

El Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario de Coeneo, Michoacán

Proyecto Ejecutivo

Departamento de Física Espacial y
Ciencias Planetarias
Instituto de Geofísica, UNAM

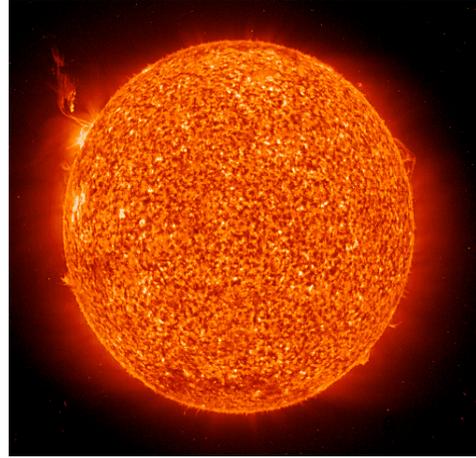
Abril de 2001



Dedicado a la memoria de Silvia Bravo

Dr. J. Américo González Esparza

M.C. Armando Carrillo Vargas



Departamento de Física Espacial y
Ciencias Planetarias
Instituto de Geofísica, UNAM
Ciudad Universitaria, Coyoacán
México D.F. 04510

Tel: (01) 56224142 / 56224103/ 56224148

Fax: (01) 55 50 24 86

<http://ariel.igeofcu.unam.mx/index2.html>

DIRECTORIO UNAM

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Rector

Lic. Enrique del Val Blanco

Secretario General

Dr. René Drucker Colín

Coordinador de la Investigación Científica

INSTITUTO DE GEOFÍSICA

Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi

Director

Dr. Amando Leyva Contreras

Secretario Académico

Dra. Cecilia Caballero Miranda

Secretaria Técnica

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. CLIMA ESPACIAL	4
1.2. LA TÉCNICA DE CENTELLEO INTERPLANETARIO	7
1.3. RED MUNDIAL DE OBSERVATORIOS DE CIP	8
1.4. EL RADIOTELESCOPIO EN MÉXICO	9
2. OBJETIVOS CIENTÍFICOS DEL PROYECTO	9
3. PRIMERA ETAPA: EL RADIOTELESCOPIO PROTOTIPO	10
3.1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL ARREGLO	11
3.2. FRECUENCIA PROTEGIDA POR LA COMISIÓN FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES	14
4. SEGUNDA ETAPA: RADIOTELESCOPIO FINAL	15
4.1. SELECCIÓN DEL LUGAR	15
4.2. DONACIÓN DEL TERRENO	15
4.3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL ARREGLO	17
4.4. COLABORACIÓN INTERNACIONAL	19
4.5. APOYOS FINANCIEROS	20
4.6. AVANCES GENERALES	21
5. INVESTIGADORES PARTICIPANTES EN EL PROYECTO	24
5.1. RESPONSABLES DEL PROYECTO	24
5.2. RED MUNDIAL DE ALARMA GEOMAGNÉTICA	24
6. REFERENCIAS	25

1. Introducción

1.1. Clima Espacial

El medio interplanetario no está vacío, sino que está permeado por un flujo continuo de partículas y campo magnético que se alejan radial y supersónicamente del Sol, y el cual se le conoce como *viento solar* [Kivelson & Russell, 1994]. El viento solar se expande más allá de la órbita de Plutón y es el medio por el cual se propagan las perturbaciones que salen del Sol hacia el medio interplanetario. Desde hace varias décadas se sabe que el campo magnético de la Tierra se ve alterado como consecuencia de la actividad solar. La Figura 1 es un esquema en donde se muestra cómo una *eyección de masa coronal (EMC)* produce una perturbación de gran escala que se propaga a través del viento solar. El estudio de las EMC y otras manifestaciones de actividad solar tiene, no sólo un gran valor científico por la diversidad de procesos físicos de plasma que involucran, tanto en su generación en el Sol como en su propagación en el medio interplanetario, sino que también tiene un enorme valor práctico debido a que algunas de estas perturbaciones pueden llegar a afectar el entorno terrestre y pueden causar daños severos a nuestra tecnología [Kappenman, 1996]. Ocasionalmente, hay EMC de gran tamaño que se propagan a muy altas velocidades (llevan una onda de choque al frente) y contienen una configuración magnética muy particular. Cuando este tipo de EMC pasa cerca de la Tierra, "golpea" el campo magnético de nuestro planeta y comienza a oscilar, produciendo una serie de fenómenos físicos que se conocen como *tormenta geomagnética*. Como lo muestra la Figura 2, los satélites y las telecomunicaciones pueden ser severamente afectados por los efectos de una tormenta geomagnética, en particular, esto implica también alteraciones en todos los sistemas que dependen del sistema global de posicionamiento (GPS) (aviones, barcos, exploraciones geofísicas, etc.). Las tormentas geomagnéticas inducen corrientes eléctricas que dañan las líneas de alta tensión y los transformadores, así como también gasoductos y líneas de ferrocarril [Lanzerotti, 1979; Carrillo, 1998; Programa Nacional de Geomagnetismo de Canadá, URL: (http://www.geolab.nrcan.gc.ca/geomag/e_effects.html)]. Afortunadamente no todas las EMC que expulsa el Sol se propagan en dirección hacia la Tierra, y de las que pasan cerca de nuestro planeta, no todas tienen las características necesarias para producir una

tormenta geomagnética. Sin embargo, cuando ocasionalmente una EMC de las características antes mencionadas pasa por la Tierra, los daños pueden ser muy graves, para dar un ejemplo, en 1989 (el pasado máximo de actividad solar) el gobierno de los Estados Unidos estimó que las corrientes inducidas por tormentas geomagnéticas habían causado desperfectos en transformadores eléctricos, causando pérdidas por un costo de aproximadamente 22 millones de dólares [Kappenman, 1996].

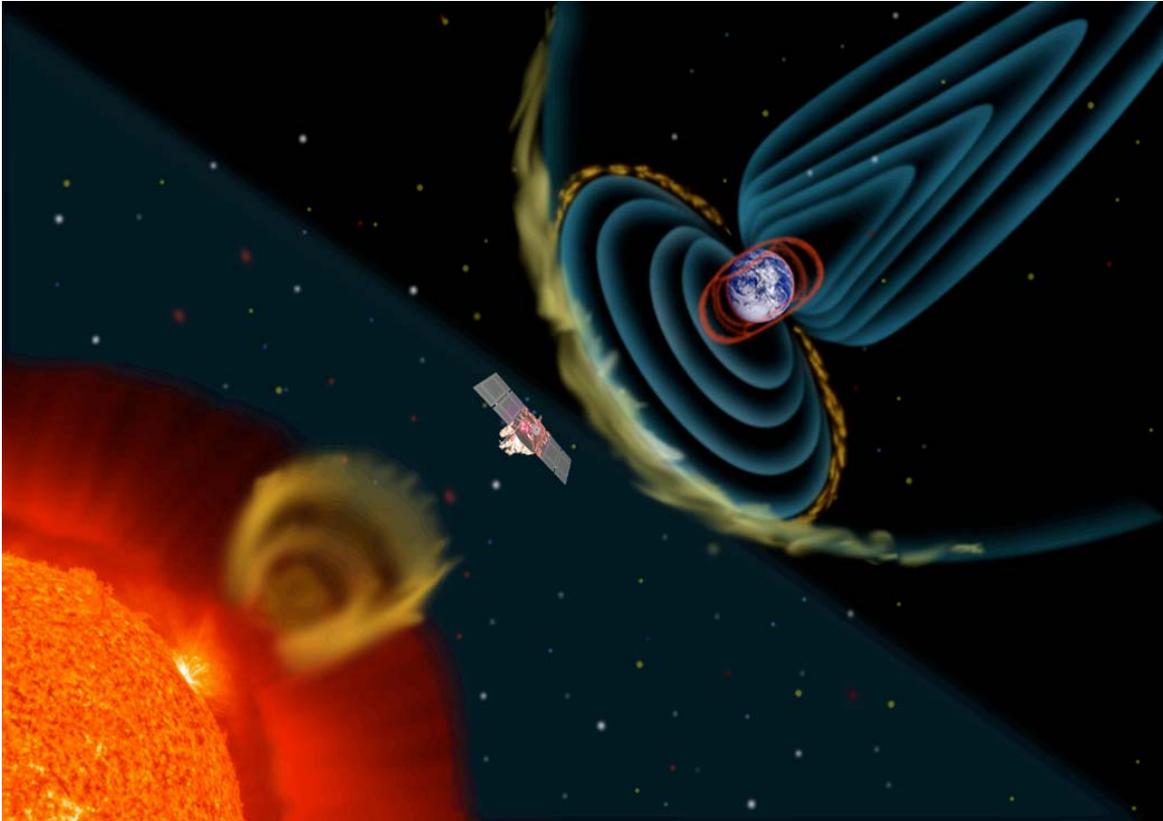


Figura 1. Las *eyecciones de masa coronal* son enormes nubes de plasma que provienen de la atmósfera superior del Sol. Estas se propagan a través del viento solar y algunas, con determinadas características, ocasionalmente pueden pasar cerca de la Tierra, perturbando temporalmente el campo magnético de nuestro planeta y penetrando con su carga de partículas, lo cual ocasiona una *tormenta geomagnética*. En el dibujo, que no está a escala, se representa una secuencia de una eyección de masa coronal, que se propaga a través del medio interplanetario y es detectada por un satélite localizado entre el Sol y la Tierra. Tiempo después la nube “choca” contra el campo magnético de la Tierra provocando una tormenta geomagnética.

Debido a todo esto, el estudio de estas perturbaciones que viajan del Sol hacia la Tierra ha adquirido una importancia relevante y hasta se ha acuñado el término *clima espacial* para

designar el estado de perturbación del viento solar en el medio interplanetario y el ambiente magnético que rodea la Tierra. La predicción del clima espacial, con suficiente antelación como para permitir tomar medidas que reduzcan los daños producidos por las tormentas geomagnéticas, se ha vuelto una prioridad para los grupos de investigación espacial [Rostoker & Falthammar, 1967; Gonzalez & Tsurutani, 1987; Joselyn, 1995].



Figura 2. Algunos de los sistemas o servicios que son dañados por las tormentas geomagnéticas inducidas por la actividad del Sol.

Como parte de este esfuerzo en lograr predecir el clima espacial, se ha planeado desarrollar una red mundial de radiotelescopios de centelleo interplanetario que vigilen las perturbaciones de gran escala que son emitidas por el Sol y que ocasionalmente pueden alcanzar a la Tierra y producir tormentas geomagnéticas. Esta red nos permitiría establecer, junto con otras observaciones del Sol y del medio interplanetario, un sistema mundial de alarma geomagnética que haría saber, con al menos un día o dos de anticipación, si hay una perturbación importante en el medio interplanetario viajando del Sol hacia la Tierra.

Más información sobre clima espacial puede encontrarse en las siguientes páginas URL:

- Conexión Sol-Tierra (<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/istp/outreach/conexion.html>)
- Boletín Skylab, UNAM, México (<http://ariel.igeofcu.unam.mx/skylab/>)
- Ciencia en la NASA (<http://ciencia.msfc.nasa.gov/>)
- International Solar-Terrestrial Program (ISTP) (<http://www-istp.gsfc.nasa.gov/>)
- Living with a Star Program (<http://lws.gsfc.nasa.gov/>)
- Today's Space Weather (<http://www.sec.noaa.gov/today.html>)
- Lessons Learned from Solar Cycle 22 por J. Kappenman (<http://www.mpelectric.com/storms/>)
- Programa Nacional de Geomagnetismo de Canadá (http://www.geolab.nrcan.gc.ca/geomag/e_effects.html)

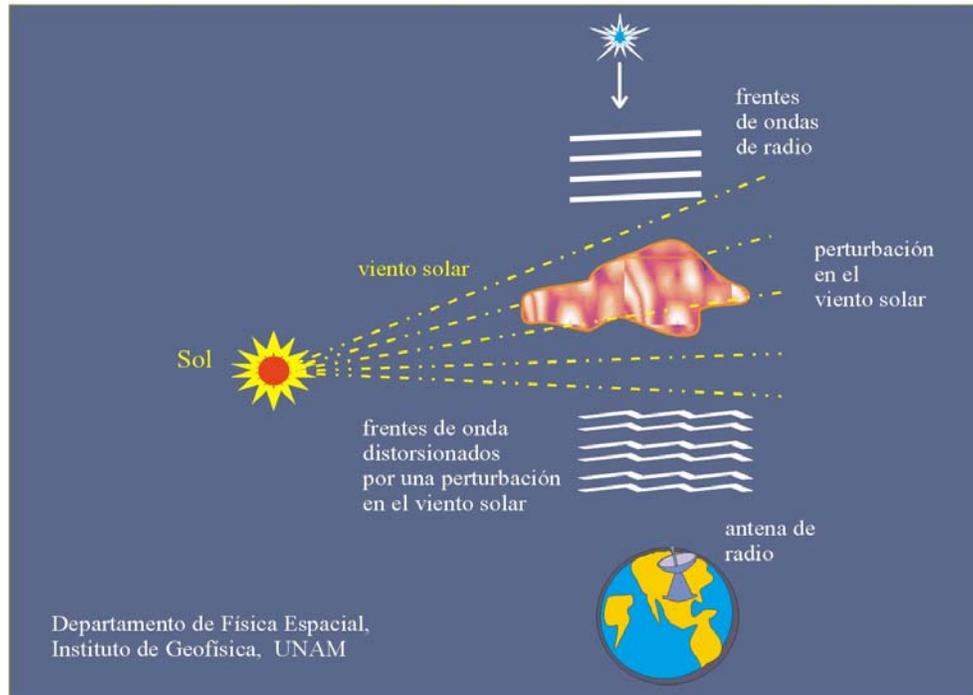


Figura3. Bosquejo del fenómeno de centelleo interplanetario y la configuración: Sol, Tierra, fuente de radio y perturbación de gran escala en el viento solar.

1.2. La Técnica de Centelleo Interplanetario

En el Universo existen objetos estelares que son fuentes de ondas de radio, por ejemplo: cuasares y radiogalaxias. Las ondas de radio emitidas por estos cuerpos pueden detectarse por medio de radiotelescopios en la Tierra. La técnica del *centelleo interplanetario* (CIP) emplea observaciones de varios cientos de estas fuentes de radio estelares para generar mapas diarios del cielo. La técnica se basa en el estudio de las variaciones oscilantes (centelleo) que presenta la intensidad de señal de una fuente de radio estelar captada por el radiotelescopio. Este fenómeno se debe principalmente a la dispersión de las ondas de radio que produce la microturbulencia del viento solar [Ananthakrishnan *et al.*, 1980]. Estos mapas de CIP permiten hacer una detección indirecta de las perturbaciones de gran escala que se propagan del Sol a la Tierra. La Figura 3 muestra un esquema simplificado del escenario de cómo se produce el fenómeno de CIP. En la figura aparece una fuente de radio estelar emitiendo ondas electromagnéticas que se propagan a través del cosmos. Al pasar las ondas de radio por viento solar perturbado (nube de plasma), los frentes de onda se

distorsionan y la señal de la fuente de radio es captada con centelleo en un radiotelescopio en la Tierra.

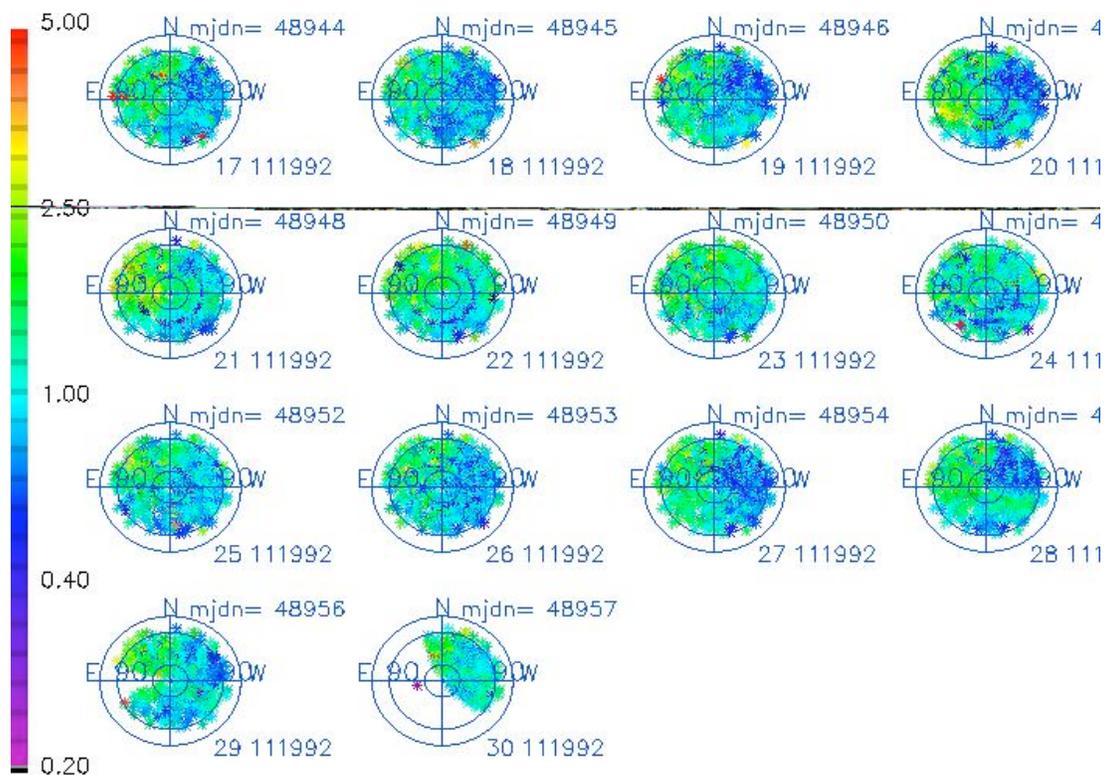


Figura 4. Secuencia de mapas de índices de CIP del observatorio de Cambridge, Inglaterra. Los 14 mapas muestran la evolución a gran escala del viento solar del 11 al 30 de noviembre de 1992.

El primer observatorio de CIP fue construido en el Observatorio de Mullard de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, a mediados de la década de los sesenta. La Figura 4 muestra un ejemplo de una secuencia de mapas de índices de CIP obtenidos por el observatorio de Cambridge.

1.3. Red Mundial de Observatorios de CIP

Para poder estudiar el viento solar y las perturbaciones de gran escala que salen del Sol de una manera sistemática utilizando la técnica del CIP, es necesario combinar mediciones de radiotelescopios ubicados en diferentes longitudes geográficas. Lo anterior se debe a la

rotación de nuestro planeta; para “seguir” al Sol es necesario que haya siempre al menos un radiotelescopio terrestre del lado día. Cada observatorio de CIP genera un mapa de varios cientos de fuentes estelares de radio por día, similar a los ejemplos mostrados en la Figura 4. Para lograr un seguimiento completo de las perturbaciones que salen del Sol se requieren combinar cada día de al menos cuatro mapas de CIP producidos por diferentes observatorios. El proyecto del radiotelescopio en México plantea formar parte de una red mundial con observatorios en otras longitudes, tales como el radiotelescopio del National Centre for Radio Astrophysics (NCRA) en Pune, India (URL: <http://www.ncra.tifr.res.in/>); los del Solar Terrestrial Environment Laboratory (STEL) en Nagoya, Japón (URL: http://stesun5.stelab.nagoya-u.ac.jp/uhf_ant-e.html), y el European Incoherent Scatter Radar (EISCAT) en el norte de Escandinavia: (URL: <http://www.aber.ac.uk/~dphwww/research/ips.html>).

1.4. El radiotelescopio en México

Motivados por la idea de esta red mundial, el proyecto surgió en México en 1992 a raíz de un convenio de colaboración entre la UNAM y el Instituto Tecnológico de Florida (FIT). La Dra. Silvia Bravo, quien había realizado sus estudios doctorales con datos del observatorio de CIP de Cambridge, fue la iniciadora y líder de este proyecto en nuestro país. El proyecto está a cargo del Departamento de Física espacial y Ciencias Planetarias del Instituto de Geofísica de la UNAM.

2. Objetivos Científicos del Proyecto

La construcción de un radiotelescopio para detectar centelleo interplanetario en México tiene como objetivo científico principal el rastreo de perturbaciones transitorias de gran escala que viajan del Sol a la Tierra. El estudio emplea la técnica del CIP, la cual se basa en el centelleo que las perturbaciones interplanetarias producen en las señales provenientes de fuentes de radio cósmicas de diámetro pequeño.

Como parte de un proyecto de cooperación internacional se pretende formar parte de una red de observatorios dedicados a la detección y seguimiento de estas perturbaciones en un

programa conjunto con los radiotelescopios del NCRA de la India, STEL en Japón y EISCAT en Escandinavia. La red de observatorios tiene como objetivo mejorar el rastreo sistemático de las perturbaciones del viento solar en el medio interplanetario durante su trayectoria hacia la Tierra. Esta red permitirá mantener un monitoreo continuo del Sol y de la actividad en el medio interplanetario, considerando que en todo momento, alguno de los radiotelescopios estará observando hacia el Sol.

El proyecto está planteado en dos etapas. La primera etapa consistió en la construcción de un arreglo dipolar prototipo que integró las características generales de operación del arreglo final. La segunda etapa consiste en la construcción del arreglo final en Coeneo, Michoacán.

3. Primera Etapa: El Radiotelescopio Prototipo

México no tiene una escuela en las técnicas de radiotelescopía, por lo que los primeros pasos para desarrollar el proyecto del radiotelescopio fueron la formación de personal técnico capacitado en radiotelescopía, la adquisición de equipos de medición sofisticados y el establecimiento de colaboraciones con instituciones académicas que nos brindaran apoyo técnico. Por lo anterior, como una primera etapa se planteó la construcción de un radiotelescopio prototipo en las instalaciones del Observatorio Geomagnético del Instituto de Geofísica en Teoloyucan, Edo. de México. El diseño prototipo de la antena, sistema de receptores y la matriz de Butler de cuatro puertos, estuvo a cargo del Dr. Michael Thursby del Instituto Tecnológico de Florida. La implementación del diseño, pruebas y construcción del prototipo estuvieron a cargo del equipo técnico de la UNAM. Esta primera etapa tuvo varios logros entre los que resaltan:

- La formación de un equipo de técnicos mexicanos entrenados especialmente para la construcción de un arreglo dipolar de gran área y su electrónica asociada.
- La adquisición de los equipos de medición y calibración.
- La verificación de los diseños y materiales que se emplearán en el radiotelescopio final. Con esto se seleccionaron los materiales de construcción del arreglo dipolar y se comprobó la calidad de los componentes electrónicos.
- La integración al proyecto de estudiantes que realizaron tesis y servicios sociales.

3.1. Descripción Técnica del Arreglo

El prototipo es un arreglo de antenas dipolares de gran área con características similares al radiotelescopio de Cambridge [Purvis et al., 1987], pero implementado varias mejoras como son el empleo de tecnología moderna (mejores componentes electrónicos), una frecuencia de operación más alta (140 MHz) y la ubicación del radiotelescopio en una latitud geográfica más baja, lo cual le permite observar otras fuentes de radio.

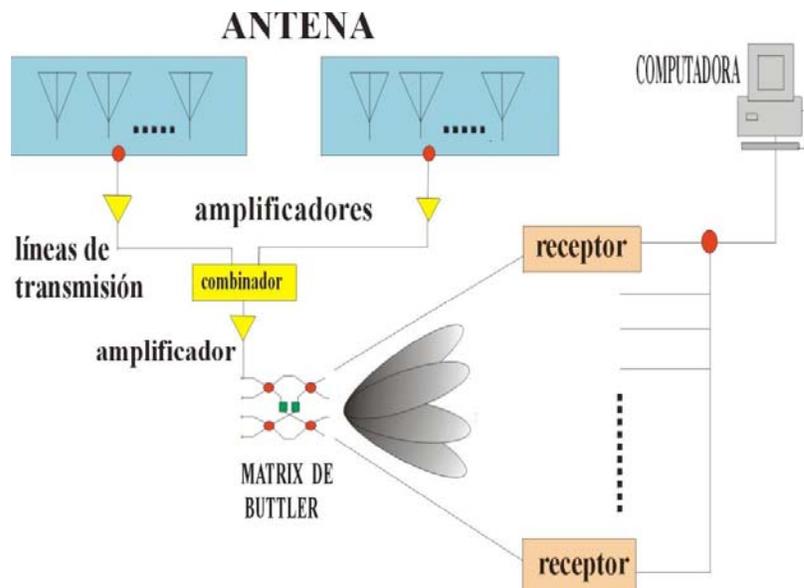


Figura 5. Componentes básicos de un radiotelescopio.

La Figura 5 muestra las componentes básicas de un radiotelescopio: la antena, los amplificadores, la matriz de Butler y los receptores, de dónde finalmente se capta la señal digitalmente en una computadora y los datos se envían a través de Internet. Es importante apuntar que el diseño del arreglo prototipo es muy semejante al diseño del arreglo final; la diferencia es que el área de colección del arreglo final es más grande, por lo que para este se empleará una matriz de Butler mayor y más receptores.

3.1.1. Características de las Componentes

El elemento básico del arreglo planar es un dipolo de onda completa, fabricado con alambre de cobre desnudo (14/AGW). Los dipolos se integran a una línea de transmisión formada con alambres paralelos de cobre desnudo del mismo calibre. En la Figura 6 se muestran las dimensiones y detalles del ensamble de un dipolo.

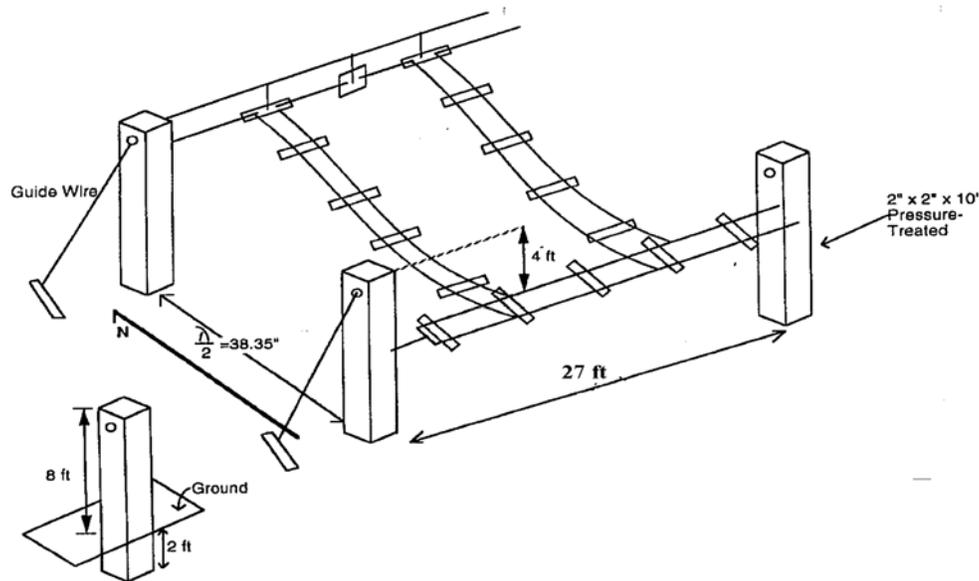


Figura 6. Ensamble de un dipolo a la línea de transmisión.

Cada sección básica del arreglo prototipo se compone de 16 dipolos ensamblados a una línea de transmisión paralela. La longitud de la unidad básica es de 34.8 metros de largo. El arreglo de cada línea este-oeste (E-O) consta de 64 dipolos. El arreglo total se integra con 16 secciones básicas, formando cuatro líneas E-O

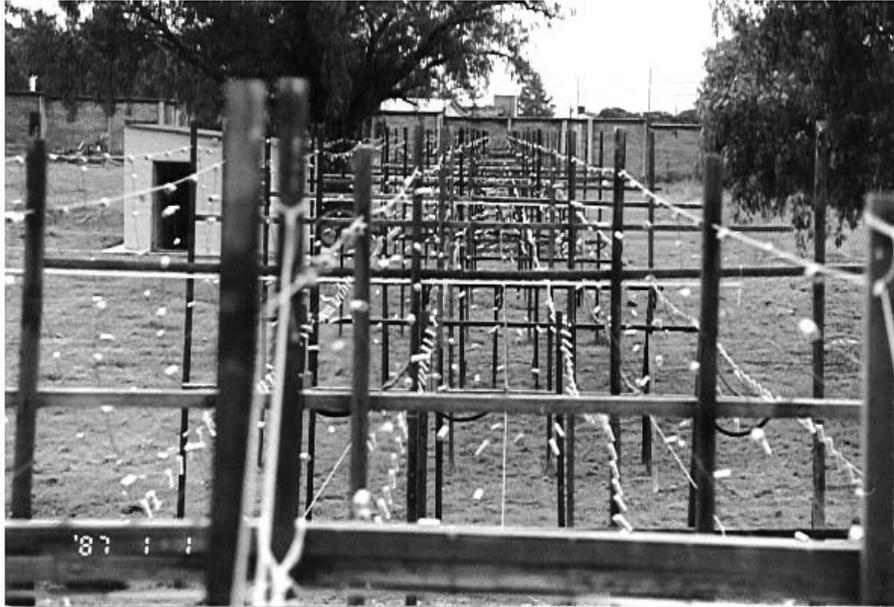


Figura 7. Fotografía del arreglo prototipo en el Observatorio Geomagnético de Teoloyucán.

Las señales amplificadas de cada sección son sumadas vectorialmente por medio de combinadores de potencia 2:1, lo cual permite combinar adecuadamente las señales recibidas en las cuatro unidades de cada línea E-O en un esquema electrónico tipo árbol. A su vez, la señal de cada línea E-O es transmitida vía un cable coaxial hasta la caseta de registro donde es alimentada a su receptor respectivo.

Con el arreglo prototipo se puede trabajar en una configuración de potencia total, esto es, sumando las señales de todos los dipolos para alimentar un solo receptor, con lo cual se tiene un solo haz detector. También se puede tener una configuración con 4 haces, la cual se obtiene al emplear una matriz de Butler de 4 puertos antes de alimentar los 4 receptores.

El receptor diseñado para el arreglo prototipo es el conocido como receptor superheterodino. En la Figura 7 se muestra una fotografía del arreglo dipolar prototipo construido en el Observatorio Geomagnético de Teoloyucan

3.2. Frecuencia Protegida por la Comisión Federal de Telecomunicaciones

El elemento más importante en el diseño de una antena es su frecuencia de operación. El ruido electromagnético generado por la actividad de la vida diaria en las ciudades modernas (industrias, radio, televisión, teléfonos celulares, aparatos electrodomésticos, etc.) perjudica peligrosamente los estudios científicos que se realizan en la ventana de radio. En México no existía oficialmente una banda dentro del espectro de radio asignada y protegida para fines de investigación científica, por lo que fue necesario tramitarla ante la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Gracias a las gestiones realizadas por los miembros del proyecto se logró que la Subsecretaría de Comunicaciones y Desarrollo Tecnológico, y la Dirección General de Políticas y Normas de Comunicaciones de la SCT asignaran la banda de frecuencia de 138.9 a 140.4 MHz para uso exclusivo de investigación espacial (oficio 2574). Posteriormente este acuerdo apareció en la segunda sección del *Diario Oficial* del 11 de enero de 1999, en donde la Comisión Federal de Telecomunicaciones publicó el cuadro nacional para atribuciones de frecuencias.

4. Segunda Etapa: Radiotelescopio Final

4.1. Selección del Lugar

Los estudios de ruido electromagnético realizados en Teoloyucán y lugares cercanos al Distrito Federal mostraron que existen altos niveles de ruido y que el arreglo final se debería construir lejos de ciudades con mucha población y actividad industrial. Durante 1997, miembros del personal técnico del Departamento de Física Espacial y Ciencias Planetarias del IGEF realizaron estudios de ruido electromagnético ambiental en diferentes locaciones: Hidalgo, San Luis Potosí, Estado de México y Michoacán, buscando lugares que cumplieran los requerimientos para la instalación del radiotelescopio final. Algunos de estos requerimientos son: un nivel bajo de ruido electromagnético en nuestra banda de operación, una planicie rodeada de montañas que no tengan una altura mayor de 5⁰, vías de comunicación y centros universitarios cercanos. Basados en este estudio se determinó que el Municipio de Coeneo, Michoacán (ver Figura 9), es un sitio idóneo ya que presenta un nivel aceptable de ruido electromagnético en la banda de 138.9-140.4 MHz; el lugar se encuentra en una ciénaga rodeada de montañas de poca altitud, su clima no es extremo y cuenta con buenas vías de comunicación que permiten llegar por automóvil a la Ciudad de Morelia en aproximadamente cuarenta minutos y a la Ciudad de México en tres horas y media. Por otro lado, en Morelia se encuentra el campus del Instituto de Astronomía de la UNAM, el Tecnológico de Morelia y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, instituciones con las cuales planea colaborar.

4.2. Donación del Terreno

En junio de 1999 se realizaron varias reuniones con el Profesor Mario García Juárez, presidente municipal de Coeneo, Michoacán, y con miembros de la comunidad ejidal de Félix Ireta, con el propósito de presentarles el proyecto del radiotelescopio y solicitarles la donación de un terreno para construir la antena. Después de varias pláticas la comunidad de Félix Ireta acordó donar un terreno de aproximadamente 3.5 hectáreas para construir el

radiotelescopio. Los donadores del terreno fueron: Sra. Juana Vega, Sr. Eladio Navarro Arredondo, Sr. Francisco Castellón y el Sr. Mario Cruz Arredondo. Posteriormente, el personal del Departamento de Bienes Inmuebles de Patrimonio Universitario de la UNAM realizó, junto con las autoridades municipales y los ejidatarios, los trámites legales para concretar la donación del terreno cedido a la UNAM. El terreno donado se muestra en la Figura 10.

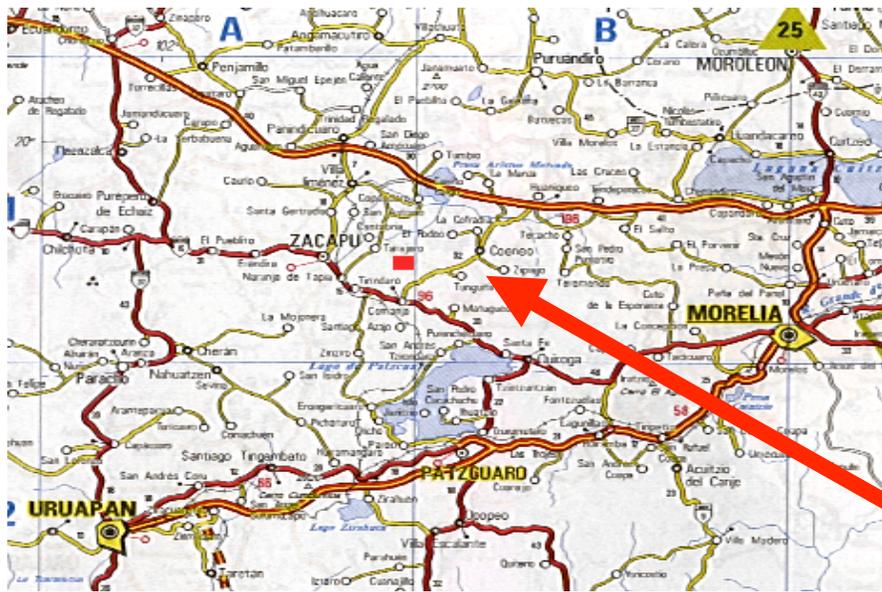


Figura 9. En el mapa se indica la ubicación de Coeneo, Michoacán.



Figura 10. Fotografía panorámica mostrando las características generales del terreno de 31000 m², donado por la comunidad Felix Ireta a la UNAM para la construcción del radiotelescopio de centelleo interplanetario.

4.3. Descripción Técnica del Arreglo

Como se mencionó en la sección 3.1., el radiotelescopio prototipo y final tienen básicamente las mismas características. La Figura 11 muestra el diagrama de bloques del radiotelescopio final.

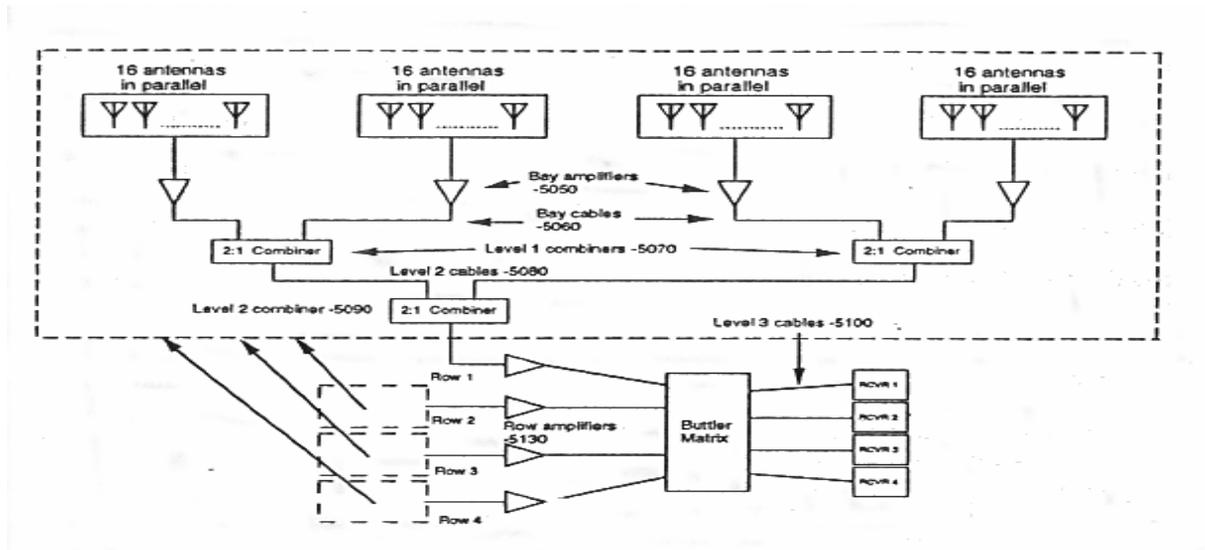


Figura 11. Diagrama de bloques del radiotelescopio final.

Las características principales de operación y configuración del arreglo dipolar de gran área que se construirá en México son las siguientes:

Frecuencia central de operación	139.65 MHz
Ancho de banda	1.5 MHz.
Elemento básico	Dipolo de onda completa
Número de elementos	4096
Número de líneas EO	64, cada línea con 64 dipolos de onda completa
Número de receptores	64
Número de matrices de Butler:	2, de 32 puertos cada una

El elemento básico del arreglo final es un dipolo de onda completa ($\lambda=2.13$ m) que está construido con alambre de cobre desnudo, calibre 14/AGW. Este alambre se conecta a una línea de transmisión paralela, ensamblada con el mismo tipo de material que el dipolo detector. La separación entre la base de cada dipolo sobre la línea de transmisión es de 2.13 metros y cada línea de transmisión está constituida por 16 dipolos. Para mantener paralelos los conductores de cobre a una distancia de 2.5 cm sobre toda la longitud de la línea de transmisión, es necesario usar aislantes de plástico, distribuidos cada 30 cm, lo cual permite mantener la impedancia de la línea de transmisión constante a un valor de $\approx 200\Omega$.

Las líneas de transmisión E-O se dividen en 4 unidades básicas de 16 dipolos cada una, los dipolos en las líneas de transmisión se encuentran polarizados horizontalmente en la dirección E-O, la unidad básica tiene una longitud de 34.8 m. El arreglo total se integra con 4096 dipolos. Cada unidad se acopla a la línea de transmisión coaxial por medio de un transformador de impedancias (balun). Para compensar las pérdidas de la señal de radiofrecuencia asociadas con las diversas atenuaciones en el cable coaxial, se determinó establecer dos etapas de amplificación con ganancias típicas de 20 dB.

La primer etapa amplificará la señal que sale del balun hacia el primer nivel de los combinadores de potencia 2:1 entre cada dos unidades básicas. El segundo nivel de amplificación se establece en la salida del segundo nivel de combinadores de potencia 2:1, en la línea de transmisión antes de enviar la señal hacia los receptores en el laboratorio, vía un cable coaxial (RG/214).

El tipo de receptor que se empleará es un receptor superheterodino. Para nuestro receptor la frecuencia central es de 139.65 MHz y tiene un ancho de banda de 1.5 MHz. La señal de la antena al entrar al receptor es amplificada por un amplificador de radiofrecuencia de bajo ruido con una ganancia típica de 20 dB. En la etapa siguiente la señal de radiofrecuencia se mezcla con la señal del oscilador local, obteniendo a la salida del mezclador una señal de frecuencia intermedia de 10.7 MHz.

En la siguiente etapa la señal es amplificada a través de un sistema con 3 amplificadores con una ganancia característica de 60 dB. A la etapa de frecuencia intermedia le sigue la sección de detección, en la cual la señal pasa a través de un circuito detector conformado por un diodo. Las etapas siguientes de amplificación y filtrado se realizan con un arreglo de amplificadores operacionales. La última etapa consiste de un circuito integrador cuya constante de tiempo es de 0.1 segundos, la señal obtenida del circuito integrador es pasada a través de un circuito buffer el cual permite acoplar la impedancia del receptor a un sistema de registro analógico/digital.

4.4. Colaboración Internacional

Para incorporar el radiotelescopio de Coeneo, Michoacán, en la red mundial de observatorios de centelleo interplanetario, es necesario establecer acuerdos de colaboración que nos brinden apoyo técnico para las pruebas y calibración de la antena y que permitan una transferencia de datos en tiempo real con los observatorios de India, Japón y Escandinavia. El NCRA de la India nos ha ofrecido apoyo técnico y se espera que uno o dos técnicos hindúes viajen a México a finales de este año para ayudarnos con las pruebas de la antena. Con respecto al intercambio de datos se ha propuesto que la transferencia de datos se haga a través de páginas URL con acceso restringido mediante gráficas de diferentes formatos. Una o varias estaciones de trabajo funcionarán como servidores para

realizar el procesamiento de los mapas de CIP de los distintos radiotelescopios y la distribución de los datos. En la Universidad de San Diego California (USDC) se elaborarán las topografías tridimensionales para analizar la forma y el tamaño de las perturbaciones.

4.5. Apoyos Financieros

Los recursos financieros para el Observatorio de Centelleo Interplanetario han sido aportados por: el CONACyT, el Programa Universitario de Investigación y Desarrollo Espacial (PUIDE), la DGAPA, el Instituto de Geofísica, el Gobierno del Estado de Michoacán y La Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM

Fuente de Financiamiento	años	Asignación
CONACyT (3139-T)	1994 - 1998	\$600,000.00
CONACyT (27758-E)	1999 - 2001	\$356,744.00
PUIDE	1993 - 1997	\$150,000.00
IGEF	1993 - 1999	\$ 90,000.00
DGAPA	2000 - 2002	\$600,000.00
Terreno donado	2000	\$500,000.00
Gobierno del Estado de Michoacán	2000	\$1,500,000.00
Coordinación de la Investigación Científica, UNAM	2001	\$500,000.00

La inversión realizada en el proyecto del radiotelescopio, hasta la fecha, es de:

\$3,796,744.00 M.N.

4.5.1. Apoyo del Gobierno del Estado de Michoacán

El 4 de febrero de 2000 el gobernador del Estado de Michoacán, Lic. Víctor Manuel Tinoco Rubí, se entrevistó con miembros del IGEF, en donde se le presentó el proyecto y se le solicitó su apoyo para algunas obras de infraestructura. Al final de la presentación el Lic. Tinoco expresó su agrado por el proyecto y ofreció apoyar el proyecto aportando recursos financieros para dotar de servicio de energía eléctrica, servicio telefónico, servicio de agua potable, nivelación y limpieza del terreno, y finalmente levantamiento de una plataforma para la instalación de la antena en el terreno donado por la comunidad de Felix Ireta.

4.5.2. Equipo de Medición Adquirido

Como se mencionó anteriormente, el diseño, la construcción y el mantenimiento de todo radiotelescopio requiere de equipo de medición altamente especializado y costoso que no se tenía en México. Durante la construcción del radiotelescopio prototipo se adquirió todo el equipo de medición y calibración necesario para la construcción del radiotelescopio final.

- Analizador de redes “HP_8751A” de 5 Hz-500 MHz.
- Voltímetro vectorial “HP-8508A” de 300 kHz -2 GHz.
- Analizador de espectros “HP-8590E” de 9 kHz-12.8 GHz.
- Generador de radiofrecuencia “Rhode-Schwarz” de 9kHz -1 GHz.
- Generador de funciones “HP-33120A” de 5Hz-15MHz.
- Osciloscopio Tektronix “TDS-544A” de 4 canales, 500 MHz.
- Herramienta especializada para ensamblar los receptores y la antena.

4.6. Avances Generales

Actualmente se han alcanzado los siguientes objetivos:

Se tiene una oficina y centro de trabajo en la comunidad Félix Ireta. Este centro de trabajo nos ha permitido coordinar las labores de desarrollo de infraestructura tanto en Félix Ireta como en el terreno donde se construye el radiotelescopio.



Figura 12. Carretera que comunica al terreno de la UNAM.

El proyecto ha apoyado el desarrollo de infraestructura de la comunidad Felix Ireta y entre otras cosas se ha logrado

- Ampliación de la infraestructura de energía eléctrica.
- Infraestructura de cableado telefónico.
- Ampliación de la capacidad de servicio de agua potable.
- Pavimentación del camino de acceso y de la calle principal del pueblo.

En referencia al terreno de la UNAM se han realizado los siguientes trabajos:

- Estudios topográficos del sitio.
- Nivelación y limpieza del terreno.
- Levantamiento de una plataforma o terraplén para la instalación de la antena.
- Deslinde del terreno y barda perimetral.
- Inicio del sistema de registros subterráneos que conducirán los cables de energía eléctrica y señal de la antena.
- Construcción de la estructura de soporte de la antena.



Figura 13. Levantamiento de la plataforma de la antena y limpieza del terreno



Figura 14. Barda perimetral del terreno de la UNAM.

5. Investigadores Participantes en el Proyecto

El Instituto de Geofísica de la UNAM es el depositario y administrador del observatorio. El proyecto está a cargo de un grupo de jóvenes investigadores del Instituto de Geofísica de la UNAM que cuentan con una sólida experiencia técnica y científica. La calibración del radiotelescopio se hará bajo la asesoría de técnicos del National Centre for Radio Astrophysics (NCRA) de la India. La implementación del diseño, su infraestructura y todo el ensamble de la electrónica del radiotelescopio será desarrollada por el personal técnico de la UNAM, con la colaboración de estudiantes de los colegios de Bachilleres, la Facultades de Ingeniería de la UNAM, el Tecnológico de Morelia y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

5.1. Responsables del Proyecto

- M.C. Armando Carrillo, Responsable Técnico, Departamento de Física Espacial, Instituto de Geofísica, UNAM. (e-mail: acvips@fis-esp.igeofcu.unam.mx)
- Ing. Ernesto Andrade, Corresponsable Técnico, Instituto de Geofísica, UNAM. (e-mail: am@fis-esp.igeofcu.unam.mx)
- Dr. Américo González Esparza, Responsable Científico, Departamento de Física Espacial, Instituto de Geofísica, UNAM. (e-mail: americo@fis-esp.igeofcu.unam.mx)
- Dr. Román Pérez Enríquez, Corresponsable Científico, Departamento de Física Espacial, Instituto de Geofísica, UNAM. (e-mail: roman@fis-esp.igeofcu.unam.mx)

5.2. Red Mundial de Alarma Geomagnética

Proyecto de colaboración internacional para conformar la red mundial de alarma geomagnética

- Prof. S. Ananthkrishnan, National Centre for Radio Astrophysics, Pune, India.
- Dr. Mayoshi Kojima, Solar Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya, Japón.
- Dr. Andy Breen, University of Wales, Reino Unido.
- Dr. Murray Dryer, NOAA, Boulder, Colorado, E.U.
- Dr. Bernard Jackson, University of California, San Diego, E.U.

6. Referencias

- Acres Consulting Services Ltd, Study of the disruption of electric power systems by magnetic storms, Earth Phys. Branch Open File 77-19, Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa, 1975.
- Albertson, V.D. and J.M. Thorson, Power system disturbances during a K-8 geomagnetic storm: August 4, 1972, IEEE Trans. Power App. & Sys., vol. PAS-93, 1025-1030, 1974.
- Allen, J., Catalogue of magnetic disturbances using the aa* index, available from World Data Centre C-1, Boulder, 1994.
- Anderson, C.W., L.J. Lanzerotti, and C.G. MacLennan, Outage of the L-4 system and the geomagnetic disturbances of August 4, 1972, Bell Syst. Tech. J., 53, 1817-1837, 1974.
- Angot, A., The Aurora Borealis, Appleton and Co, New York, 1897.
- Aspnes, J.D., R.P. Merritt, and S.-I. Akasofu, Effects of geomagnetically induced current on electric power systems, The Northern Engineer, 13, No 3, 34-38, 1981.
- Axe, G.A., The effects of the earth's magnetism on submarine cable, Post Office Electrical Engineers Journal, vol 61, no 1, 37-43, 1968.
- Balogh, A., J. A. González-Esparza, R. J. Forsyth, M. E. Burton, B. E. Goldstein, E. J. Smith, & S. J. Bame, interplanetary shock waves: Ulysses observations in and out of the ecliptic plane, *Space Science Reviews*, vol. 72, 171-180, 1995.
- Barlow, W.H., On the spontaneous electrical currents observed in wires of the electric telegraph, Phil. Trans. Roy. Soc., London, 139, 61-72, 1849.
- Blais, G. and P. Metsa, Operating the Hydro-Québec grid under magnetic storm conditions since the storm of March 13, 1989, Proc. Solar-Terrestrial Predictions Workshop, Ottawa, May 18-22, 1992, ed. J. Hruska, M.A. Shea, D.F. Smart, G. Heckman, vol 1, 108-130, 1993.
- Blavier, *Annuaire de la Societe Meteorologique de France*, vol vii., 1859.
- Boteler, D.H. and G. Jansen van Beek, Mapping the March 13, 1989 magnetic storm and its effects across N. America, Proc. Solar-Terrestrial Predictions Workshop, Ottawa, May 18-22, 1992, ed. J. Hruska, M.A. Shea, D.F. Smart, G. Heckman, vol 3, 57-70, 1993.
- Boteler, D.H. and Jansen Van Beek, G., August 4, 1972 revisited: A new look at the geomagnetic disturbance that caused the L4 cable system outage, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 577-580, 1999.
- Bozoki, B. (chair) et al. (Working group K-11, IEEE power system relaying committee), The effects of GIC on protective relaying, IEEE Trans. Power Delivery, vol 11, 725-739, 1996.
- Bravo S., J. A. L. Cruz -Abeyro, D. Rojas, 1998. The spatial relationship between active regions and coronal holes and the occurrence of intense geomagnetic storms throughout the solar activity cycle. *Annales Geophysicae-Atmospheres, Hydrospheres and Space Science*, v. 16, pp. 49-54.
- Bravo, S. and G. A. Stewart, 1997. "Flux Tube Expansion Factor and Solar Wind Velocity". *Advances in Space Research*, 20(1), 35-39.
- Bravo, S. and G. A. Stewart, 1997. "Fast and Slow Solar Wind from Solar Coronal Holes". *The Astrophysical Journal*, 489, 992-999.
- Bravo S. and G. A. Stewart, 1997. "The correlation Between Sunspot and Coronal Hole Cycles a Forecast of the Maximum of Sunspot Cycle 23". *Solar Physics*, 173, 193-198 pp.
- Bravo, S. and X. Blanco-Cano and K. Chi-Cerrito, 1997. "Interplanetary Signatures of Solar Mass Ejections", *Advances in Space Research*, 20(1), 107-1110.
- Bravo, S. 1997. "The Forecasting of Intense Geomagnetic Storms". *Geofísica Internacional*, 36, 127-135 pp.

- Bravo S. & X. Blanco Cano, Signatures of interplanetary transients behind shocks and their associated near-surface solar activity, *Annales Geophysicae*, 16, 359-369, 1998.
- Bravo, S., & J. A. González-Esparza, "The north-south asymmetry of the solar and heliospheric magnetic field during activity minima", *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, NO. 6, pp. 847-849, MARCH 15, 2000.
- Bravo, S., & J. A. González-Esparza, "Angular Separation between the Neutral Line on the Source Surface (3.25 Rs) and Low Altitude Solar Activity Associated with Different Signatures of Interplanetary Ejecta", In S. R. Habbal, R. Esser, J. V. Hollweg, P.A. Isenberg, editors, *Solar Wind 9*, pp. 705-707, AIP Conference proceedings 471, Woodbury, New York, 1999.
- Burbank, J.E., Earth currents: and a proposed method for their investigation, *Terr. Magn. Atmos. Elec.*, vol X, 23-49, 1905.
- Carrillo V., A., M. Guerrero & E. Andrade, El radiotelescopio prototipo para detectar el centelleo interplanetario de fuentes estelares de radio en México, Reportes Internos 96-29, IGEF-UNAM, octubre, 1996.
- Carrillo V., Armando, Estudio del viento solar por medio del centelleo interplanetario y el arreglo de gran superficie en México, Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, IGEF, UNAM, 1998.
- Carrillo V., A. & J. A. González-Esparza, Construcción de un Radiotelescopio para Realizar Observaciones de Centelleo Interplanetario en Coeneo, Michoacán, Comunicación Técnica, IGEF, UNAM, 2000.
- Chapman, S. and J. Bartels, *Geomagnetism*, Oxford University Press, 1940.
- Clement, K.T., Das grosse Nordlicht in der Nacht zum 29 August 1959 und die Telegraphenverwirrung in Nord-Amerika und Europe, (The great northern light on the night before 29 August 1859 and the confusion of the telegraph in North America and Europe), Hamburg, pp. 1-21 (in German), 1860.
- Cucchi, G. and J. Ponder, Summary of March 13, 1989 geomagnetic storm effects, presented at the Dallas Transmission & Distribution Conference, Sept 26, 1991.
- Davidson, W.F., The magnetic storm of March 24, 1940 - effects in the power system, presentation to the Edison Electric Institute, May 7, 1940.
- Elovaara, J., P. Lindblad, A. Viljanen, T. Mäkinen, R. Pirjola, S. Larsson, and B. Kielen, Geomagnetically induced currents in the Nordic power system and their effects on equipment, control, protection and operation, pres. CIGRE Colloquim, 30 Aug - 5 Sept., 1992.
- Finn, W., Influences of the sunspots upon electrical and magnetic forces of the Earth, *Scientific American Supplement*, No 1457, 23351-23352, Dec 5, 1903.
- Gold, T., *Gas Dynamics of Cosmic Clouds*, North-Holland, Amsterdam, 1955.
- Gonzalez & Tsurutani, Criteria of interplanetary parameters causing intense magnetic storms, *Planet. Space Sci.*, 35, 1101, 1987.
- González-Esparza, J. A., "Study of Heliospheric Shock Waves Observed by Ulysses' Magnetometer in and out of the Ecliptic Plane.", PhD Thesis, Imperial College, Univerisdad de Londres, U. K., 1995.
- González-Esparza, J. A., A. Balogh, R. J. Forsyth, M. Neugebauer, E. J. Smith, & J. L. Phillips, Interplanetary shock waves and large scale structures: Ulysses' observations in and out of the ecliptic plane, *Journal of Geophysical Research- Space Physics*, vol. 101, 17057-17072, 1996a.
- González-Esparza, J. A., & E. J. Smith, Solar cycle dependence of large-scale solar wind dynamics: Pioneer, Voyager, and Ulysses from 1 to 6 AU, *Journal of Geophysical Research- Space Physics*, vol. 101, 24359-24371, 1996.
- González-Esparza, J. A., E. J. Smith, A. Balogh, & J. L. Phillips, The quasi-parallel shock wave detected by Ulysses on day 92:109, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 316, 323-332, 1996b.
- González-Esparza, J. A., & E. J. Smith, Three-dimensional nature of interaction regions: Pioneer, Voyager, and Ulysses from 1 to 5 AU, *Journal of Geophysical Research- Space Physics*, vol. 102, 9781-9792, 1997.

- González-Esparza, J. A., M. Neugebauer, E. J. Smith, & J. L. Phillips, Radial evolution of ejecta characteristics and transient shocks: Ulysses in-ecliptic observations, *Journal of Geophysical Research- Space Physics*, vol. 103, 4767-4774, 1998.
- González-Esparza, J. A., & S. Bravo, "Two spacecraft observations of transient shocks and ejecta in the interplanetary medium", *Journal of Geophysical Research- Space Physics*, vol.103, 29,643-29,650, 1998.
- González-Esparza, J. A., "Geometry and Radial Width Variations of Interaction Regions", In S. R. Habbal, R. Esser, J. V. Hollweg, P.A. Isenberg, editors, Solar Wind 9, pp. 593-596, AIP Conference proceedings 471, Woodbury, New York, 1999.
- González-Esparza, J.A., "Solar cycle variations of interaction regions: in-ecliptic observations from 1 to 5 AU", *Geofísica Internacional*, Vol. 27, NO. 6, pp. 847-849, MARCH 15, 2000.
- González-Esparza, J. A. "Interplanetary Shocks Near Solar Maximum: Helios, IMP-8 and Voyagers Observations", submitted to Space Science Reviews, proceedings of the 34th ESLAB Symposium, en prensa (aceptado 22 enero 2001).
- González-Esparza, J. A., and M. A. Yáñez, "Multi-spacecraft in-situ observations of interplanetary shocks", *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias)*, Vol. 9, MAY, 2000.
- Graves, J., Earth currents on the Atlantic cable, *J. Soc. Telegraph Engineers*, 2, 102-123, 1873.
- Harang, L., Maximalwerte der Erdstromspannungen in der Nähe der Nordlichtzone während sehr intensiver erdmagnetischer Störungen (Maximum values of earth current voltages near the auroral zone during very intense geomagnetic disturbances), *Gerl. Beitr. Geophys.*, 57, 310-316 (in German, with an English summary), 1941.
- Joselyn, Geomagnetic forecasting: the state of the art, *Rev. Geophys.*, 33, 383, 1995.
- Kappenman, J, Geomagnetic Storms and Impacts on Power Systems: Lessons Learned from Solar Cycle 22 and Outlook for Solar Cycle 23, May 1996 issue of *IEEE Power Engineering Review*, 1996.
- Kappenman, J.G., Geomagnetic storms and their impact on power systems, *IEEE Power Engineering Review*, 16, 5, 1996.
- Karsberg, A., Swedenborg, G. and Wyke, K., The influences of earth magnetic currents on telecommunication lines, *Tele (English ed.)*, Televerket, Stockholm, 1-21, 1959.
- Kivelson & Russell, editores, "Introduction to Space Physics, Cambridge Univ. Press, New York, 1994.
- Lanzerotti, L.J., Geomagnetic influences on man-made systems, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 41, 787-796, 1979.
- Lanzerotti, L.J. and G.P. Gregori, Telluric currents: the natural environment and interactions with man-made systems, *The Earth's Electrical Environment*, Nat. Acad. Press, Washington, DC, 232-257, 1986.
- Lockyer, W.J.S., Magnetic storms, aurorae and solar phenomena, *Nature*, vol 69, No 1775, 9-10, 1903.
- McNish, A.G., Magnetic storms, presentation to the Edison Electric Institute, May 7, 1940.
- Preece, W.H., "Earth Currents", Letter to the Editor, *Nature*, No 1276, vol 49, p 554, April 12, 1894.
- Prescott, G.B., Observations made at Boston, Mass., and vicinity, in Article on The great auroral exhibition of August 28th to September 4th, 1859, *Amer. J. Science and Arts*, vol XXIX, 92-97, 1860.
- Prescott, G.B., *History, Theory and Practice of the Electric Telegraph*, Ticknor and Fields, Boston, 1866.
- Ramleth, K.J., Geomagnetiske forstyrrelser. Innvirkning på Televerkets linjenett (Geomagnetic disturbances. Influence on the Norwegian telenetwork), *Telektronikk*, no 1, 10-12, (in Norwegian: repeats information from Harang, 1941), 1982.

- Rubenson, R., Catalogue des aurores boréales obserées en Suède depuis XVI:me siècle jusqu'à l'année 1877 y comprise, 2:de Partie (1800-1877), Kungl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 18, 1-300, (in French), 1882.
 - Sanders, R., Effects of terrestrial electromagnetic storms on wireline communications, IRE Trans. Commun. Syst. (December), 367-377, 1961.
 - Schwenn, R., Mass ejections from the sun and their interplanetary counterparts, in D. Winterhalter, D. J. McComas, N. Murphy, J.L. Phillips, G. Van Hoven, Solar Wind 8, pp. 426-429, AIP Conference proceedings 382, Woodbury, New York, 1996.
 - Silliman, B., The great auroral exhibition of August 28th to September 4th, 1859, Amer. J. Science and Arts, vol XXIX, 92, 1860.
 - Slothower, J.C. and V.D. Albertson, The effects of solar magnetic activity on electric power systems, J. Minn. Academy of Science, 34, 94-100, 1967.
 - Stetson, H.T., Sunspots in Action, The Ronald Press Company, New York, 252pp, 1947.
 - Tillberg, H. and F. Andersson, Short report on disturbances in the Swedish power networks caused by magnetic storms, pres. CIGRE Colloquium, 12 - 16 Sept., 1977.
 - Varley, C.F., Discussion of a few papers on earth currents, J. Soc. Telegraph Engineers, 2, 111-114, 1873.
 - Wallerius, A., Solen gav Sverige en strömstöt (The Sun gave Sweden a "current shock"), Ny Teknik, 29, p3, (in Swedish), 1982.
- Winckler, J.R., L. Peterson, R. Hoffman, and R. Arnoldy, Auroral X-rays, cosmic rays, and related phenomena during the storm of Feb 10-11, 1958, J. Geophys. Res.,