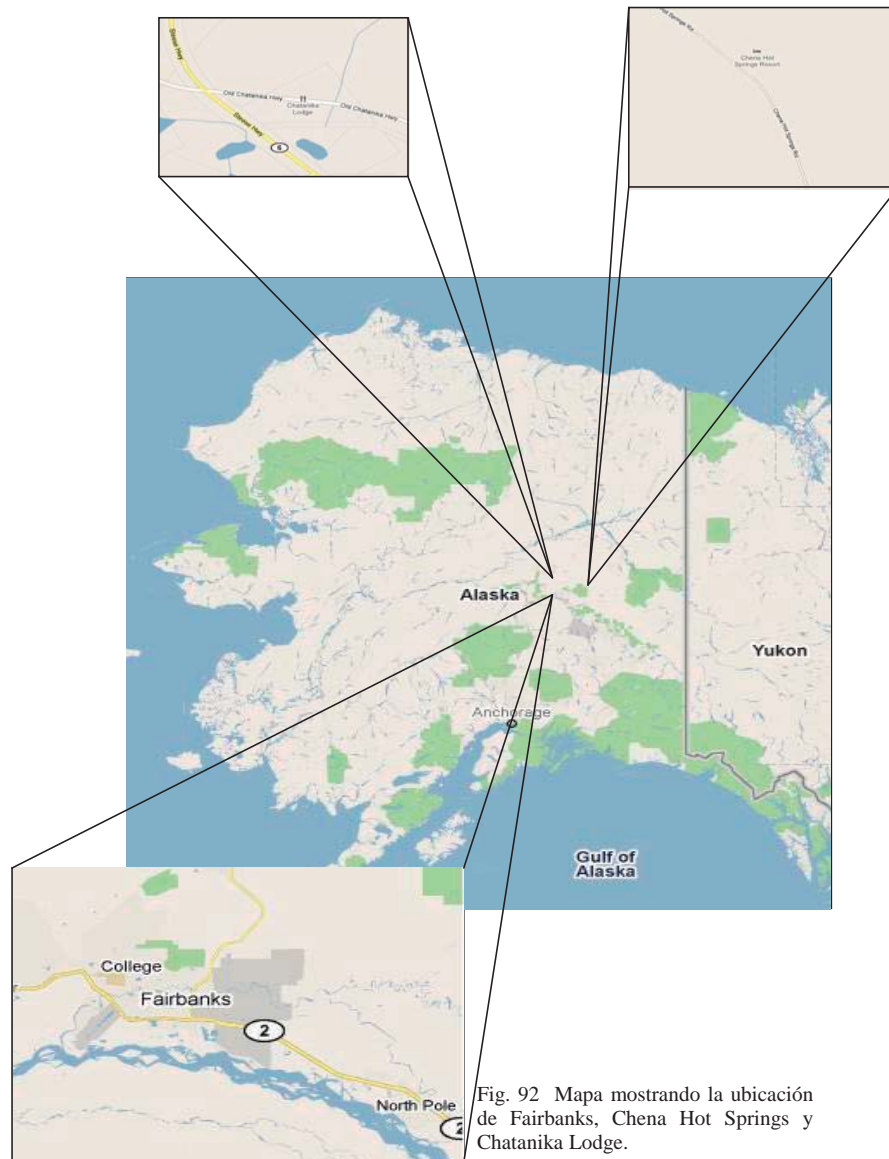


Fig. 92 Mapa mostrando la ubicación de Fairbanks, Chena Hot Springs y Chatanika Lodge.

3.4 Guía del visitante hacia los sitios más propicios para la contemplación de las Auroras.

Esta parte tiene como propósito ubicar geográficamente, para los interesados en visitar alguno de los sitios más adecuados para la contemplación de las auroras, en función de la facilidad que presenten para acceder a ellos y de las características que ofrecen sus instalaciones; no es de sorprenderse que todos esos sitios se encuentren ubicados en el hemisferio norte. Respecto al hemisferio sur no se ha considerado ningún destino ya que como se mencionó previamente, la región auroral austral recae por encima del océano antártico, exceptuando desde luego el casquete del mismo nombre y quizá la población más hacia el sur del planeta al cual se pueda llegar de manera ordinaria como a cualquier otro poblado del mundo es Ushuaia en el extremo sur de Argentina, pero con sus escasos 54° de latitud sur solo le permite ser testigo de cualquier actividad auroral en el bajo horizonte en las temporadas máximas de cada ciclo solar o al menos, cada que se registre una actividad solar extraordinaria cuyo índice Kp sea igual a 9.

✓ **Alaska:**

Chatanika Lodge



Fig. 93 Fachada principal e interior del restaurant.

Coordenadas: Lat. N 65° 06' 57'' Long. W 147° 29' 48''

Dirección: 5760 Steese Highway
C.P. 99712
Fairbanks, Alaska, E.U.

Ciudad de arribo: Fairbanks. Existen vuelos diarios tanto de American Airlines como de Alaskan Airlines saliendo de la cd. de México, con escalas generalmente en Los Angeles, Seattle y Anchorage.

Cómo llegar: Es aconsejable la renta de un automóvil el cual puede ser adquirido en el interior del aeropuerto de Fairbanks, aunque se recomienda mucha precaución al conducir sobre todo si no se está familiarizado en caminos de nieve o hielo. Hay que tomar el eje vial principal "Airport Way" que recorre de este a oeste la ciudad de Fairbanks en ambos sentidos, al final de éste (oeste de la ciudad) inicia la "Steese Highway"; tomarla en dirección norte. A 45 km cruza el camino "Old Chatanika Hwy" se debe tomar a la derecha y poco más adelante sobre la izquierda se encuentra el hostel.

Facilidades: El hostel cuenta con restaurant, bar y 10 habitaciones sencillas o dobles las cuales cuentan con baño compartido. La tarifa por noche es de \$75 usd para dos personas y \$65 usd en ocupación sencilla. Adicional a la vista de las auroras, tanto en verano como invierno se pueden realizar diversas actividades al aire libre; según la época en que se visite se puede participar en eventos organizados por la administración según la temporada. Aceptan la mayoría de las tarjetas de crédito.

Cheena Hot Springs

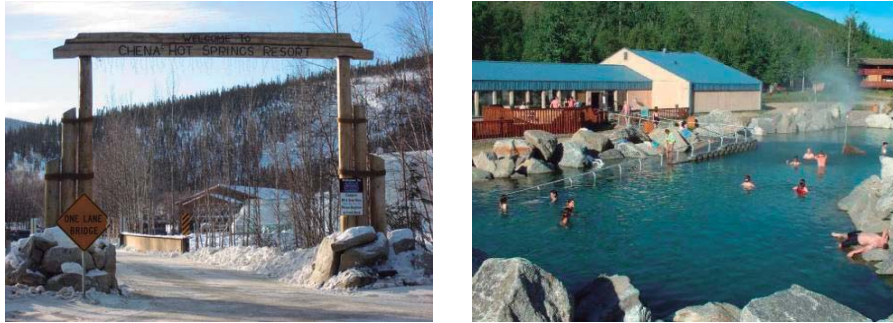


Fig. 94 Entrada al resort y lago de aguas termales.

Coordenadas: Lat. N 65° 03' 11'' Long. W 146° 03' 20''

Dirección: 56.5 mile Chena Hot Springs Road.
C.P. 99711
Fairbanks, Alaska, E.U.

Ciudad de arribo: Fairbanks. Existen vuelos diarios tanto de American Airlines como de Alaskan Airlines saliendo de la Cd. de México, con escalas generalmente en Los Ángeles, Seattle y Anchorage.

Cómo llegar: Si se contrata con anticipación, la administración dispone de transporte que recoge a los visitantes desde el aeropuerto u otro lugar previamente acordado dentro de la ciudad. Si se traslada por vehículo particular es aconsejable la renta de un automóvil el cual puede ser adquirido en el interior del aeropuerto de Fairbanks, aunque se recomienda mucha precaución al conducir sobre todo si no se está familiarizado en caminos de nieve o hielo. Tomar la carretera "Steese Highway" al oeste de la ciudad, conducir hacia el norte hasta el entronque de "Chena Hot Springs Road" girar a la derecha y a 90 km se encuentra la entrada del resort.

Facilidades: Quizá este sea uno de los resort más acondicionados y que pueden ofrecer mejores servicios a los visitantes. Cuenta con 80 habitaciones que van de camas individuales a queen size, cuentan con medio o baño completo, tv y las habitaciones de mejor precio cuentan con teléfono, todas ellas basadas en ocupación doble. Otra opción que ofrece es la de acampar en remolques o simplemente en tienda de campaña propios. La tarifa por noche va desde \$189 a \$289 usd de acuerdo a la habitación seleccionada; en

todos los casos tanto el desayuno como la comida están incluidos. Existe la alternativa de reservar paquetes basados en el número de visitantes, éstos van desde \$699 usd por 3 días y 2 noches para dos personas, hasta los \$1409 usd para cuatro personas por el mismo período. Una opción más económica es la renta de tiendas fijas para dos personas cuyo costo es de \$65 usd. Se puede disfrutar de nadar en las aguas termales, visitar el museo de hielo, pasear en trineo tirado por perros, etc. A lo largo del año se celebran diversas actividades de acuerdo a la temporada en que se visite. Se aceptan todas las tarjetas de crédito o débito.

Coldfoot/Wiseman

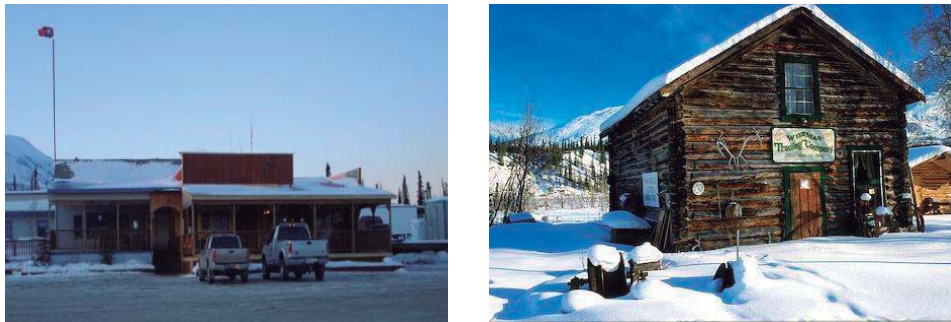


Fig. 95 Fachada del restaurant en Coldfoot y casa típica de Wiseman.

Coordenadas: Lat. N. 67° 15' 05'' Long. W. 150° 10' 34''.

Dirección: 175 mile Dalton Highway
C.P. 99708
Fairbanks, Alaska, E.U.

Ciudad de arribo: Fairbanks. Existen vuelos diarios tanto de American Airlines como de Alaskan Airlines saliendo de la Cd. de México, con escalas generalmente en Los Ángeles, Seattle y Anchorage.

Como llegar: El campamento de Coldfoot se localiza a 415 km de distancia de Fairbanks, por lo que se podría acceder a él por aire o vía terrestre. Por vía aérea existen operadores de vuelos regionales utilizando aviones de turbohélice con capacidad de hasta 20 pasajeros, “Air Artic”, “Wright Air Service” y “Northern Alaska Tour Company”

cuentan con vuelos diarios en horario fijo o con la modalidad de charter los cuales aterrizan en la pista particular del campamento. Por vía terrestre se pueden contratar los servicios de la empresa “Dalton Highway Express” quienes se especializan en recorrer toda la carretera Dalton cruzando de norte a sur el estado de Alaska. Cuentan con horarios preestablecidos y los usuarios pueden llevar mochilas, canoas y accesorios para campismo. Para el caso de querer conducir un vehículo por cuenta propia, existe la opción que ofrece la empresa “Arctic Outfitters” que se especializa en la renta de vehículos acondicionados para la conducción de caminos de riesgo como lo es la Dalton Highway. La renta de automóviles convencionales que se pueden adquirir en el aeropuerto de Fairbanks pudiera ser una opción útil, pero no muy recomendable ya que en todos los casos, dentro de sus cláusulas en el contrato de renta cita que el seguro no cubre accidentes sobre el vehículo, a propios o a terceros ocurridos sobre la Dalton Hwy ni en terrenos que sean considerados riesgosos. En caso de aventurarse en conducir, se debe tomar la Steese Highway al extremo este de la ciudad con destino norte; en el cruce de la villa Fox se debe continuar a la izquierda ya sobre la Elliot Highway la cual kilómetros más adelante se convierte en la Dalton Hwy. Tras 415 km en carretera y unas 10 horas de conducción sobre un camino que en los meses de invierno se encuentra totalmente congelado, a la derecha se encuentra el campamento.

Facilidades: El campamento Coldfoot es conocido como *El paradero de servicio para camiones más al norte del mundo* y esto obedece a que en él se ofrecen los servicios de reparación de llantas, mecánica básica y combustible antes de llegar al final de la carretera en la comunidad de Deadhorse, ya en las orillas del Océano Ártico. Cuenta con comedor que la mayoría de las veces se ve ocupado de camioneros, tienda de regalos, oficina postal y lavandería automática. Para hospedarse cuenta con 22 habitaciones que son bastante elementales en cuanto a confort, no cuentan con televisor ni teléfono en su interior, para realizar una llamada hay que acudir al interior del restaurant a unos cien metros de las habitaciones; poseen dos camas individuales cada una y medio baño. El costo por noche de cada habitación es de \$219 usd y no incluye alimentos. Para la observación de la Aurora, hay que contratar el servicio en la administración con un costo de \$59 usd por persona que incluye la transportación terrestre hacia la villa de Wiseman que se localiza a 26 km al norte del campamento, la salida es a las 10 p.m. y el retorno a las 2 a.m. Una villa digna de visitar también de día ya que las viviendas son construidas totalmente en madera del bosque y no se cuenta con servicio eléctrico; incluso la mayoría de sus habitantes subsiste mediante la cacería. De nuevo en Coldfoot, es posible contratar el servicio de paseo en trineo tirado por perros durante 30 min éste tiene un costo de \$89 usd. Un servicio adicional que se ofrece es el de recorrer la famosa carretera Dalton con dirección norte a bordo de camionetas tipo van en un trayecto que dura desde las 10 a.m. para volver a las 6 p.m.; éste tiene un costo de \$89 usd por persona.

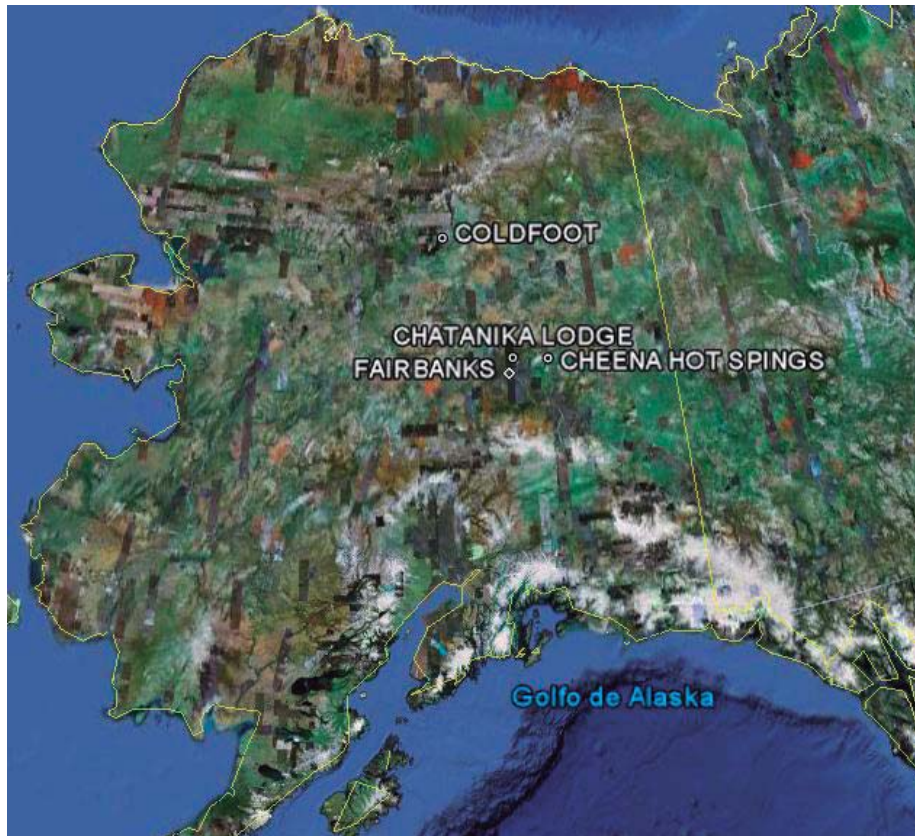


Fig. 96 Chataneka Lodge, Cheena Hot Springs, Coldfoot y Fairbanks en Alaska, E.U.

Los países o regiones cuya ubicación geográfica les permite viajar a Alaska con mayor facilidad en cuanto a la distancia relativa y disponibilidad de transporte:

- ✓ Norteamérica (Canadá, Estados Unidos, México).
- ✓ Asia oriental (Japón, Corea, China, Vietnam, Tailandia).

✓ **Canadá:**

Blachford Lake Lodge



Fig. 97 Vista exterior del hostel e interior del mismo.

Coordenadas: Lat. N. 62° 10' 50'' Long. W. 112° 30' 00''

Dirección: Lugar remoto sin caminos a la orilla del lago con el mismo nombre en los Territorios del Noroeste.

Ciudad de arribo: Yellowknife. Existen vuelos diarios partiendo de la Cd. de México mediante Air Canadá, con escalas generalmente en Denver, Toronto y Calgary.

Cómo llegar: Al tratarse de un sitio remoto sin acceso via terrestre y sin aeropista, el único transporte es una aeronave charter propiedad de la empresa que está acondicionada para aterrizar en el lago congelado tras un vuelo de 20 minutos que parte del aeropuerto de Yellowknife y cuyo servicio está contemplado dentro del precio de los paquetes de estadía que se ofrecen.

Facilidades: El hostel ofrece 5 habitaciones de mediano tamaño en la segunda planta del edificio principal, se encuentran cómodamente amuebladas y cuentan con baño completo, poseen vista hacia el lago y ventanales que permiten contemplar la Aurora. Hay un sauna y servicio de internet satelital. En el exterior hay 5 cabañas más rústicas pero que representan el estilo de vida más auténtico de los antiguos habitantes del lugar,

por lo que muchos visitantes los prefieren; cada una es capaz de albergar cada una hasta seis huéspedes. Durante el día se pueden practicar el patinaje, pasear en trineo de perros, etc. Los precios van de \$1,399 dólares canadienses (CA) para 3 días y 2 noches; \$2,675 CA por 6 días y 5 noches y \$3,350 CA por 8 días y 7 noches de estancia; en todos los casos los precios son por persona e incluyen todos los alimentos y bebidas consumidos, uso de equipo para actividades al aire libre y vuelo hacia y desde Yellowknife.

Takhini Hot Springs



Fig. 98 Vista principal en verano y el lago en invierno.

Coordenadas: Lat. N. 60° 52' 42'' Long. W. 135° 21' 46''

Dirección: 6 mile Takhini Hotsprings Road.
Whitehorse, Yucon, Canadá.

Ciudad de arribo: Whitehorse. Existen vuelos cada día partiendo de la cd. de México por medio de Air Canadá, con conexiones generalmente en Los Ángeles, Houston, Calgary y Vancouver.

Cómo llegar: El lugar se encuentra a 30 km del centro de la Cd. de Whitehorse, por lo que la renta de un vehículo, el cual se puede adquirir en el interior del aeropuerto, es recomendable (Budget ofrece la mejor opción en precio). A la salida del aeropuerto se encuentra la carretera Klondike Hwy, se debe tomar en sentido norte. Conducir 16 km

hasta el entronque de Hot Springs Road, girar a la izquierda y a 10 km se localiza el hostel.

Facilidades: El resort cuenta con aguas termales, posee área para el ski en campo travesía, y demás actividades de invierno. Tras una caminata de 5 min se localizan 5 cabañas que pueden rentadas al precio de \$80 usd en ocupación sencilla y \$110 usd por ocupación doble, el precio incluye desayuno. Cada una cuenta con dos camas individuales, teléfono e internet, los baños se localizan en el edificio principal.

Fort Smith



Fig. 99 Señalamiento de bienvenida y vista aérea del aeropuerto de Fort Smith.

Coordenadas: Lat. N. 60° 00' 19'' Long. W. 115° 56' 26''

Dirección: 53 Portage Ave.
Fort Smith, NT, Canadá.

Ciudad de arribo: Fort Smith. Cada día hay vuelos partiendo de la Cd. de México por “Air Canadá” y “Northwestern Air”, con conexiones generalmente en Los Ángeles, Houston, Calgary y Edmonton.

Cómo llegar: A la salida del aeropuerto se encuentra la calle McDougal Rd. tomarla hacia la izquierda hasta encontrar la Portage Ave., dar vuelta a la derecha hasta llegar a la casona.

Facilidades: Fort Smith es en sí un poblado semi rural con poca contaminación lumínica, por lo que cualquiera de sus orillas puede ser un lugar apropiado para la contemplación de las Auroras; sin embargo, se ha seleccionado la casona “Techaba, Bed and Breakfast” que ofrece la renta por día en \$80 dólares canadienses en ocupación sencilla y en \$100 en ocupación doble. El desayuno está incluido en la tarifa. Ofrece descuentos para adultos mayores de 60 años. Posee todas las comodidades de una casa promedio y cuenta con servicio de internet.

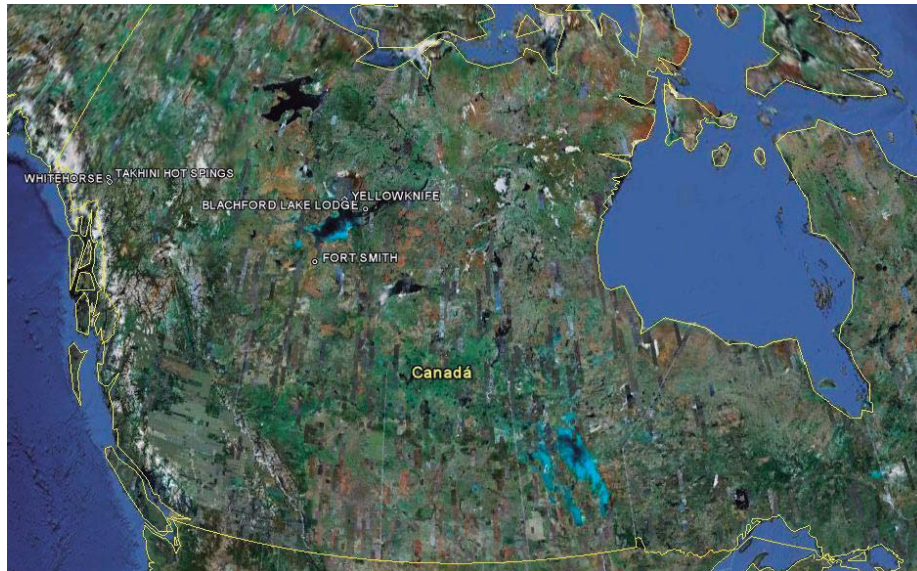


Fig. 100 Whitehorse y Takhini Hot Springs en Yucon; Blachford Lake Lodge, Yellowknife y Fort Smith en Territorios del Noroeste, Canadá.

Los países o regiones cuya ubicación geográfica les permite viajar a Canadá con mayor facilidad en cuanto a la distancia relativa y disponibilidad de transporte:

- ✓ Norteamérica (Estados Unidos, México).
- ✓ Asia oriental (Japón, Corea, China, Vietnam, Tailandia).
- ✓ Centroamérica.

✓ **Groenlandia:**

Nuuk



Fig. 101 Vista parcial de la ciudad y fachada del Hotel Nordbo.

Coordenadas: Lat. N. 64° 11' 01'' Long. W. 51° 43' 17''

Dirección: Saqqarliit 82
Nuuk, Groenlandia.

Ciudad de arribo: Nuuk. Existen vuelos frecuentes desde la Cd. de México por medio de "Air Iceland", con conexiones generalmente en Nueva York, y Reykjavik.

Cómo llegar: Nuuk es una ciudad pequeña, la cual puede ser recorrida a pie de norte a sur en solo unos minutos. A la salida del aeropuerto se encuentra la avenida principal que se puede considerar el periférico de la ciudad. Tomar éste hacia la izquierda y continuar hasta el cruce con la calle H.J. Rinksvej para doblar a la derecha; caminar hacia el sur hasta localizar la calle Saqqarliit; a unos metros se encuentra el hostel.

Facilidades: El hotel se encuentra seccionado en dos partes, la primera en el centro de la ciudad y la segunda en el sur de la misma. Se compone en su totalidad de 25 apartamentos equipados, los más básicos cuentan con una cocineta y una cama individual; su costo por noche es de \$800 coronas (\$135 usd). El más equipado dispone

de 2 recámaras con dos camas cada una, cocina y baño interior, estancia, teléfono e internet, radio y televisión satelital; su precio es de \$975 coronas (\$165 usd).



Fig. 102 Nuuk en Groenlandia.

Los países o regiones cuya ubicación geográfica les permite viajar a Groenlandia con mayor facilidad en cuanto a la distancia relativa y disponibilidad de transporte:

- ✓ Norteamérica (Canadá, Estados Unidos, México)
- ✓ Europa occidental (Reino Unido, Irlanda, Portugal, España, Francia, Bélgica).

✓ **Islandia:**

Reykjavik

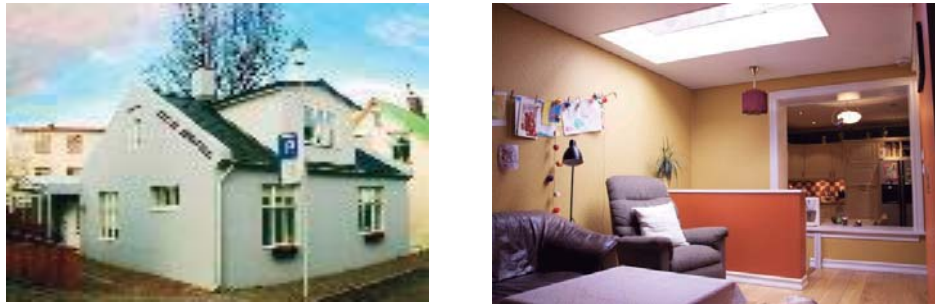


Fig. 103 Vista exterior e interior del hotel.

Coordenadas: Lat. N. 64° 08' 00" Long. W. 21° 56' 00"

Dirección: Kárástígur 12
Reykjavík, Islandia.

Ciudad de arribo: Reykjavík. Existen vuelos frecuentes partiendo de la Cd. de México por medio de "Air Iceland" con conexiones generalmente en Nueva York, Oslo y Frankfurth.

Cómo llegar: Se recomienda la renta de un automóvil en el aeropuerto, ya que el uso de taxis es sumamente caro. A la salida del aeropuerto se localiza la avenida Njaroardgata, tomarla hacia la derecha. Tras 10 minutos se encontrará la calle Skólavoroustígur, girar a la izquierda; la siguiente calle es Kárástígur, girar a la derecha y a unos metros está el hotel por la izquierda.

Facilidades: Se trata de una casona típica islandesa, se compone de tres habitaciones dobles y una sencilla, comparten una cocina equipada, centro de lavado, estancia, televisión satelital, teléfono e internet. A unos pasos se encuentra la costa que separa a Islandia de Groenlandia. El centro de la ciudad se ubica a unos 20 minutos. El precio

por noche en habitación doble es de \$12,000 coronas (\$93 usd); el de la habitación sencilla es de \$8000 coronas (\$62 usd).



Fig. 104 Reykjavik en Islandia.

Los países o regiones cuya ubicación geográfica les permite viajar a Islandia con mayor facilidad en cuanto a la distancia relativa y disponibilidad de transporte:

- ✓ Norteamérica (Canadá, Estados Unidos, México)
- ✓ Europa occidental (Reino Unido, Irlanda, Portugal, España, Francia, Bélgica).

✓ **Noruega:**

Kattfjorden



Fig. 105 Vista panorámica del hostel e interior de una de las cabinas.

Coordenadas: Lat. N. 69° 37' 14'' Long. E. 18° 17' 09''

Dirección: Vasstrandveien 580
Lauklines, Kattfjord, Noruega.

Ciudad de arribo: Tromso. Existen vuelos cada día partiendo de la Cd. de México por medio de “Lufthansa” y “Scandinavian Airlines”, con conexiones generalmente en Washington, Chicago, Munich y Oslo.

Cómo llegar: Se recomienda la renta de un automóvil en el aeropuerto. A la salida se encuentra la avenida Kvaloyvegen, tomarla en dirección norte y conducir hasta encontrar la Fjordveien, tomarla hacia la derecha. El entronque con la carretera Vasstrandveien se encuentra del lado derecho; tras conducir unos kilómetros se localiza el hostel por el lado izquierdo.

Facilidades: Se trata de seis cabinas que se localizan en la línea costera, con una construcción de estilo tradicional y dos niveles; se componen de 2 recámaras amplias sumando un total de 5 camas y un baño completo. Tienen cocina equipada, secadora de ropa y área de televisión vía satelital. Los precios están basados en el número de ocupantes por noche; de esta manera, por una noche para una persona cuesta \$2490

coronas (\$388 usd), por cinco noches \$7500 coronas (\$1170 usd); una noche para seis personas cuesta \$2490 coronas (388 usd) y cinco noches para seis tiene un costo de \$14220 coronas (\$2215 usd). En la administración se puede preguntar cómo contratar los servicios para la práctica de ski, pesca, y otras actividades invernales.

Karasjok

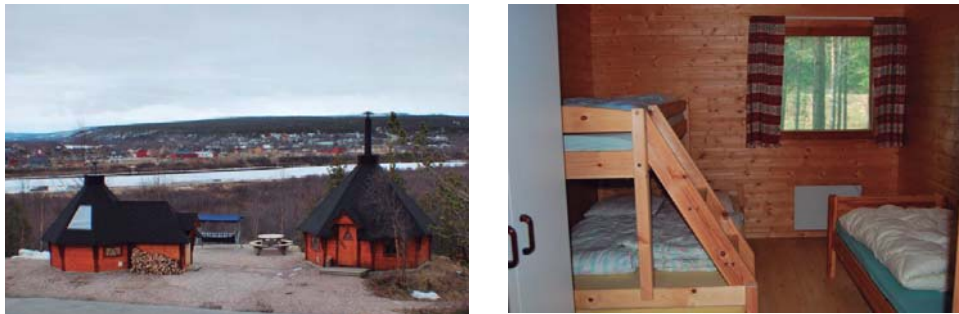


Fig. 106 Vista exterior de las cabañas del hostel e interior de las mismas.

Coordenadas: Lat. N 69° 28' 55'' Long E. 25° 06' 18''

Dirección: Ávjavárgeaidnu 9730
Karasjok, Noruega

Ciudad de arribo: Lakselv. Existen vuelos frecuentes saliendo de la Cd. de México por medio de “Wideroe”, con escalas y conexiones generalmente en Frankfurt, Londres, Oslo y Tromso.

Cómo llegar: Se recomienda la renta de un vehículo en las instalaciones del aeropuerto. Al oeste del mismo se encuentra la carretera E-6 la cual nos lleva al poblado de Karasjok tras 80 km de conducir. Continuar ya por la Av. Porsangerveien en el centro de la ciudad

hasta la glorieta que une ésta con la carretera Kautokeinoveien; tras 1 km de conducir a partir de la glorieta se localiza el hostel sobre el costado izquierdo de la carretera.

Facilidades: El hotel cuenta con 22 cabañas que en su totalidad suman 90 camas. Están equipadas con cocina, estancia, televisión e internet; por una cantidad de \$80 coronas (\$13 usd) se puede rentar la lavadora y secadora de ropa. La administración puede proporcionar información respecto a la práctica de actividades invernales. Para la adquisición de enseres durante la estancia, al norte se localiza el centro del pueblo a un kilómetro de distancia. Los precios por noche varían según el equipamiento de cada cabaña, con lo que van desde los \$275 coronas (\$43 usd) la más básica para dos personas, hasta las \$990 coronas (\$155 usd) la más equipada con capacidad hasta para nueve personas.

Alta



Fig. 107 Entrada principal del hotel Igloo e interior del mismo.

Coordenadas: Lat. N. 69° 56' 25'' Long E. 23° 18' 38''

Dirección: Sorrisniva Km 20
Alta, Noruega.

Ciudad de arribo: Alta. Existen vuelos diarios partiendo de la Cd. de México por medio de “Continental Airlines” y “Scandinavian Airlines”, con escalas y conexiones generalmente en Londres, Frankfurt y Oslo.

Cómo llegar: El hotel se localiza a 20 km del centro de Alta. Existe un transporte de la empresa encargado de llevar a los visitantes hacia las instalaciones del hotel; el autobús parte en las afueras del hotel “Rica”, por lo que no es necesario ser huésped del mismo.

Tras 20 minutos de recorrido, los huéspedes son llevados a la entrada principal del Hotel de Hielo. Al concluir la estancia, el mismo transporte los devuelve al lugar que fueron recogidos.

Facilidades: Quizá se trate de uno de los hoteles más exóticos que se pueden encontrar; todo en su totalidad está construido de nieve y hielo, las habitaciones, las camas, e incluso los vasos. Cuenta con 30 habitaciones, a un costado de la construcción principal se localiza un centro de servicios, el cual posee restaurant, baños, sauna; adicional a esto, hay también una tienda de suvenires. En esta sección pueden ser contratados servicios relacionados a la práctica de actividades de invierno como un safari en moto-nieve. Es importante considerar que se trata de un hotel cuyo edificio e instalaciones dependen de la época del año, por lo que sólo existe de enero a abril. Los precios por noche son de \$1995 coronas (\$313 usd) por persona en ocupación doble, para niños menores de 12 años \$995 coronas (\$156 usd) en la habitación de los padres. La tarifa incluye desayunos tipo bufet y transporte redondo al centro de Alta.

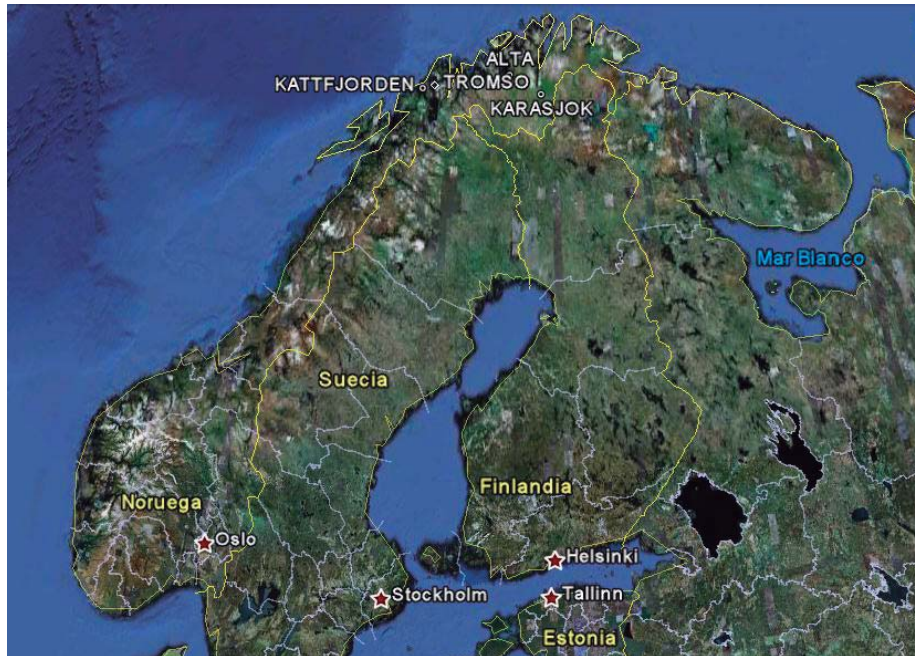


Fig. 108 Kattfjorden, Alta, Karasjok y Tromso en Noruega.

Los países o regiones cuya ubicación geográfica les permite viajar a Noruega con mayor facilidad en cuanto a la distancia relativa y disponibilidad de transporte:

- ✓ Europa.
- ✓ Norteamérica (Canadá, Estados Unidos, México).
- ✓ Rusia occidental (Moscú, San Petersburgo):
- ✓ Asia central (India, Pakistán, Arabia Saudita).

✓ **Finlandia:**

Rovaniemi

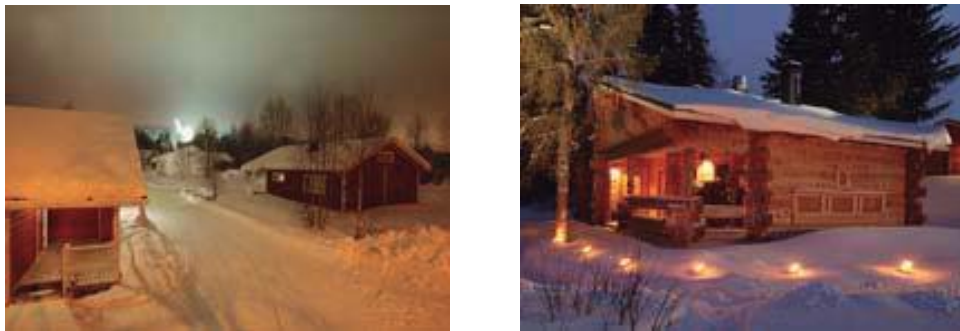


Fig. 109 Vista general e individual de las cabañas de Lapland Lod Cabins en Rovaniemi.

Coordenadas: Lat. N. 66° 30' 00'' Long. E. 25° 44' 00''

Dirección: Koskenkylantie km 4
Ounasvaara, Rovaniemi, Finlandia.

Ciudad de arribo: Rovaniemi. Existen vuelos cada día partiendo de la Cd. de México por medio de “Air France” y “Finnair”; con escalas y conexiones generalmente en Paris y Helsinki.

Cómo llegar: Rovaniemi es una ciudad de medianas dimensiones, por lo que la renta de un vehículo es recomendable para recorrer la ciudad y llegar al destino; en el aeropuerto puede ser adquirido. A la salida se localiza la calle Lentokentantie, tomarla la la derecha en dirección sur. Al entronque con la carretera Sodankylantie tomar hacia la derecha, a 2 km salir por la izquierda en la calle Norvatie; después de cruzar la glorieta que separa las avenidas Villenvayla y Ritarinne adquiere el nombre de Napapiirinntie; continuar hacia el sur y al cruce de la avenida Kuusamontie nuevamente cambia de nombre a Jaamerentie, continuar un km más y sobre la izquierda se encuentra Pallarintie, tomarla y a menos de 2 km por la derecha se encuentra la zona de Ounasvaara y dentro de ésta el hostel.

Facilidades: Las cabinas cuentan con cocineta, refrigerador y vajilla. Hay de una o dos recámaras y poseen baño completo, sauna, televisión y teléfono. En el edificio central está el servicio de restaurant y lavandería. En él pueden dar información sobre la práctica de actividades invernales con un cargo adicional. Los precios por noche en cabaña con una recámara es de \$110 euros (\$139 usd) y con dos recámaras \$131 euros (\$166 usd).

Saariselka

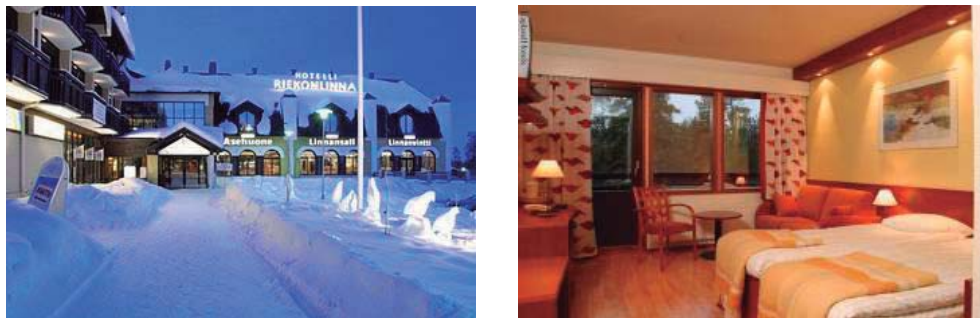


Fig. 110 Vista exterior e interior de una de las habitaciones del hotel Riekonlinna, en Saariselka.

Coordenadas: Lat. N. 68° 25' 25'' Long E. 27° 25' 03''

Dirección: Saariselantie 13
Saariselka, Finlandia
C.P. 99830

Ciudad de arribo: Ivalo. Existen vuelos frecuentes partiendo de la Cd. de México por medio de "Finnair", con escalas y conexiones generalmente en París, Londres y Helsinki.

Cómo llegar: Es recomendable la renta de un vehículo en el aeropuerto. A la salida se ubica la calle Lentokentantie, conducir hasta topar en la carretera Rovaniementie, incorporarse a la derecha y conducir en dirección sur durante 18 km hasta encontrar el cruce de la calle Saariselantie, girar a la izquierda y el hotel se encuentra a 1 km por la derecha.

Facilidades: Se trata de un hotel completo de cuatro estrellas con 232 habitaciones. Entre los servicios con que cuenta esta el sauna, gimnasio, tienda de regalos, internet y los demás servicios que puede ofrecer un hotel de esta categoría. Adicionalmente en la administración se pueden contratar actividades de invierno. Los precios por noche en habitación estándar es de \$92 euros (\$116 usd) y en habitación con sauna es de \$104 euros (\$131 usd), incluyen desayuno tipo bufet.



Fig. 111 Saariselka, Rovaniemi e Ivalo, en Finlandia.

Los países o regiones cuya ubicación geográfica les permite viajar a Finlandia con mayor facilidad en cuanto a la distancia relativa y disponibilidad de transporte:

- ✓ Europa.
- ✓ Norteamérica (Canadá, Estados Unidos, México).
- ✓ Rusia occidental (Moscú, San Petersburgo):
- ✓ Asia central (India, Pakistán, Arabia Saudita).

✓ **Suecia:**

Kiruna



Fig. 112 Vista exterior del hostel “Camp Ripan” e interior de una de sus habitaciones.

Coordenadas: Lat. N. 67° 51' 00'' Long. E. 20° 13' 00''

Dirección: Campingvagen 5
C.P. 98135
Camp Ripan, Kiruna, Suecia.

Ciudad de arribo: Kiruna. Existen vuelos diarios partiendo de la Cd. de México por medio de “Scandinavian Airlines” con escalas y conexiones generalmente en Nueva York, Paris y Estocolmo.

Cómo llegar: El hostel se encuentra al noroeste del aeropuerto, a la orilla de la ciudad; se puede alquilar un automóvil en el interior del mismo. A la salida está la calle Flygfaltsvagen, tomarla a la derecha; posteriormente, incorporarse por la izquierda sobre la carretera E10 y conducir al oeste hasta encontrar por la derecha el entronque con la avenida Stationsvagen, girar a la derecha y a los pocos metros tomar por la izquierda la avenida Hjalmar Lundbohmsvagen. Continuar hacia el norte hasta encontrar la calle Matojarvigatan, girar a la derecha y el próximo camino hacia la izquierda es Campingvagen, tomarlo y a 600 mt por la izquierda se encuentra el hostel.

Facilidades: En el edificio principal se encuentran el restaurant, bar y tienda de suvenires. Cerca se localiza la zona de esquí, por lo que se puede contratar el servicio de un instructor, se puede también realizar paseos en moto-nieve, excursiones para ver alces y pasear en trineo tirado por perros. Las 90 habitaciones con que cuenta varían en

tamaño, todas poseen televisión e internet. El precio de la habitación sencilla por noche es de \$1145 coronas (\$153 usd), habitación doble \$1460 coronas (\$195 usd); en ambos casos incluye desayuno. Aceptan la mayoría de las tarjetas de crédito.

Porjus



Fig. 113 Vista exterior del hostel en la villa de Porjus e interior de una de sus habitaciones.

Coordenadas: Lat. N. 66° 57' 00'' Long. E. 19° 49' 00''

Dirección: Stationshuet sn.
C.P. 98260
Porjus, Suecia.

Ciudad de arribo: Lulea. Existen vuelos cada día partiendo de la Cd. de México por medio de “Scandinavian Airlines” con escalas y conexiones generalmente en Nueva York, Frankfurt y Estocolmo.

Cómo llegar: Se puede llegar por autobús o podría rentarse un vehículo en el aeropuerto; para el primer caso se puede tomar el transporte en la estación de Lulea, la línea de autobuses se llama “Flygbussarna”, entre semana hay tres salidas hacia Porjus y una los

fin de semana. El trayecto dura en promedio cuatro horas y deja a los visitantes prácticamente en la entrada del hostal. Si se desea rentar un automóvil, a la salida se encuentra la calle Lulviksvagen, se debe tomar hacia la izquierda y conducir hasta el entronque con la avenida Kallaxvagen donde se debe girar a la derecha; continuar hacia el norte y girar a la izquierda en la avenida Alvbrogagen; continuar hacia el oeste hasta encontrar la carretera E4, se debe incorporar hacia la derecha y continuar conduciendo hacia el norte hasta el cruce de la autopista 97, tomarla hacia la izquierda y conducir hasta el poblado de Jokkmokk. En el centro del pueblo y al terminar la autopista se cruza con la carretera E45, girar a la derecha y continuar conduciendo hacia el norte hasta la villa de Porjus, sobre la misma carretera, a unos metros está la Stationshuett y en el interior el hostal por la izquierda. El viaje dura tres horas y media, existen puntos intermedios donde se puede descansar y comer. Se recomienda precaución al conducir, sobre todo si no se está familiarizado en caminos de nieve o hielo.

Facilidades: El hostal se compone de 4 apartamentos de 1, 2 y 3 recámaras, cuentan con televisión, baño completo, cocina equipada e internet. En la villa existe un supermercado que abastece al pueblo. Se pueden realizar actividades como caminatas o paseo en trineo de perros. Los precios por noche en el apartamento de una recámara para una persona es de \$400 coronas (\$53 usd), para dos personas \$550 coronas (\$73 usd); el de dos recámaras cuesta \$700 coronas (\$93 usd) y el de tres recámaras \$1000 coronas (\$133 usd). Se aceptan la mayoría de las tarjetas de crédito.



Fig. 114 Kiruna, Porjus y Lulea en Suecia.

Los países o regiones cuya ubicación geográfica les permite viajar a Suecia con mayor facilidad en cuanto a la distancia relativa y disponibilidad de transporte:

- ✓ Europa.
- ✓ Norteamérica (Canadá, Estados Unidos, México).
- ✓ Rusia occidental (Moscú, San Petersburgo):
- ✓ Asia central (India, Pakistán, Arabia Saudita).

Tabla 4. Información básica de los destinos para la contemplación de auroras

REGIÓN/PAÍS	LUGAR	COORDENADAS		CIUDAD DE ARRIBO	ACCESIBILIDAD DESDE CD DE ARRIBO		SERVICIOS				
		Latitud	Longitud		Próximo	Remoto	Restaurant	Tel	Internet	TV	Actividades alternas
Alaska, E.U.	Chatanika Lodge	65°06'57''	-147°29'48''	Fairbanks	√		√	√		√	√
	Cheena Hot Springs	65°03'11''	-146°03'20''	Fairbanks	√		√	√		√	√
	Coldfoot/Wiseman	67°15'05''	-150°10'34''	Fairbanks		√	√				√
Canadá	Blachford Lake Lodge	62°10'50''	-112°30'00''	Yellowknife		√	√		√		√
	Takhini Hot Springs	60°52'42''	-135°21'46''	Whitehorse	√		√	√	√		√
	Fort Smith	60°00'19''	-115°56'26''	Fort Smith	√		√	√	√	√	√
Groenlandia	Nuuk	64°11'01''	-51°43'17''	Nuuk	√		√	√	√	√	
Islandia	Reykjavik	64°08'00''	-21°56'00''	Reykjavik	√			√	√	√	
Noruega	Kattfjorden	69°37'14''	18°17'09''	Tromso	√					√	√
	Karasjok	69°28'55''	25°06'18''	Lakselv		√			√	√	√
	Alta	69°56'25''	23°18'38''	Alta	√		√			√	√
Finlandia	Rovaniemi	66°30'00''	25°44'00''	Rovaniemi	√		√	√		√	
	Saariselka	68°25'25''	27°25'03''	Ivalo	√		√	√	√	√	√
Suecia	Kiruna	67°51'00''	20°13'00''	Kiruna	√		√		√	√	√
	Porjus	66°57'00''	19°49'00''	Lulea		√			√	√	√

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por cada destino.

3.5 *Cómo fotografiar la aurora.*

Muchos desean plasmar en imágenes impresas los momentos más importantes y bellos de la vida, más aún tratándose de acontecimientos y fenómenos poco frecuentes para la mayoría de la gente. La aurora es sin duda un conjunto de efectos y juegos de luces que se quisieran conservar para siempre; sobre todo si se considera que para la mayoría de la gente en estas latitudes sería una experiencia difícil de repetir. Capturarla en video resulta prácticamente imposible ya que para ello se requiere de un equipo sofisticado y profesional, muy por encima de las características que ofrecen las cámaras comerciales de mediana calidad que se venden en el mercado; la fotografía es, en este caso, la única forma de poder plasmar las imágenes que brindan los cielos polares durante las noches.

Habría que seleccionar el equipo fotográfico que se debe utilizar, no se trata de adquirir una cámara muy ostentosa la cual a veces ni los profesionales de la fotografía son capaces de dominar, sino un equipo que reúna las características básicas y necesarias para la toma de impresiones de larga exposición y que pueda operarse en modo manual. Cualquiera de los dos formatos disponibles es viable de usar: análogo o digital; aunque este último tiene la ventaja de que la imagen puede ser apreciada instantes después de la toma, además que no se requiere revelar ninguna película como sucede en el caso del formato análogo; por tanto, las características del equipo necesario serían:

- ✓ Cámara fotográfica. Debe ser manual o mixta, capaz de ser reguladas tanto la apertura del diafragma como la velocidad del obturador a fin de realizar tomas por encima de 30 segundos de exposición; Para el caso de la cámara análoga, se recomienda una película con mayor sensibilidad a la luz, un ASA400¹⁵ es recomendable.

¹⁵ American Standard Asociation. En fotografía se refiere a la sensibilidad de la película a la incidencia de luz, por lo que entre más alto sea su número, mayor sensibilidad tendrá.

- ✓ Control remoto con o sin cable. Es altamente recomendado a fin de evitar mover la cámara con las manos mientras se está capturando la exposición, evitando así las tomas movidas o borrosas.
- ✓ Tripié. Indispensable para tomas de larga exposición, se recomienda conseguir uno robusto para que no sea movido por el viento. Evita mover la cámara y con ello las tomas borrosas o movidas.
- ✓ Baterías. Es muy recomendable llevar al menos dos juegos adicionales de baterías como repuesto, ya que a bajas temperaturas el rendimiento de las mismas es menor y sería muy difícil conseguir las en medio de la noche y en un lugar remoto.
- ✓ Abrigo para cámara. Con las bajas temperaturas es muy común que se empañen las lentes, además de que en temperaturas por debajo del punto de congelación algunas funciones pueden bloquearse; por lo que siempre debe estar abrigada la cámara mientras se encuentre a la intemperie.
- ✓ Lente gran angular. Es un accesorio menos indispensable, es útil solo en el caso de que se desee una toma con mayor ángulo de cobertura, aunque cabe señalar que mediante su empleo existe cierta distorsión del horizonte, el cual se torna curvo hacia el centro de la escena.

Una vez listo el equipo y en el lugar de las tomas, habría que instalar la cámara con el enfoque hacia el infinito, procurando incluir dentro de la escena algún objeto de referencia el cual además de darle mayor vida a la toma, sirve para darle profundidad y brinda una idea de las dimensiones de las luces. Una buena idea podría ser incluir alguna cabaña, personas, pinos, un lago, una montaña o un animal del entorno.

Una buena toma se genera con una apertura amplia del diafragma, generalmente en $f/2$ y con 30 segundos de exposición; aunque siempre es necesario realizar diversas combinaciones en cada toma considerando que a una apertura menor del diafragma le corresponde un mayor tiempo de exposición y viceversa. De esta manera se puede escoger entre diversas imágenes la mejor toma, digna de ser enmarcada y exhibida en la estancia de cualquier hogar.

CONCLUSIONES.

Los accidentes geológicos de la Tierra y la belleza de sus fenómenos naturales son por mucho sorprendentes, algunos de ellos son desconocidos para la mayoría de sus habitantes mientras que para otros les resulta difícil creer que pudieran existir; pero en muchos de los casos bastaría con agudizar los sentidos y en casi cualquier lugar de la superficie terrestre se podrían encontrar, valorar y disfrutar de ellos.

En este trabajo se ha dado un repaso a las características físicas del Sol y al dinamismo que en él se genera; se han analizado los componentes del constante viento solar durante su actividad moderada así como en períodos extraordinarios de actividad y en consecuencia el lector ha podido comprender el comportamiento solar en su dinamismo y en la duración de sus ciclos; con lo que podría asegurar que el ciclo solar no es de once años como generalmente se menciona en los libros de texto, sino que éste varía de manera dramática e impredecible.

Se ha revisado la dinámica interior de la Tierra y ha sido posible entender el origen de su magnetósfera con lo que resalta la importancia de esta última para la vida como escudo protector radiactivo. De manera particular se ha mencionado a la ionósfera y se ha estudiado su comportamiento ante el arribo de emanaciones extraordinarias de material solar, fungiendo como cuna para las múltiples formas y colores visibles en la aurora polar. Se aprendió también que la aurora se manifiesta al mismo tiempo en igualdad de intensidad, forma y colores en los dos hemisferios. Se ha encontrado que bajo ciertas condiciones algunas ciudades localizadas en latitudes medias también son testigo de este fenómeno al menos una vez durante el máximo de cada ciclo solar. Paralelo a lo anterior, se ha hecho el intento por mencionar todas las formas y colores posibles encontrados en las diversas manifestaciones aurorales.

Gracias al fácil acceso de las imágenes en tiempo real de diversas cámaras del satélite SOHO es posible observar las condiciones actuales del Sol, con lo que cualquier usuario

de un ordenador puede analizar sus grupos de manchas y las explosiones de masa coronaria que de él provienen, incluso es posible darle seguimiento en lapsos convenientes a cualquier acontecimiento que en él se suscite. Por lo tanto, se ha logrado obtener los conocimientos necesarios para poder aventurarse a predecir con un aceptable grado de precisión *cuándo*, de qué *magnitud* será el desarrollo de las auroras que se desarrollen en el futuro y más aún en qué *sitios* o *regiones* del mundo pudieran ser apreciadas. Se cuenta también con una guía que muestra los lugares más adecuados para la observación de las mismas en función de las mayores probabilidades de éxito, a la vez se indican los nombres de los principales centros de recreación, hoteles o pequeños hostales que además de otorgar un cálido descanso, muchas de ellas también pueden brindar la posibilidad de practicar actividades alternas durante el día. Con lo anterior se puede ahora saber a qué ciudad principal arribar y cómo trasladarse a cada uno de estos sitios elegidos para la observación. A fin de complementar la guía realizada, se ha elaborado un tutorial básico pero a la vez importante que guía los pasos de manera simple para la captura de imágenes fotográficas de la actividad auroral y de esta manera poder plasmar gráficamente esa experiencia.

Por otro lado, se conoce ahora el significado que la naturaleza y sus accidentes tienen para la cultura japonesa, un pueblo que disfruta de la observación de diversos fenómenos y de la práctica de actividades que durante generaciones le ha permitido interactuar con su entorno, con lo que con esto brinda un claro ejemplo de la preocupación y del cuidado del ambiente natural. También se sabe por medio de la literatura ancestral escandinava la interpretación que le daban a la aurora los pueblos nórdicos y las leyendas que de ésta se derivaron a través de los años.

En resumen, a lo largo de este texto ha sido posible comprender, sin necesidad de profundizar tanto en cada tema tratado, una de las consecuencias ocasionadas por la relación Sol-Tierra dadas por los períodos extraordinarios de la actividad solar y su repercusión en la magnetósfera terrestre, así como también de la respuesta de la ionósfera al gestar en su interior la *aurora polar*. De esta manera se ha podido percibir qué son en sí las auroras desde el punto de vista físico, su formación en función de la actividad solar

así como de sus diversas formas y colores en distintas latitudes de planeta Tierra. Se ha podido saber lo que estas luces danzantes significaban para pueblos ancestrales, particularmente para los asentamientos escandinavos y lo que representan para diversas culturas hoy en día, especialmente para el pueblo japonés entre otros.

Desde la perspectiva social, en este trabajo ha quedado claro como nace el turismo y como ha ido evolucionando a través del tiempo dando pie a lo que actualmente conocemos como ecoturismo. Una vez comprendido lo anterior, se consiguió vincular a un fenómeno geofísico con la economía de las regiones donde se observa mediante el análisis del impacto económico que los visitantes atraídos por la aurora generan en su viaje a esos destinos; un flujo turístico que se ha incrementado vigorosamente en los últimos años trayendo consigo una mejora económica regional y de manera particular para el comercio de las artesanías autóctonas que en muchos casos representan la principal fuente de ingreso para muchos asentamientos, lo anterior se logró por medio del análisis de dos de las zonas más visitadas por turistas en Norteamérica: Fairbanks en Alaska y Yellowknife en Canadá, con lo que se ha obtenido una idea de la suma en gastos que los turistas realizan durante su estancia en esas regiones mientras acuden con el objetivo de conocer y apreciar las luces boreales, lo que se ha traducido en una repercusión importante para la transformación del paisaje adaptándose en infraestructura conforme va creciendo la demanda de los servicios turísticos.

Más de un lector podría coincidir en que el viaje para observar las luces del norte representa un gasto muy por encima de lo que su presupuesto le pudiera permitir para un viaje de placer, y quizá más aun considerando que podría ser privado del confort que pudieran brindarle las instalaciones que ofrecen destinos más concurridos y menos alejados; sin embargo, más de dos podrían pensar que todo lo anterior bien vale la pena a cambio de una experiencia cuya gratificación sin duda durará mucho más allá del tiempo que demoren en subsanar los gastos realizados por este motivo.

Bibliografía

- Ratcliffe, J. A., (1972) "An Introduction To The Ionosphere and Magnetosphere".
- Kamide, Y. and Baumjohann W., (1993) "Magnetosphere-Ionosphere Coupling".
- Muñiz Barreto, Luis., (1997) "El Geomagnetismo".
- Vallance Jones, Alister., (1974) "Aurora".
- Walt, Martín., (1965) "Auroral Phenomena".
- Störmer, Carl., (1955) "The Polar Aurora".
- Brekke, Asgeir and Egeland, Alv., (1983) "The Northern Light"
- Akasofu, I., and Kan, J.R., (1981) "Physics of Auroral Arc Formation".
- Bone, Neil., (1991) "The Aurora, Sun-Earth Interactions".
- Chapman, Sydney., (1964) "Solar Plasma, Geomagnetism and Aurora".
- Ratcliffe, J.A., (1970) "Sun, Earth and Radio".
- Davis, Neil., (1992) "The Aurora Watchers Handbook".
- Campbell, Wallace H., (1997) "Introduction To Geomagnetic Fields".
- Schröder, Wilfred., (2005) "Historical Events And People In Aeronomy, Geomagnetism And Solar-Terrestrial Physics".
- Tandberg-Hanssen, Einar and Wilson, Robert M., (1985) "Solar Flares And Coronal Physics Using P/OF As A Research Tool".
- Verlag, Komet., (2006) "Astrónomica".
- Alaska Department of Natural Resources., (2002) "Economic Assessment of True North Haul Road on Winter Tourism in Alaska".

Tourism and Parks Industry, Tourism and Investment Government of the Northwest Territories., (2007) “Northwest Territories 2006-2007 Aurora Visitor Survey”.

Resources Wildlife and Economic Development Government of the Northwest Territories., (2002) “The Economic Impact of Aurora Tourism on the NWT Economy”.

Ellis Consulting Services for Resources Wildlife and Economic Development Government of the Northwest Territories., (2002) “Aurora Tourism, Economic Impact on the NWT”.

Fairbanks Conventions and Visitor Bureau., (2008) “Japan Airlines Expands Summer Flights to Fairbanks”.

Zamudio Tiburcio A., (1992) “Turismo Ecológico”.

Casasola L., (1990) “Turismo y Ambiente”.

Secretaría de Turismo., (2004) “Turismo Alternativo, Una nueva forma de hacer turismo”.

D. A. Barrado y J. Calabuig, (2001) “Geografía mundial del turismo.”

Stephen Wearing y John Neil, (2000) “Ecoturismo.”

Alain Mesplier y Pierre Bloc-Duraffour, (2000) “Geografía del turismo en el mundo”

Fuentes virtuales:

[http://www.El sol y la tierra_una relacion tormentosa.mht](http://www.El%20sol%20y%20la%20tierra_una%20relacion%20tormentosa.mht)
[http://www.Alerta sobre Tormenta Solar.mht](http://www.Alerta%20sobre%20Tormenta%20Solar.mht)
[http://www.la actividad solar.mht](http://www.la%20actividad%20solar.mht)
[http://www. Departamento de Física Espacial _ Instituto de Geofísica.mht](http://www.Departamento%20de%20F%C3%ADsica%20Espacial_%20Instituto%20de%20Geof%C3%ADsica.mht)
<http://forestman.espacioblog.com/post/2008/04/06/luces-del-norte-aurora-boreal>
<http://vso.nso.edu/cgi/catalogui>
<http://pwg.gsfc.nasa.gov/istp/events/monitor/>
<http://www.hao.ucar.edu/data/index.php>
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>
<http://solar.uleth.ca/>
<http://www.spaceweather.com/>
<http://umbra.nascom.nasa.gov/eit/>
<http://pooh.engin.umich.edu/ddoud/kiosk/>
<http://www.srl.caltech.edu/ACE/>
<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/events/>
http://www.geocities.com/ce5ja/tec/cox_Indices_solares.htm
http://www.telefonica.net/web2/ismael/REMER/HF/Info_Indicadores.htm
<http://www.ipellejero.es/hf/>
<http://degredosalcielo.blogcindario.com/2010/05/00008-el-minimo-solar-actual-y-el-cambio-climatico.html>
http://es.wikipedia.org/wiki/Mancha_solar
<http://www.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/new5.html>
<http://exit78.com/the-sun-has-found-some-spots/>
<http://observatorio.info/2002/12/eclipse-solar-en-zimbabwe/>
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/114/htm/sec_4.htm
<http://native-science.net/Religion.Sun.htm>
<http://science.nasa.gov/heliophysics/>
<http://thales.cica.es/files/glinex/practicas-glinex05/biologia/rocas/x47.html>

<http://www.ea8brw.es/index.php/estado-de-la-ionosfera>
<http://www.noaa.gov/>
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/114/htm/sec_7.htm
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1026-87742010000200016&script=sci_arttext
<http://cosmoecologos.blogspot.com/2011/08/las-tormentas-solares.html>
<http://intercentres.cult.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Electromagnetismo/Electromagnetismo03.htm>
<http://luisperezsolis.blogspot.com/2011/09/exosfera-y-cinrurones-de-van-allen.html>
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/32/html/sec_9.html
<http://www.albany.edu/faculty/rgk/atm101/aurora.htm>
<http://www.gi.alaska.edu/AuroraForecast>
<http://www-pi.physics.uiowa.edu/sai/gallery/>
http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2000/ast25apr_1m/
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>
<http://www.srl.caltech.edu/ACE/>