

2
03060



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

2
2ej

INSTITUTO DE GEOFISICA
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

ESTUDIO DE LA POSIBLE INFLUENCIA DE LA
ACTIVIDAD SOLAR SOBRE EL NUMERO DE
INFARTOS AL MIOCARDIO EN LA CIUDAD DE
MEXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS
(FISICA ESPACIAL)**

PRESENTA:

ROSA ERENDIRA DIAZ SANDOVAL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1999
273312



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Se dice que con el paso del tiempo, se pierde la capacidad de asombro. Pero a veces, al correr de los años, no sólo no se pierde dicha capacidad, sino que se le desarrolla al ir aprendiendo a ver el mundo aún más allá, con una vista formada por los ojos de todos aquéllos artistas, exploradores, filósofos y detectives de misterios, conocidos comúnmente como científicos. A todos ellos y

Al que es raudal de ciencia inextinguible...

Por todo, gracias.

A mis padres:

Dra. Rosa Eréndira Sandoval Vega

Ing. Ernesto Díaz Becerra

con mucho cariño, agradezco

su apoyo incondicional.

Agradecimientos

A la Dra. Blanca Mendoza Ortega por su asesoría en la elaboración de la presente tesis. Agradezco todo el apoyo que me ha brindado y admiro la dedicación que tiene por la investigación de temas tan interesantes como éste.

A mis sinodales, Dr. José Francisco Valdés Galicia, Dr. Salvador Sánchez de la Peña, Dr. Juan Américo González Esparza y Dr. Juan Manuel Espindola Castro por las correcciones que hicieron a este trabajo y por sus valiosas sugerencias.

Al Dr. Gustavo Sánchez Torres del Instituto Nacional de Cardiología que amablemente, proporcionó los datos de infartos al miocardio.

Al Dr. José Fco. Valdés Galicia, al Ing. Octavio Musalem y al Sr. Alejandro Hurtado, quienes me facilitaron todos los datos referentes al comportamiento de rayos cósmicos.

Al Ing. Carlos Espinosa González, Gerente del Servicio Meteorológico Nacional, que permitió la revisión de sus archivos para la adquisición de datos relacionados con fenómenos eléctricos registrados en la Estación Meteorológica de Tacubaya.

A la Dra. Dolores Maravilla y al Dr. Alejandro Lara por la asesoría recibida en el uso de los métodos espectrales de análisis estadístico.

Al Conacyt y a DGEP por el apoyo económico brindado durante mis estudios de maestría.

A mis padres y hermanos por su constante apoyo. A mis compañeros y a mis amigos.

Indice

Introducción	1
Capítulo 1. Aspectos fundamentales de la Interacción Sol-Tierra	
1.1 Antecedentes.....	4
1.2 El Sol.....	7
1.2.1 Características generales	
1.2.2 El Sol activo y el Sol quieto	
1.3 Actividad geomagnética.....	12
1.3.1 Magnetósfera	
1.3.2 Variaciones del campo geomagnético	
1.4 Influencia del Sol sobre la biota terrestre.....	17
1.4.1 Efectos de campos electromagnéticos sobre sistemas biológicos	
1.4.2 Estudios de correlación entre actividad solar y salud humana	
1.4.3 Ritmos biológicos y actividad solar	
Capítulo 2. Posible mecanismo para la Interacción Sol-Biota.	
2.1 Modelo celular.....	26
2.2 Mecanismo físico.....	31
Capítulo 3. Metodología para el análisis de los datos.	
3.1 Series de tiempo.....	36
3.2 Método de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).....	37
3.3 Método de Máxima Entropía (MEM).....	40
3.4 Suavizamiento de series de tiempo.....	43
3.4.1 Média móvil	
3.4.2 Filtración digital	
3.5 Superposición de épocas.....	46

Capítulo 4. Resultados y discusión.	
4.1 Comportamiento de la serie de infartos.....	48
4.1.1 Análisis en el espacio temporal	
4.1.2 Análisis espectral	
4.1.3 Estudio de los picos de frecuencia observados	
4.2 Relación entre la ocurrencia de infartos y ciertos índices geomagnéticos.....	57
4.2.1 Análisis de épocas superpuestas	
4.3 Relación entre la actividad de rayos cósmicos y la de tormentas eléctricas.....	62
4.3.1 Análisis de épocas superpuestas	
4.4 Relación entre la ocurrencia de infartos y la actividad de tormentas eléctricas...	70
Capítulo 5. Conclusiones.....	72
Apéndice A.....	76
Apéndice B.....	77
Bibliografía.....	88

Introducción

El nacimiento de la Física de las Relaciones Sol-Tierra se remonta al año de 1851 en el que el científico inglés Edward Sabine propuso que ciertas perturbaciones magnéticas registradas en la Tierra, estaban directamente relacionadas con el número de manchas que se observaban en el Sol. A partir de este descubrimiento, se realizaron estudios con el objetivo de encontrar la relación que había en torno a la actividad solar y la respuesta terrestre. Posteriormente se confirmaron por otros grupos los resultados de Sabine, así como también se observaron manifestaciones en el campo magnético terrestre en respuesta a grandes emisiones solares.

Hoy en día es bien sabido que el espacio interplanetario se encuentra permeado por el campo magnético del Sol y por un plasma conocido como viento solar, el cual fluye con una velocidad de entre ~ 300 km/s a ~ 1000 km/s a 1 unidad astronómica. Dicho plasma no puede penetrar directamente a la Tierra debido a que ésta se encuentra protegida por una cavidad de plasma terrestre congelado con el campo geomagnético, denominada magnetósfera.

No obstante durante ciertos periodos de gran actividad en el Sol, algunas de las partículas del viento solar logran penetrar la magnetósfera a altas latitudes geomagnéticas y por la cola magnetosférica. Esto ocurre gracias a procesos de reconexión entre las líneas de campo magnético interplanetario y las del campo terrestre.

A la fecha ya se ha establecido que existen varias respuestas terrestres a la actividad solar, entre las que se encuentran, la formación de subtormentas y tormentas magnéticas, la producción de auroras, las alteraciones en la ionósfera y la variabilidad en el clima global. En cuanto a la relación que pueda haber entre la actividad solar y los seres vivos, existe mucha controversia. La influencia que pudiera tener dicha actividad solar sería mediante campos electromagnéticos, en particular, se ha visto que ciertas especies de aves, peces e insectos utilizan al campo magnético como un medio de orientación, gracias a la existencia de

sensores específicos conocidos como magnetosomas. Con respecto a la salud humana, se han hecho estudios que han arrojado resultados en favor de una posible correlación entre la actividad solar y la salud humana. Debido a esto último, se decidió iniciar una investigación estadística en México donde se tiene la ventaja de tener un sistema de medicina central, lo que permite la concentración de los datos clínicos de todo el país en centros específicos de salud. Cabe mencionar que esta tesis es uno de los primeros trabajos en Latinoamérica sobre esta novísima área de investigación conocida como heliogeobiología.

La tesis se divide en cinco capítulos. En el Capítulo 1 se hace una revisión de los aspectos fundamentales en la interacción Sol-Tierra, comenzando con una visión histórica desde el descubrimiento del ciclo solar hasta el establecimiento de la Física de las Relaciones Sol-Tierra, en donde surge la cuestión de la relación que puede existir entre la actividad solar y los seres vivos. Enseguida se dan a conocer las características generales del Sol, la actividad solar, la magnetósfera y las perturbaciones magnetosféricas. Las últimas secciones de este capítulo muestran algunos resultados, reportados en la literatura, de la influencia de campos electromagnéticos sobre sistemas biológicos y estudios estadísticos de correlación entre la actividad solar y la salud humana. Además se revisa un nuevo tópico de investigación que se basa en los relojes internos de los seres vivos, la cronobiología, y según se ve, dichos relojes parecen también estar influidos por el comportamiento del Sol.

En el Capítulo 2 se presenta un posible mecanismo físico de interacción entre la actividad solar y la respuesta terrestre en la salud humana. La idea básica es que el incremento en la actividad del Sol ocasiona decrementos en los rayos cósmicos que recibe la Tierra, ocasionando una mayor producción de tormentas eléctricas, que a su vez, producen ondas en el rango de radio frecuencia y dichas ondas electromagnéticas pueden generar corrientes considerables en el interior de un sistema biológico, siendo un factor de desencadenamiento de alguna patología como los infartos al miocardio.

La metodología estadística para las series de tiempo que se analizan, se presenta en el Capítulo 3. Para el análisis espectral se utilizan dos métodos: la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y el Método de Máxima Entropía (MEM). En este capítulo se revisan las bases de los modelos y se hace una pequeña discusión en cuanto a las ventajas que ofrecen. También se revisan otros métodos de filtración y suavizamiento, además del de análisis por superposición de épocas.

Los resultados de todo el análisis se muestran en el Capítulo 4. Se trabajó con una serie de infartos al miocardio por 5 años, proporcionada por el Instituto Nacional de Cardiología. Acerca de este punto, es importante mencionar que fue muy difícil conseguir este tipo de datos en México, ya que por un lado, la captura y sistematización de los datos en los centros de salud tiende a ser lenta e ineficiente, de hecho, hay largos periodos sin la clase de información que buscamos. Por otra parte, no es fácil que dichos centros de salud proporcionen sus datos a personas ajenas a los mismos. No obstante, con los datos facilitados, se analizó el comportamiento espectral de la serie, explicando las frecuencias encontradas. Enseguida se estudió su relación con el índice geomagnético aa, los decrementos Forbush en rayos cósmicos y varios fenómenos eléctricos. También se analizó la relación existente entre los fenómenos eléctricos y los decrementos Forbush.

Finalmente, en el Capítulo 5, se presentan las conclusiones de este trabajo y las perspectivas de investigación que surgieron durante el mismo.

Capítulo 1

Aspectos fundamentales de la Interacción Sol-Tierra

1.1 Antecedentes

El estudio de las relaciones entre el Sol y la Tierra se origina propiamente como ciencia en 1852, cuando el inglés Edward Sabine observó que la actividad geomagnética podía relacionarse con el recién descubierto ciclo de manchas solares.

Durante el siglo XVIII [1] ya se habían fincado las bases para el estudio de los fenómenos magnéticos terrestres y sus variaciones. En el año de 1722, en Inglaterra, Graham desarrolló una brújula lo suficientemente sensible como para determinar cambios grandes y rápidos del campo magnético. Veinte años después en Suecia, Celsius y su estudiante Hiorter, notaron que la aurora era acompañada por movimientos de la aguja magnética y en colaboración con Graham, determinaron que las perturbaciones magnéticas no eran un fenómeno local. Durante la primera mitad del siglo XIX se realizaron los primeros estudios de las tormentas magnéticas por el Barón Von Humboldt en Alemania y Arago en Francia.

S. Heinrich Schwabe, un boticario alemán, en 1826 comenzó a observar el Sol y a hacer conteos de manchas solares. Su primera publicación, en 1838, indicaba un comportamiento periódico aproximadamente decenal en los conteos de manchas. El resultado tomó importancia cuando su artículo fue referido por Humboldt en 1851, mientras que Schwabe continuó su estudio del Sol por cerca de 40 años.

En el ciclo solar, se denominó máximo cuando se tenía el mayor número de manchas y para el menor, se le llamó mínimo. Análisis recientes muestran que el periodo es de alrededor de 11 años, con algunos de 7 y otros de 13 años. Un ciclo típico toma 4 años para ir de mínimo a máximo y alrededor de 7 años para regresar al mínimo. Al principio del ciclo solar, la polaridad en uno de los polos es positiva y en el otro negativa, cerca del máximo parece no haber polaridad dominante en ninguno de ellos y después ésta se invierte durante los dos años que siguen al máximo solar. En la figura 1.1 se muestra el registro del comportamiento de las manchas solares en función del año, desde 1600 hasta nuestros días.

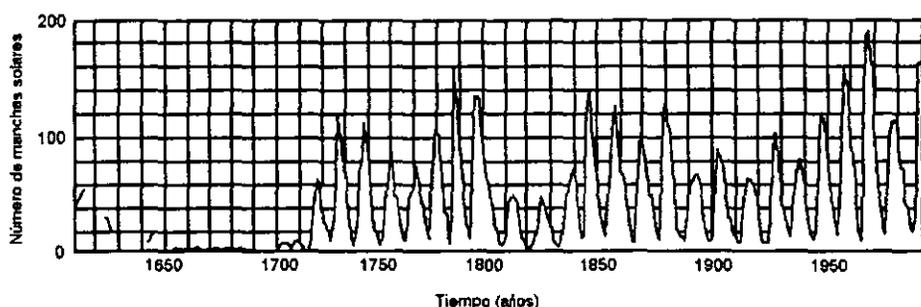


Figura 1.1 Número de manchas solares en función del año. La gráfica es la reconstrucción hecha por J. A. Eddy [2] a partir de datos históricos que se extienden hasta 1610.

En 1851, Sabine notó que un mínimo en las perturbaciones magnéticas detectado en 1943 correspondía a un menor número de manchas, mientras que el máximo en 1848 correspondía a un mayor número de manchas. Unos pocos meses después, Gautier y Wolf, en Suiza, llegaron independientemente a la misma conclusión que Sabine.

En el año de 1859, R.C. Carrington, en Inglaterra, notó una pequeña perturbación magnética al mismo tiempo que ocurría una ráfaga solar, esta última observación fue confirmada por otro observador inglés en las afueras de Londres; 18 horas más tarde tenía lugar una tormenta geomagnética. Durante este mismo año, Loomis y Fritz establecieron una relación entre el ciclo de manchas y la ocurrencia de auroras a latitud media.

En 1868, Airy sugirió que las variaciones súbitas en el campo magnético terrestre eran causadas por la superposición de campos magnéticos debidos a corrientes transientes

en la Tierra. Por otro lado, las observaciones de prominencias solares hechas por Secchi, en Italia, dieron apoyo a la "Teoría corpuscular" para el origen de las tormentas magnéticas, en la cual las perturbaciones solares se propagan a la Tierra como una nube de partículas cargadas.

En 1878, Stewart publicó sus ideas de que las corrientes responsables de la variación periódica del campo magnético terrestre debían existir en la alta atmósfera, en una capa que ahora se conoce como la ionósfera. Tiempo después, Schuster, siguiendo el desarrollo de Gauss para el campo terrestre, demostró matemáticamente que las corrientes responsables de la variación magnética, residían principalmente fuera de la Tierra.

En 1880, Ellis hizo una comparación de las variaciones magnéticas periódicas (observadas en Greenwich) con los números de manchas registrados por Wolf (1841-1877), confirmando la relación propuesta por Sabine. Veeder, en 1889, observó que al tratar de hacer una comparación día a día, se encontraba con serias dificultades, por lo que pensó que algo más en el Sol, aparte de las manchas, estaba relacionado con el fenómeno.

Hacia principios de los 1890's, la relación entre el ciclo solar y las perturbaciones magnéticas fue universalmente aceptada.

El estudio de las relaciones solares-terrestres, a finales del siglo pasado, consideró la presencia de material en el espacio interplanetario, para explicar la ocurrencia de auroras polares, la actividad geomagnética y las modulaciones de rayos cósmicos. La idea de un flujo de plasma que viene del Sol, fue desarrollada a finales de los 50's por E. N. Parker y para la década de los 60's, el Mariner 2 en su viaje a Venus, confirmó la existencia de dicho plasma, que hoy es conocido como viento solar.

En la actualidad, ya se encuentran bien establecidas algunas de las respuestas terrestres a la actividad solar como son la ocurrencia de tormentas magnéticas mencionada líneas arriba, la producción de auroras [3], las alteraciones en la ionósfera que tienen como consecuencia las perturbaciones en las comunicaciones [4], y la variabilidad en el clima global [5].

También se ha encontrado que ciertas especies de aves migratorias, peces e insectos usan el campo magnético terrestre para la orientación y la navegación [6], por lo que las perturbaciones geomagnéticas podrían afectar la trayectoria, que normalmente siguen. La

explicación a esta sensibilidad reside en la existencia de dominios permanentes de magnetita que se encuentran en sus organismos y son las unidades de sensibilidad magnética llamadas magnetosomas. Cabe mencionar que en la glándula suprarrenal del ser humano se halla un dominio de magnetita [7].

En cuanto a los efectos que puede tener la actividad solar sobre los sistemas biológicos es un tópico sumamente controversial, del que aún resta mucho por hacer. La influencia que pudiera tener dicha actividad solar es mediante campos electromagnéticos, ya sea el eléctrico o el magnético o la combinación de ambos. En particular, con respecto a la salud humana, los estudios datan de la década de los 30's en trabajos hechos por la comunidad científica rusa y alrededor de unas tres décadas en los países occidentales. La mayoría de ellos pueden dividirse en trabajos de carácter estadístico y biológico, y los resultados que han arrojado, son tanto a favor, como en contra, de una posible correlación entre la actividad solar y la salud humana.

Durante las siguientes secciones se revisarán los aspectos fundamentales a considerar en la interacción entre el Sol y la Tierra. En la sección 1.2 se presentará un panorama general del Sol. En la sección 1.3 se hablará de la respuesta terrestre al impacto solar, es decir, la actividad geomagnética. Y finalmente, en la sección 1.4 se abordará el problema de la interacción Sol-Biota.

1.2 El Sol

1.2.1 Características generales

El Sol [8] es una estrella con luminosidad y brillo superficial como otras 10^{11} estrellas en nuestra galaxia. Tiene un radio promedio de 7×10^5 km, y se compone en su mayoría de hidrógeno y helio. Tiene un campo magnético superficial promedio de 1 a 3 gauss, y en cuanto a su temperatura, se tiene un mínimo en la frontera entre las capas de la fotosfera y la cromósfera, de 4.6×10^3 K, alcanzando hasta 2×10^6 K en la corona solar.

El promedio total de energía por segundo, de todas las longitudes de onda, recibida en la parte más alta de la atmósfera terrestre es de $1370 \text{ W/m}^2\text{-s}$ con algunas grandes variaciones en ciertas longitudes de onda. A esta radiación, conocida como irradiancia solar,

contribuyen: el infrarrojo 52%, el visible 41%, el ultravioleta cercano < 7%, el ultravioleta extremo 0.1% y las ondas de radio < 0.1%, de los cuales el infrarrojo, el visible y el ultravioleta cercano varían en 0.1% a lo largo del ciclo solar, mientras que el radio y rayos-X (ultravioleta extremo), aunque tienen una menor contribución, tienen grandes fluctuaciones de hasta 10% con el ciclo. Además existe otro tipo de emisiones como es el flujo de partículas (protones y electrones), conocido como viento solar.

La fuente de energía solar es la fusión nuclear de hidrógeno en helio que se encuentra confinada al núcleo, donde cerca de 6×10^8 toneladas de protones son consumidas por segundo para producir partículas alfa. Esta energía se transporta del núcleo a la superficie mediante 3 mecanismos: conducción, que es una contribución muy pequeña en todas las capas solares; radiación, que domina la región de alta densidad del núcleo y ocupa hasta el 0.7 del radio solar; y convección, la cual domina la región restante (0.3 del radio solar) y termina en la fotosfera.

En periodos que van de minutos a meses y en ciertos lugares, la irradiancia solar puede fluctuar rápidamente. El mayor factor que causa dichas fluctuaciones es la distorsión del campo magnético solar debido a la rotación diferencial del Sol que rota más rápidamente en el ecuador (24.9 días) que cerca de los polos (31.5), ocasionando que el campo sea torcido y se concentre en regiones específicas llamadas "regiones activas", las más comunes son [8] (Ver figura 1.2):

- **Manchas solares.** - Las manchas solares son el tipo de actividad solar más reportada a lo largo de la historia. Son regiones de fuertes campos magnéticos (miles de gauss) que confinan el gas en la mancha y reducen la interacción con el gas circundante. Esto permite, en parte, que el gas de la mancha se enfríe con relación al plasma fotosférico, por casi 10^3 K, lo que da como resultado una apariencia oscura. Se sitúan en la fotosfera bajo las regiones de playa pero no todas las playas tienen manchas.
- **Fácúlas.** - Regiones de vida larga (con duración hasta del orden de meses) y blancas que aparecen en la fotosfera.
- **Playas.** - Regiones brillantes de la cromósfera con campos magnéticos de 200 a 500 gauss.

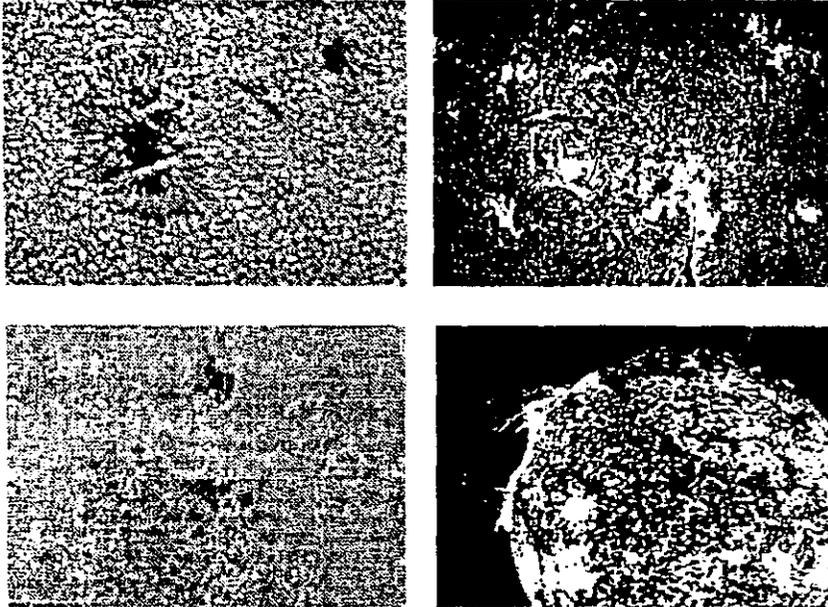


Figura 1.2 El Sol y algunas de sus regiones activas características. De izquierda a derecha y de arriba a abajo: manchas (regiones negras embebidas en gránulos fotosféricos), fáculas (regiones más claras), playas (regiones blancas) y prominencia eruptiva.

- **Fibrilas.**- Filamentos gaseosos horizontales de corta vida en la cromósfera que siguen el patrón de los campos magnéticos locales.
- **Prominencias.**- Superficialmente aparecen como material eyectado por el Sol, pero vistas en movimiento, se muestra que el gas coronal se condensa en la cima del arco y se mueve hacia abajo siguiendo las líneas de campo. La eyección de una prominencia eruptiva viaja hacia fuera y lleva una masa considerablemente substancial hacia la corona y eventualmente al medio interplanetario. La resultante es una eyección de masa coronal que puede producir un choque interplanetario que a su vez puede inducir perturbaciones geomagnéticas si el choque intercepta la magnetósfera terrestre.
- **Espículas.**- Gran número de pequeños chorros de gas tipo jet a velocidades de hasta 30km/s. Se encuentran en la región de transición.

- Ráfagas.- Son explosiones en la corona solar, su brillo se mide en 2 bandas de frecuencia. óptica y rayos x. Históricamente, las ráfagas que ocurren cerca de los 50° oeste de longitud son las que más perturban al campo geomagnético.

Otro fenómeno muy importante del Sol, es el llamado viento solar, que parte de la corona solar. Es un plasma altamente ionizado que consiste básicamente de protones y electrones. A la altura de la órbita terrestre tiene una velocidad promedio de 400 a 500 km/s (con velocidades extremas de 300 y 1000 km/s) y una densidad promedio de alrededor de 5 part/cm³. Debido a su alta conductividad, el plasma de viento solar está congelado al campo magnético interplanetario (que es de 5γ a la altura de la Tierra, con $1\gamma = 10^{-9}\text{T}$) y al interactuar con la magnetósfera terrestre, se tienen repercusiones importantes en el medio circundante.

A diferencia de la prominencia solar cuyo campo magnético está enraizado en ambos extremos sobre la superficie del Sol, en los llamados hoyos coronales, el campo magnético se abre hacia el espacio interplanetario. Los tubos abiertos de flujo, originados en los hoyos coronales, proveen una forma de escape para el plasma coronal y son las fuentes de las corrientes de viento solar de alta velocidad [9].

En el mínimo de actividad solar, la naturaleza dipolar del campo magnético principal del Sol tiene una estructura latitudinal a lo largo del medio interplanetario. Conforme las líneas de campo se alejan del Sol, la dirección del campo se revierte a lo largo del ecuador heliomagnético. Físicamente, estas líneas de campo opuestas son separadas por una hoja de corriente que, por las contribuciones magnéticas multipolares y la rotación diferencial del Sol, adopta una forma bastante complicada (Ver figura 1.3).

En promedio el campo magnético interplanetario que llega a la Tierra sólo tiene componentes sobre el plano de la eclíptica, pero a veces puede tener una componente substancial que es perpendicular a dicho plano y que, dependiendo de su sentido, determina si el campo magnético interplanetario se puede o no acoplar con el terrestre para permitir la entrada de partículas solares al interior de la magnetósfera, provocando perturbaciones en la misma, y al interactuar con los átomos de la atmósfera, se produce la manifestación visible de la aurora.

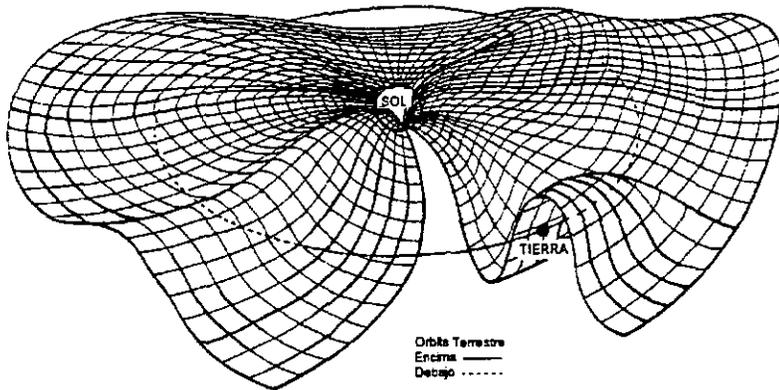


Figura 1.3 Estructura de la hoja de corriente del Sol.

1.2.2 El Sol quieto y el Sol activo

El Sol tiene épocas en las que la ocurrencia de regiones activas es mayor, es decir se tiene un Sol activo, y otras en las que la actividad es mucho menor, lo que se conoce como Sol quieto. El Sol pasa de quieto a activo y luego a quieto siguiendo lo que se conoce como ciclo solar [8], el cual tiene una duración promedio de alrededor de 11 años, con algunos otros de 7 y 13 años. El ciclo solar es el resultado de la rotación diferencial del Sol y de su campo magnético, ya que los movimientos relativos del material solar tuercen y enredan las líneas de campo dando lugar a la aparición de mayor número de regiones activas.

La actividad solar más reportada es la que corresponde al número de manchas solares, que varían con el ciclo solar. El mayor número de manchas ocurre durante el máximo de actividad, y el menor, en el mínimo. Un ciclo típico toma 4 años para ir de mínimo a máximo y como 7 años para regresar al mínimo.

El índice más común de la actividad solar es el número de manchas de la clasificación Zurich. Este número incorpora mediciones del número de grupos de manchas y de manchas individuales. Dicho índice está disponible desde 1749. Las manchas no son rasgos permanentes del disco solar, se ha visto que aparecen en regiones de playas después de la existencia de las fáculas y que su vida promedio puede variar desde unas cuantas horas hasta algunos meses.

La latitud principal de los grupos de manchas varía con el ciclo solar. En el comienzo de un nuevo ciclo (justo después de un mínimo), en promedio, los grupos de manchas se forman cerca de los 40° de latitud solar. Conforme el ciclo avanza, los grupos de manchas se forman sucesivamente a menores latitudes hasta el mínimo solar, donde ya aparecen cercanas al ecuador. Una teoría popular de este movimiento cíclico en latitud involucra la producción y relajación de la tensión magnética por medio de rotación diferencial. Dicha rotación inicialmente produce la mayor tensión del campo cerca de los 40° de latitud, que se va relajando mediante ráfagas solares y continúa creciendo a menores latitudes conforme el ciclo continúa. Cabe mencionar que las ráfagas solares también son utilizadas para cuantificar a la actividad solar [10], es decir, la ocurrencia de ráfagas es mayor durante el máximo y disminuye conforme se avanza hacia el mínimo.

Las eyecciones de masa coronal son nubes de plasma eyectadas por el Sol hacia el medio interplanetario. El número de eyecciones también varía con el ciclo solar. Durante el máximo, las eyecciones de masa coronal ocurren al menos una vez al día, mientras que en el mínimo, la tasa cae a una cada 4 días. El promedio de masa eyectada es de 4×10^{15} g y la energía cinética es de 3.5×10^{30} ergs. Cuando la velocidad de una eyección de masa coronal es superalfébrica (mayor a 400km/s), es un candidato ideal para el inicio de choques interplanetarios.

Durante el mínimo solar, hay predominancia de tormentas con periodo de 27 días, es decir, tormentas recurrentes. Este fenómeno está asociado con corrientes periódicas de viento solar que provienen de hoyos coronales de larga vida. Por otro lado, en tiempos de máximo solar, se presentan tormentas geomagnéticas no recurrentes [11], las cuales se han asociado con eyecciones de masa coronal, con corrientes que provienen de hoyos coronales de vida corta, o bien con ambos. En el máximo solar, la hoja neutra de corriente heliosférica presenta una topología muy compleja y en el mínimo es muy simple, correspondiente a un campo heliomagnético en el que domina la componente dipolar (Ver figura 1.3).

1.3 Actividad geomagnética

Cuando cualquier fenómeno solar, ya sea recurrente o transiente, llega al medio que rodea a la Tierra, se encuentra con un ambiente sumamente complejo, comenzando por la magnetósfera y continuando con la ionósfera [12] y demás capas atmosféricas.

Dado que el plasma solar es dominado por fuerzas electromagnéticas a la altura de la órbita terrestre, el campo geomagnético es un factor de gran influencia para el intercambio de plasma en la frontera magnetosférica y a su vez cualquier inhomogeneidad en el plasma solar es “sentida” por dicho campo terrestre.

1.3.1 Magnetósfera

La magnetósfera [13, 14] es una cavidad de plasma que envuelve a la Tierra y que está determinada por el balance en su frontera de dos presiones, por un lado la solar, que básicamente depende de la densidad y velocidad del plasma solar, y por el otro la terrestre, que es función de la intensidad del campo geomagnético. Con excepción de la alta ionósfera, todos los plasmas magnetosféricos son no colisionales, es decir, el camino libre medio de las partículas es del orden de las dimensiones del sistema, por lo que las fuerzas controladoras son electromagnéticas. Las interacciones entre los flujos de poblaciones de plasma y los campos magnéticos continuamente redistribuyen la energía y momento. Las regiones principales que constituyen la magnetósfera se muestran en la figura 1.4 y son las siguientes:

- **Magnetocola.**- Cola magnética cilíndrica en la región del lado noche, cuyas líneas de campo se reconectan a los 100 radios terrestres y que está formada por parte del momento transferido por el viento solar.
- **Magnetopausa.**- Es la frontera de la magnetósfera y se localiza a 10 radios terrestres del lado día. En esta región, el campo magnético sufre un cambio brusco.
- **Onda de choque.**- Está formada por el frente de onda del viento solar con velocidad superalfvénica que se impacta con el plasma quieto que rodea a la Tierra.
- **Magnetofunda.**- Es una capa de plasma turbulento que separa a la magnetopausa de la onda de choque.
- **Anillos de radiación de Van Allen.**- Son regiones de radiación atrapada que se localizan a distancias de entre 1 y 6 radios terrestres. Constan de iones de aproximadamente 10^8 eV de energía y electrones de 10^6 eV.

- Cúspide del lado día.- Regiones ártica y antártica, en forma de embudo aplastado que separan las líneas de campo geomagnético de la magnetopausa del lado día y la magnetocola.
- Viento polar.- Partículas de baja energía (protones y iones de O) provenientes de la Ionósfera.
- Hoja de plasma.- Está formada por el plasma que conforme fluye hacia la cola sufre de convecciones hacia el centro del plano de la misma. Esta capa se hace más ancha en cuanto mayor es la distancia.
- Anillo de corriente.- Consta de las partículas de la hoja de plasma que se calientan en cuanto más se acercan a la Tierra y conforme entran a la magnetósfera quasi-polar sufren de convecciones hacia el lado día.
- Plasmasfera.- Consiste de plasma frío (hidrógeno y helio) proveniente de la parte más alta de la ionósfera y que tiene tendencia a corrotar con la Tierra.

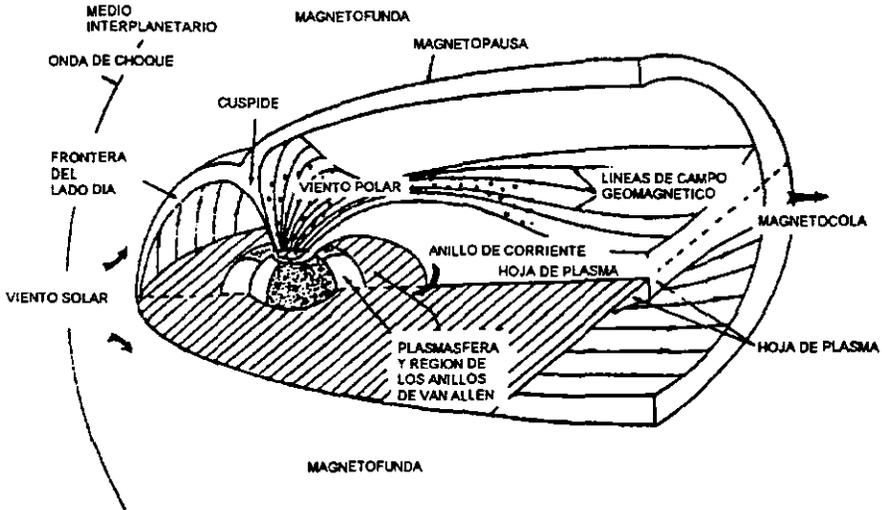


Figura 1.4 Sección transversal de la magnetósfera; se muestran sus rasgos característicos.

1.3.2 Variaciones del campo geomagnético

A primera aproximación, el campo geomagnético [15] es dipolar y el dipolo es la componente principal de campo; superficialmente es del orden de ~ 0.6 gauss en las regiones polares y ~ 0.3 gauss en las ecuatoriales. Existen además contribuciones no dipolares al campo ocasionadas por las corrientes convectivas en el interior de la Tierra y por la acumulación de material ferromagnético en algunas regiones, cuya amplitud en la superficie es de alrededor del 5% del campo dipolar.

Mediciones del campo magnético terrestre muestran una variación diurna global repetitiva en los días geomagnéticamente quietos, es decir, aquéllos en los que el patrón de campo geomagnético no sufre de grandes alteraciones. Las amplitudes de dicha variación son mayores durante el día que durante la noche, y es denominada como la variación diaria del Sol quieto o simplemente Sq. La fuente de Sq es un sistema de corrientes eléctricas que fluyen en la ionósfera inferior producidas por la radiación solar. Los valores típicos de Sq son de 30 a 60 γ a latitudes magnéticas de 10 a 60°.

Otra fuente de variación son las oscilaciones de marea de la atmósfera debidas a la fuerza gravitacional de la Luna. La corriente resultante produce la variación lunar geomagnética, denotada por L. La amplitud de L es de 1/10 de Sq.

Las perturbaciones magnéticas en latitudes ecuatoriales se deben a una corriente ionosférica conocida como electrojet ecuatorial. A latitudes mayores las perturbaciones son más frecuentes y severas que en las regiones de latitud media y baja, sobre todo en los óvalos aurales que son un cinturón ovalado delgado que rodea los polos del dipolo en cada hemisferio. El sistema de corrientes de alta latitud está constituido por el electrojet auroral, que es una corriente intensa que fluye en dirección oeste, un electrojet auroral débil que se extiende desde el sector tarde hasta antes de la media noche, una corriente general que fluye del crepúsculo al amanecer a través de la capa polar y un sistema de corriente débil que se extiende a latitudes menores.

Las variaciones geomagnéticas pueden catalogarse en cuatro tipos (Ver figura 1.5) de acuerdo a su origen solar:

- Tormentas geomagnéticas de comienzo súbito.- Este fenómeno, que constituye una parte de la actividad transiente, se presenta como un rápido incremento en la componente horizontal del campo geomagnético (5 - 30 γ), o comienzo súbito, lo cual es resultado de una entrada de viento solar a la magnetósfera, por medio de procesos de reconexión [10] entre las líneas del campo magnético interplanetario y del campo geomagnético. Después de un tiempo que va desde media hora hasta algunas horas, la magnitud de dicha componente comienza a disminuir a valores menores a los previos a la tormenta; esto se explica por la generación de un anillo de corriente que circula alrededor de la Tierra a una distancia de varios radios terrestres y que genera un campo opuesto al geomagnético. Finalmente se presenta una fase de recuperación que dura varios días.

Estas tormentas son el resultado de una emergencia súbita en el medio interplanetario de campo toroidal solar. Se asocian [16], en su mayoría, con eyecciones de masa coronal superalfvénicas y una mínima parte se atribuye a haces de viento solar rápido; ambos fenómenos generan ondas de choque que impactan la magnetósfera.

Las otras 3 categorías están relacionadas con la distribución alrededor del Sol de varias clases de fuentes corrotantes:

- Tormentas recurrentes.- Este tipo de tormentas no presentan comienzo súbito y no alcanzan, en general, la intensidad de las tormentas con comienzo repentino. Ocurren con una periodicidad de 27 días y no están asociadas con eventos de choque, sino que son causadas [17] por corrientes de viento de alta velocidad provenientes de hoyos coronales polares, los cuales tienen una duración de alrededor de 8 años y corrotan con el Sol.
- Actividad fluctuante.- Es la otra componente de la actividad transiente, causada por corrientes de viento de velocidad fluctuante, asociados al cruce de la hoja de corriente [18].
- Actividad de días quietos [18].- Esta actividad corresponde a todos los días en los que el índice geomagnético aa es menor a 20 γ , lo cual indica una baja velocidad del viento solar, de hecho, esta actividad es causada por corrientes de viento solar de baja velocidad que se originan en los cascos coronales principalmente.

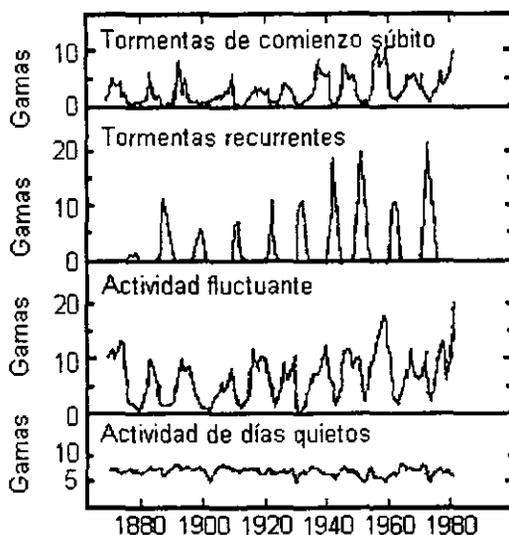


Figura 1.5 Registro de los diferentes tipos de actividad geomagnética en relación a su origen solar durante el periodo de 1868-1982. De arriba a abajo: Tormentas de comienzo súbito (relacionadas con eventos de choque), Tormentas recurrentes (producidas por vientos de alta velocidad), Actividad fluctuante (asociada con vientos de velocidad fluctuante) y Actividad de días quietos (que corresponde a vientos de baja velocidad).

1.4 Influencia del Sol sobre la biota terrestre

En relación con la influencia del Sol sobre la Biota, existe gran controversia. Inicialmente hay buenas razones para buscar relaciones entre los seres vivos y la actividad solar, dado que se ha visto que el clima parece estar ligado con la variación en la radiación solar, por lo que las formas de vida más sensibles a pequeños cambios en parámetros climáticos podrían mostrar respuestas dramáticas y como, a su vez son parte de toda una cadena biológica, dichos efectos tal vez llegarían a niveles más altos de evolución. También se ha planteado el cuestionamiento sobre la influencia ambiental, entre la cual se encuentra la del Sol, en cuanto a la evolución de los relojes internos de los seres vivos. La respuesta más inmediata es la debida al cambio de día y noche, pero existen buenas razones para pensar que incluso otro tipo de ritmos biológicos más complejos también podrían estar relacionados con la actividad solar [19].

A principios de siglo se realizaron análisis variados de diversos organismos en función del número de manchas solares [20]. Entre ellos, se puede mencionar el de Headlee, quien de 1913 a 1941, examinó la densidad de nidos de orugas en Nueva Jersey, encontrando una fuerte relación con el ciclo de manchas con un desfase de 2 años. La recopilación del comportamiento en varias poblaciones de insectos de 1600 a 1900, hecha por MacLagen en 1940 reportando una periodicidad de 11 años, cuyo máximo se alcanza unos años antes del máximo de manchas. El estudio de Keith sobre el número de linceos canadienses en función del número de manchas, en el intervalo de 1820 a 1957, observando una periodicidad de 9.7 a 9.9 años para los linceos, comparado con el ciclo solar de 11 años.

Durante este siglo, se aborda ya el problema de la posible influencia del Sol sobre la salud humana. Científicos rusos han sugerido que existe una asociación real entre tormentas geomagnéticas y la incidencia de enfermedades en humanos [21], siendo las áreas más activas de investigación, las que tratan de encontrar correlaciones entre la actividad solar e infartos al miocardio y embolias. Gnevyshev y Novikova [22] refieren en su trabajo 17 artículos publicados en ruso que sugieren la posibilidad de efectos directos de la actividad solar sobre seres vivos con estudios de dos tipos: experimentos directos en sistemas biológicos colocados en campos artificiales y análisis de correlación entre índices geomagnéticos y mortalidad debida a patologías específicas. Sin embargo, se han llevado a cabo algunos estudios similares que no encuentran efecto alguno de la actividad solar en la salud humana [23, 24] e incluso, en ocasiones, llegan a conclusiones aparentemente contradictorias [Ver por ejemplo 24 y 25].

La discrepancia en dichos trabajos radica en la no uniformidad de las condiciones de estudio y en el tratamiento de los datos. Entre otros, los factores que pudieran causar las diferencias se resumen en: análisis de muestras pequeñas o casos aislados, que es una práctica aceptada en la comunidad biomédica, localización geográfica de las poblaciones en estudio, fase del ciclo solar, comparación con diferentes indicadores de la actividad geomagnética, distintas patologías y un tratamiento estadístico deficiente. En las siguientes secciones se abarcará más extensamente todo el tema relacionado con la salud humana.

1.4.1 Efectos de campos electromagnéticos sobre sistemas biológicos

Debido a que la permeabilidad del tejido vivo es cercana a la del vacío, los campos magnéticos pueden entrar fácilmente al interior de las células. Sin embargo la viscosidad de

los fluidos en el plasma del tejido limita severamente el acoplamiento de energía para campos alternos de baja frecuencia a dimensiones celulares [26].

Dado que los campos magnéticos inducen campos eléctricos, el estudio de las mediciones en los tejidos es bastante complicada. La mayoría de los reportes que observan una respuesta del comportamiento celular a campos electromagnéticos, encuentran correlaciones con el campo eléctrico externo o inducido a nivel membrana celular. En el trabajo de Blackman et al [27], por otro lado, se presenta evidencia de que el campo magnético AC por sí mismo altera la función celular, pues en experimentos realizados a 50Hz, y 22-400mG, observan un crecimiento en neuritas de rata que se relaciona muy bien con la variación en campo magnético, aunque ellos mismos indican que no existe mecanismo plausible para explicarla.

En el caso de los seres vivos en general, cabría además mencionar que para que el campo aplicado sea importante, la energía de interacción en la presencia de magnetosomas debe ser grande comparada con el ruido térmico celular, es decir, mayor a kT [26], donde k es la constante de Boltzmann y T es la temperatura. Para el caso de la glándula suprarrenal humana, la interacción con un campo de decenas de miliGaus es de apenas unas centésimas de kT [7].

La mayoría de los estudios que encuentran una respuesta del comportamiento celular a campos electromagnéticos han propuesto que la interacción es mediada por el campo eléctrico a nivel membranal, lo que se conoce como "una cascada transductora de la señal", tema que ha llegado a ser importante en los estudios celulares y es un marco biológico plausible para entender las respuestas celulares a campos de baja frecuencia. Dicha cascada transductora de la señal involucra eventos iniciales en la membrana celular y dispara eventos subsecuentes como la expresión genética y la síntesis proteica lo cual provoca la proliferación celular [28].

Los trabajos experimentales varían en su complejidad [29], pues abordan problemas desde el flujo de iones de calcio hasta la proliferación celular y carcinogénesis. Walleczek y Liburdy [30] muestran evidencia de que en presencia de una molécula de adhesión en la membrana celular de linfocitos de rata, a campos de 220G y frecuencia de 60Hz, con un campo eléctrico inducido de 1mV/cm, hay una respuesta en el nivel de activación mitogénica. Stuchly et al [31] encuentran un resultado similar, a un campo eléctrico de 1G, 60Hz en células de ratón tratadas con una dosis sub-óptima de un promotor utilizado para

ayudar al desarrollo de un tumor, en el cual observan un incremento considerable del tumor en presencia del campo. Y en cuanto a células humanas, un reporte de Liburdy et al [32], muestra que a la exposición de un campo eléctrico de 1.7mV/cm a nivel membranar, los linfocitos T de sangre exhiben un doblamiento significativamente mayor que en ausencia de campos.

En relación a la carcinogénesis, en los experimentos se utiliza la enzima ornitina decarboxilata ODC, la cual es un participante crítico en la replicación de DNA y la proliferación celular, por lo que las células cancerosas exhiben una actividad elevada de ODC. Byus et al. [33] observaron que la actividad de ODC en células de ratón y de humano, aumentó cuando fueron expuestas a campos eléctricos de 60Hz. Este resultado fue corroborado por Litovitz et al. [34] en estudios de ratón y por Cain et al [35] con el uso de un promotor tumoral. Liburdy et al [36], por otro lado, emplearon células cancerosas del seno con el uso de melatonina, la cual inhibe el crecimiento de dichas células, y observaron que en presencia de campos de 12mG, 60Hz, la acción de la melatonina era suprimida por completo, es decir, aumentaba la tasa de crecimiento de las células cancerosas.

Todos estos resultados se han visto con gran escepticismo por la comunidad física, pues aunque un campo eléctrico externo de baja frecuencia se amplifica unas 20 veces a la altura de la cabeza en una persona bien aterrizada, éste no penetra más allá de la membrana celular, debido a su alta resistencia, por lo que los campos de posible interacción resultan muy débiles en comparación con los potenciales de acción en las células [26].

Hasta aquí se ha visto que la mayoría de los estudios están hechos a frecuencias de 50 y 60 Hz. Esto no es extraño, pues el interés primario de los investigadores radica en la frecuencia a la que funcionan la corriente de línea y los equipos caseros, a los cuales estamos expuestos todo el tiempo. De análisis cuidadosos, se ha llegado a la conclusión de que estos campos débiles de extremadamente baja frecuencia parecen no afectar los procesos biológicos significativamente a nivel celular [37], y patologías como el cáncer, que causaron gran interés al principio de las investigaciones [38].

Sin embargo, se sabe que los campos de bajas frecuencias no son el único tipo de radiación electromagnética a la que nos encontramos expuestos constantemente [39], por lo que a últimas fechas, el interés se ha centrado en las radio frecuencias, estableciendo criterios dosimétricos locales y totales para los efectos que ocasionan en los sistemas biológicos [40]. Por otro lado, también se ha dado importancia a los campos de ultra baja

frecuencia que corresponden a las pulsaciones geomagnéticas y otras perturbaciones de origen humano, ya que se encuentran en el rango de la actividad cerebral [41].

Se debe tomar en cuenta que para todos estos estudios, existe una gran cantidad de variables en los mismos sistemas, entre las que se pueden mencionar el tipo de células que constituyen el objeto biológico de interés, el ciclo celular, activación celular, edad del organismo [42], presencia de factores específicos de crecimiento, temperatura y forma. Así pues resulta aún muy complicado uniformizar los resultados de todos los trabajos para tener una visión amplia de los efectos que puedan o no causar los campos electromagnéticos sobre la biota.

1.4.2 Estudios de correlación entre actividad solar y salud humana

Los trabajos estadísticos estudian una posible relación entre muestras poblacionales afectadas por alguna patología e índices geomagnéticos que indican el nivel general de la actividad geomagnética o de ciertas perturbaciones específicas.

A partir de que un gran número de científicos rusos [22] consideraron formalmente la posibilidad de una asociación entre la actividad solar y la salud humana, se comenzaron a realizar estudios en el mundo occidental, aunque en muchos de los trabajos no se ha encontrado correlación alguna.

En el año de 1976, por ejemplo, se reporta un estudio hecho en Estados Unidos [23], en el que se hacen comparaciones del número de muertes en todo el país debido a mal de la arteria coronaria y ataque cardíaco durante el periodo de 1962 a 1966 en función de los índices A_p y K . Además de análisis locales en función de los índices locales K y W , no encontrando una asociación en ninguno de los casos.

En 1979 se llevó a cabo un estudio en el Reino Unido [24] del número de admisiones por infarto al miocardio durante un periodo de 720 días en función del índice K_p , tratando de encontrar resultados similares a los reportados por Malin y Srivastava [25] en India, quienes obtienen una correlación entre variaciones geomagnéticas periódicas y las admisiones por emergencias cardíacas, sin embargo los resultados son negativos y llegan a la conclusión de que la falta de coincidencia entre sus datos y los de los científicos indios puede ser debida a diferentes etiologías en los ataques al corazón en ambos países, errores sistemáticos en los

equipamientos electrocardiográficos de la India o bien que los datos médicos indios con periodos diferentes al ciclo semanal debidos a costumbres sociales, pudieron coincidir accidentalmente con las variaciones del campo geomagnético.

Varios artículos rusos reportan relaciones entre las alteraciones geomagnéticas y algunas patologías de tipo cardiaco, cerebral y psicológico. En los trabajos de Friedman, Becker y Bachman [43, 44] se presenta evidencia para una asociación con el comportamiento psicológico.

Muchos de los trabajos no hacen análisis estadísticos rigurosos y trabajan con distintos índices geomagnéticos, además de que la localización geográfica, el tipo de población y sus costumbres pudieran influir en los resultados obtenidos.

En cuanto a un análisis reciente que supera muchos de los inconvenientes mencionados, están los artículos de Villoresi et al. [45, 46] en los que se analizan:

- Moscú 1979-1981. Llamadas diarias a ambulancias por diferentes patologías [45]: infarto al miocardio, embolia cerebral, hipertensión, asma bronquial, muerte súbita, perturbaciones en el ritmo cardiaco, accidentes automovilísticos, accidentes en la calle (no automovilísticos) y epilepsia.
- San. Petersburgo 1981. Llamadas diarias a ambulancias por diferentes patologías [46]: infarto al miocardio, infarto al miocardio con confirmación médica, accidentes totales y debidos al alcoholismo, y en enfermedades psiquiátricas sin y con confirmación médica.

En estos estudios se encuentran frecuencias de comportamiento debidas a fenómenos sociales y climáticos, tales como: la variación semanal, las diferentes estaciones del año, vacaciones, los días de pago, etc. Eliminando de los datos, las frecuencias anteriores, se analiza la correlación con las alteraciones geomagnéticas, encontrando una dependencia significativamente estadística en las patologías de infarto al miocardio y embolia cerebral en Rusia, e infarto al miocardio confirmado para St. Petersburgo, con los decrementos Forbush en la intensidad de rayos cósmicos (Ver figura 1.6).

La perturbación interplanetaria que produce la mayoría de los decrementos Forbush en rayos cósmicos consiste en un choque, una hoja post-choque de campo magnético comprimido y perturbado, y una región ocupada por una eyección de masa (nube magnética)

que incluye periodos de B_z negativa. Todo este proceso complejo de perturbaciones pudiera contribuir a incrementar la incidencia de dichas patologías.

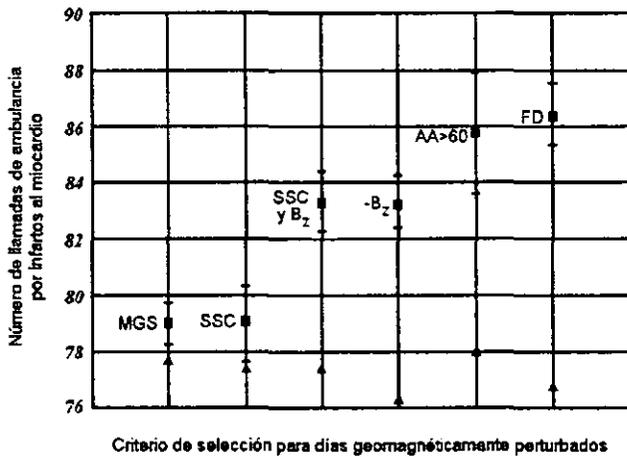


Figura 1.6 Ocurrencia de infartos al miocardio durante periodos de perturbaciones geomagnéticas de acuerdo a 6 criterios de selección para días con: grandes tormentas geomagnéticas (MGS); tormentas de comienzo súbito (SSC); tormentas de comienzo súbito y fuerte componente sur de B_z (SSC y $-B_z$); una fuerte componente sur de B_z ($-B_z$); índice AA mayor a 60 (AA > 60); la fase de decrementos Forbush en la intensidad de rayos cósmicos (FD).

Durante las tormentas geomagnéticas se incrementa también la actividad de pulsaciones con frecuencias en la banda de 0.001 - 10 Hz y que pueden llegar a tener amplitudes de campo que excedan los 10 mG a latitudes altas. En el estudio de Ptitsyna et al [41] se comparan los riesgos coronarios del corazón asociados en función de la radiación electromagnética de ultra baja frecuencia, tomando como fuente de la misma, al sistema de transporte eléctrico de San. Petersburgo, encontrando una alta incidencia de infartos en los conductores de estos vehículos.

1.4.3 Ritmos biológicos y actividad solar

En los seres vivos se encuentran relojes internos que controlan las funciones biológicas. Estas se organizan en periodos de tiempo que van desde fracciones de segundo

hasta muchos años. Se sugiere que la normalidad (salud) puede definirse como la configuración apropiada de ritmos internos con respecto al medio ambiente.

Ha sido postulado [47] que la resonancia entre las variaciones ambientales y los procesos endogénicos de los biosistemas vivos es necesario para la supervivencia de las especies. De acuerdo a esta hipótesis, los ritmos orgánicos deben compararse con ciclos ambientales prominentes, lo cual es plausible si la diferencia en periodo entre el ambiente y el sistema biológico es pequeña, es decir, si cae en un rango aceptable de “sincronización”.

La Cronobiología es la ciencia que analiza todo lo relacionado con la estructura de tiempo de la vida, estudia los cronomas, es decir, los conjuntos genéticos que intermodulan los ritmos biológicos y que caracterizan cada variable fisiológica. Las características rítmicas, los cronos, dependen de la edad, género y riesgo de enfermedad, entre otros factores, incluyendo a los ambientales.

Se ha especulado que los ritmos aparecen a nivel celular o subcelular en las etapas iniciales de la evolución biológica, y que, actualmente, han alcanzado un muy alto grado de complejidad. Los ritmos pueden encontrarse a todos los niveles organizacionales: molecular, subcelular, celular, orgánico, individual y poblacional. Los organismos vivos incorporan en su genoma una estructura de tiempo, que según se cree, ganaron originalmente a partir de las características de su medio ambiente.

La vida en la Tierra está gobernada naturalmente por el Sol. Uno de los ritmos biológicos más importantes es el conocido como circadiano, cuya frecuencia es de un ciclo en 24 ± 4 horas, y según se supone [48], se debe a adaptaciones evolucionarias en respuesta a las variaciones de día y noche en la iluminación, temperatura y otros factores influenciados por la rotación terrestre. Sin embargo, se cree que los factores periódicos heliogeofísicos diferentes a la luz solar visible y ultravioleta pueden sincronizarse con la estructura rítmica de los organismos. En las últimas tres décadas se ha formulado la hipótesis de que los ritmos de la materia viva con frecuencias menores a la circadiana (ritmos infradianos), en especial las componentes multiseptanas, es decir aquellas con frecuencia de un ciclo en alrededor de 3.5, 7, 14 ó 28 días, pudieron haber sido adquiridas mediante una evolución interna [47].

Las componentes circadianas son prominentemente infradianas como las circanuales (1 ciclo en ~ 1 año), circatrigintanas (1 ciclo en ~ 30 días), circaseptanas (1 ciclo en ~ 7

días) y circasemiseptanas (1 ciclo en ~ 3.5 días), todas genéticamente archivadas, aún en bacterias [49]. Varias funciones fisiológicas, incluyendo ritmos cardiacos y respiratorios, revelan respuestas en sincronía con el ciclo de actividad solar de 11 años [47]. Los armónicos o subarmónicos de las componentes circatrigintanas caracterizan la reproducción de una amplia variedad de especies [48]. Los ritmos circaseptanos (1 ciclo en ~ 7 días) y circasemiseptanos (1 ciclo en ~ 3.5 días) se han encontrado en seres unicelulares [51], en insectos [52], en características sanguíneas de recién nacidos [53], estudios clínicos en adultos [54], respuestas postoperatorias [55]; además en morbilidad y mortalidad de poblaciones infantiles [56] y adultas [45, 46].

El estudio de la Cronobiología ha revelado interacciones sorprendentes de actividad solar con fisiología y patología humanas [47]. La influencia de las variaciones heliogeofísicas en la fisiología humana son sugeridas por las correlaciones, en ritmos circaseptanos y circasemiseptanos, entre el índice geomagnético K_p , que refleja perturbaciones geomagnéticas globales y la componente vertical (B_z) del campo magnético interplanetario por un lado, y los datos médicos por el otro. Estos últimos han consistido en datos fisiológicos en adultos [54] y recién nacidos [57], y datos poblacionales [45, 46] de patologías como infartos al miocardio, embolias cerebrales, arritmias cardiacas, episodios de hipertensión, muerte cardíaca súbita y asma.

El origen de la semana se atribuye comúnmente a razones sociales, no obstante, según lo visto en esta sección y en reportes de estudios de vida primaria extrauterina [47], podría deberse a la elección hecha por la sociedad como consecuencia de una estructura de tiempo interna, más que debida a un régimen puramente social; y dicho reloj biológico pudo estar determinado, quizás por influencias ambientales, entre las que la solar podría jugar un papel principal. Sin embargo, la proximidad de periodos fisiológicos y geomagnéticos en sí misma no implica relaciones causales, pero en el contexto de otras evidencias disponibles, podría implicar algún grado de resonancia fisiológica con factores heliogeofísicos.

Capítulo 2

Posible mecanismo para la Interacción Sol-Biota

2.1 Modelo celular

En el capítulo anterior se revisaron los resultados de varios estudios que muestran que los campos electromagnéticos afectan a los sistemas biológicos. Los organismos vivos están formados por electrolitos que conducen las corrientes eléctricas, por lo que es posible que las fluctuaciones geomagnéticas también puedan inducir corrientes en su interior. Pero para que se pueda producir algún efecto, los campos eléctricos inducidos por alguna variación exterior deben ser mayores que los del ser vivo, a cada nivel de su organismo.

Una onda electromagnética que pasa a través de una célula cumple las ecuaciones de onda:

$$\nabla^2 \bar{B} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \bar{B}}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial \bar{B}}{\partial t} = 0 \quad (2.1)$$

$$\nabla^2 \bar{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \bar{E}}{\partial t^2} - \mu\sigma \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} = 0 \quad (2.2)$$

donde \bar{E} y \bar{B} son los campos eléctrico y magnético, t es el tiempo y μ , ϵ y σ son la permeabilidad, la permitividad y la conductividad del citoplasma, respectivamente.

Considerando a la célula como un conductor, y que la onda se mueve en dirección z , en un eje de referencia, las soluciones de (2.1) y (2.2) están dadas por [58]:

$$\bar{B} = B_o e^{i(\alpha z - \omega t)} e^{-\beta z} \hat{j} \quad (2.3)$$

$$\bar{E} = E_o e^{i(\alpha z - \omega t)} e^{-\beta z} \hat{i} \quad (2.4)$$

donde \bar{E} está en la dirección x , \bar{B} está en la dirección y , E_o y B_o , son las amplitudes de los campos eléctrico y magnético fuera de la célula, $\omega = 2\pi\nu$, ν es la frecuencia de la onda y α y β están dados por:

$$\alpha = \omega \sqrt{\epsilon\mu} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)} \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

$$\beta = \frac{\omega\sigma\mu}{2\alpha} \quad (2.6)$$

La cantidad $\delta = 1/\beta$ se conoce como profundidad de penetración y mide la profundidad a la cual el campo eléctrico decae a $1/e$ veces su valor en la superficie.

Sin tomar en cuenta la dirección del vector, podemos reescribir a (2.4) como:

$$E = E_o e^{-\beta z} [\cos(\alpha z - \omega t) + i \text{sen}(\alpha z - \omega t)] \quad (2.7)$$

Esta expresión muestra al campo eléctrico como un número complejo que es la suma de una parte real y otra imaginaria. Tomando la parte real y multiplicándola por la conductividad se obtiene la densidad de corriente:

$$J = \sigma E_o e^{-\beta z} \cos(\alpha z - \omega t) \quad (2.8)$$

Si consideramos una célula cúbica de lado L , siendo una de los lados paralelo al eje z , que es la dirección en la que viaja la onda electromagnética, se puede obtener la corriente total en el interior de la célula integrando como sigue:

$$I = \int_0^L L \sigma E_o e^{-\beta z} \cos(\alpha z - \omega t) dz \quad (2.9)$$

Resolviendo la integral y evaluando en los limites se obtiene la expresión para la corriente:

$$I = \frac{L\sigma E_o}{\beta^2 + \alpha^2} \left\{ \cos \omega t \left[e^{-\beta t} (-\beta \cos(\alpha L) + \alpha \sin(\alpha L)) + \beta \right] + \right. \\ \left. \sin \omega t \left[e^{-\beta t} (-\beta \sin(\alpha L) + \alpha \cos(\alpha L)) + \alpha \right] \right\} \quad (2.10)$$

Derivando con respecto al tiempo e igualando a cero, se obtiene que la corriente pico es:

$$I_{max} = \frac{L\sigma E_o}{\beta^2 + \alpha^2} \cos \left(\arctan \frac{C}{D} \right) \left[D + \frac{C^2}{D} \right] \quad (2.11)$$

Donde C y D están dadas por:

$$C = e^{-\beta L} (-\beta \sin(\alpha L) + \alpha \cos(\alpha L)) + \alpha \quad (2.12)$$

$$D = e^{-\beta L} (-\beta \cos(\alpha L) + \alpha \sin(\alpha L)) + \beta$$

A partir de la ecuación de Maxwell $\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$, se obtiene la relación entre E_o y B_o para los campos antes de entrar a la célula asumiendo que el exterior es un dieléctrico:

$$B_o = \sqrt{\epsilon_a \mu_o} E_o \quad (2.13)$$

Donde ϵ_o es la permitividad del aire y μ_o es la permeabilidad del vacío.

O bien:

$$E_o = \frac{B_o}{\sqrt{\epsilon_a \mu_o}} \quad (2.14)$$

Sustituyendo (2.14) en (2.11), obtenemos la expresión para la corriente máxima en función de B_o :

$$I_{\text{máx}} = \left[\frac{L \sigma B_o}{\sqrt{\epsilon_o \mu_o (\beta^2 + \alpha^2)}} \right] \cos \left(\arctan \frac{C}{D} \right) \left[D + \frac{C^2}{D} \right] \quad (2.15)$$

Despejando a B_o tenemos:

$$B_o = \left[\frac{\sqrt{\epsilon_o \mu_o (\beta^2 + \alpha^2)} I_{\text{máx}}}{L \sigma \cos \left(\arctan \frac{C}{D} \right)} \right] \left[\frac{D}{D^2 + C^2} \right] \quad (2.16)$$

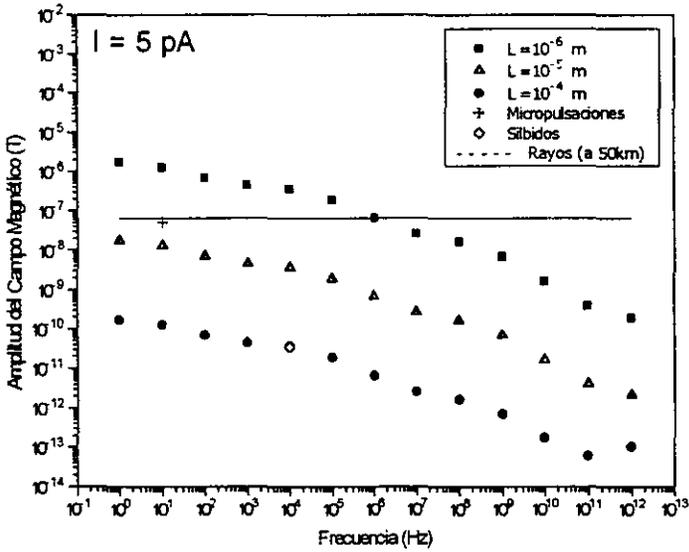
El tamaño de una célula (en este caso L) varía del orden 10^{-6} m a 10^{-4} m, siendo en promedio de 10^{-5} m. [59]. Para la corriente máxima se reporta un valor no mayor a 30pA [60], aunque la magnitud de la corriente de un solo canal iónico es del orden de 5pA [61]. La conductividad y la permitividad dependen de la frecuencia como se muestra en la referencia [61], de donde se obtuvieron los valores a distintas frecuencias. Por último, la permeabilidad magnética de la célula se considera la del vacío [26] $\mu = \mu_o$.

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación (2.16) obtenemos la gráficas de la figura 2.1.

Para amplitudes de campo menores que las que aparecen en las figuras 2.1a y 2.1b, las corrientes inducidas por fluctuaciones externas son menores que las producidas por la célula misma, mientras que para amplitudes mayores, las corrientes inducidas por fluctuaciones externas son mayores que las producidas por la célula misma.

En la tabla 2.1 se presentan los intervalos de las fluctuaciones geomagnéticas observadas, en amplitud y frecuencia. Las micropulsaciones, los silbidos y las ondas generadas por los rayos tendrían la amplitud de campo magnético requerida. En el caso particular de los rayos, en el intervalo de radiofrecuencias, se pueden encontrar fenómenos electromagnéticos que puedan afectar a los seres vivos. Además se ha sugerido que la ocurrencia de rayos se relaciona con los decrementos Forbush en rayos cósmicos [62] y estos eventos, a su vez, son controlados por la actividad solar [63].

a)



b)

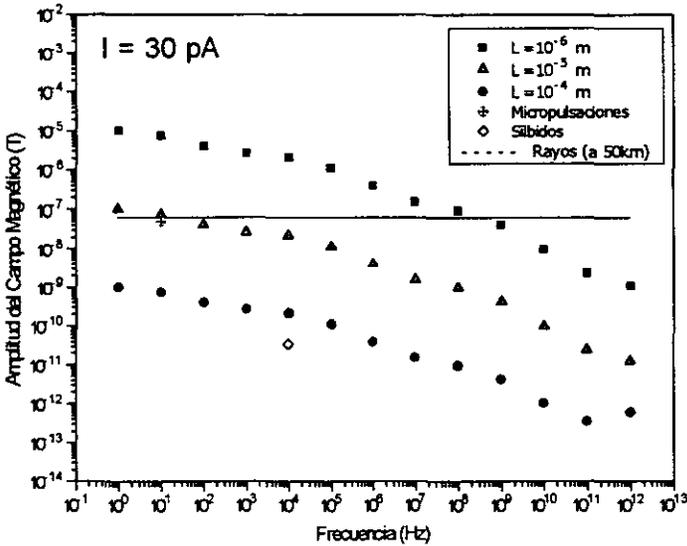


Figura 2.1 B, en función de la frecuencia (escala logarítmica) a partir de la ecuación (2.16), a) Para $I_{max} = 5 \text{ pA}$, b) Para $I_{max} = 30 \text{ pA}$. Por comparación, en ambas gráficas, también se indican con círculos blancos las amplitudes de las micropulsaciones y los silbidos, y con una línea continua, la amplitud de campo a 50 km de los rayos.

Tabla 2.1

Frecuencias, periodos y amplitudes de las fluctuaciones del campo geomagnético

Variación	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)	Amplitud (γ)
Secular del campo geomagnético	$\sim 10^{-9}$	$\sim 10^8$	$\sim 10^1$
Estacional del campo geomagnético	$\sim 10^{-8}$	$\sim 10^7$	$\sim 10^1$
Diarias del campo geomagnético	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^5$	5×10^1
Tormentas geomagnéticas	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^5$	$\leq 10^3$
Diurna del campo geomagnético	1.16×10^{-5}	8.64×10^4	$\sim 2.5 \times 10^1$
Perturbaciones ionosféricas	$\sim 10^{-3}$	$\sim 9 \times 10^2$	$\sim 10^1$
Micropulsaciones	$10^{-3} - 10^1$	$10^1 - 10^3$	$\sim 5 \times 10^1$
Silbido	$\sim 10^4$	$\sim 10^{-4}$	35×10^{-3}
Ondas electromagnéticas generadas por rayos	$5 \times 10^0 - 5 \times 10^8$	$2 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-1}$	depende de la distancia

$$1 \gamma = 10^{-9} \text{ T}$$

2.2 Mecanismo físico

Explorando, en particular, el caso de los rayos, se propone el siguiente mecanismo para explicar algunas de las correlaciones encontradas entre la actividad solar y la biota:

Cuando la actividad solar aumenta, se origina un decremento en la intensidad de rayos cósmicos. Se ha reportado [62] que el decremento en rayos cósmicos produce incremento en la frecuencia de rayos, los cuales generan ondas electromagnéticas en el rango de radio frecuencias. Ahora bien, como se vió en la sección anterior, el incremento en ondas de radio puede inducir corrientes en las células de los seres vivos del mismo orden o mayores que las corrientes generadas por las células mismas.

Podemos calcular la amplitud de campo magnético de las ondas de radio de frecuencia ν generadas por el rayo mediante la siguiente expresión [64]:

$$B_{\nu}(t + \frac{d}{c}) = \frac{\mu_0 \nu}{2 \pi c d} I_0 \text{ sen}(2 \pi \nu t + \Pi) \quad (2.17)$$

donde t es el tiempo, d es la distancia horizontal de la descarga a tierra, c es la velocidad de la luz, μ_0 es la permeabilidad del vacío y v es la velocidad de regreso del trazo (*return stroke speed*), I_0 es el pico de corriente en el trazo del relámpago, ν es la frecuencia, y Π es la fase de la corriente. Entonces el campo magnético resultante oscila con una amplitud:

$$B_{prom} = \frac{\mu_0 v}{2 \pi c d} I_0 \quad (2.18)$$

Igualando los valores absolutos de la ecuaciones (2.18) y (2.16) podemos encontrar d :

$$d = \frac{\mu_0 v I_0 L \sigma (D^2 + C^2) \cos\left(\arctan \frac{C}{D}\right)}{2 \pi c \sqrt{\epsilon_0} \mu_0 (\beta^2 + \alpha^2) I_{max} D} \quad (2.19)$$

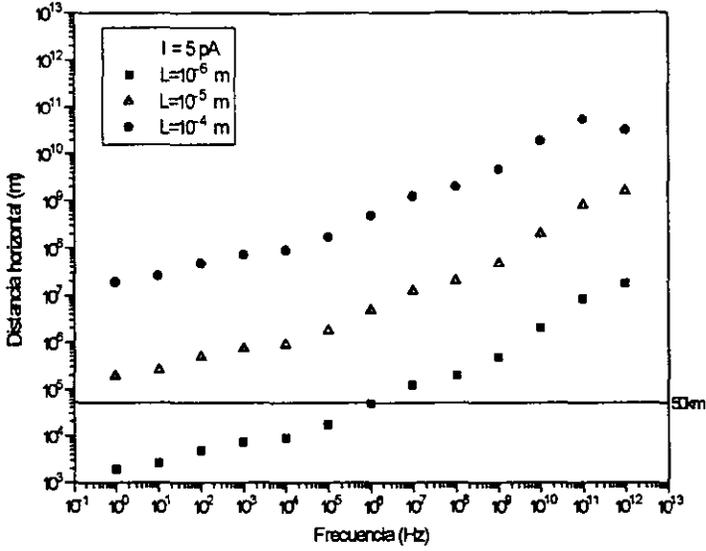
Esta ecuación da la distancia máxima de la descarga a la cual la corriente inducida que está asociada con una onda de frecuencia ν tiene el mismo valor que las corrientes celulares. A distancias menores, la corriente inducida es mayor que la de la célula misma.

La corriente promedio en el rayo es de $I_0 = 40$ kA y la velocidad promedio del trazo es de $v = 1.2 \times 10^8$ m/s [64]. Sustituyendo estos valores en la ecuación (2.19), se obtienen las gráficas de la figura 2.2, en ellas también se marca una distancia de 50 km, debido a que la mayoría de las ciudades o poblaciones pueden incluirse en un círculo de 50km de radio. Se puede ver que una sola tormenta que ocurra cercana a una ciudad poblada puede inducir corrientes mayores que las de las células mismas, dentro de todas las células de tamaño promedio y grande de sus habitantes, pero sólo afectaría a las células muy pequeñas de las personas muy cercanas a la tormenta. Para el caso de la gráfica de la figura 2.2a dicha cercanía incluye distancias mayores que para el de la figura 2.2b.

Sin embargo, la profundidad de penetración de los campos no es la misma para todas las frecuencias, como puede verse en la figura 2.3, donde se muestra el comportamiento de $\delta = 1/\beta$ como función de la frecuencia. A frecuencias de 10^8 Hz, la penetración de campos es de ~ 1 dm, a 10^9 Hz, es de ~ 1 cm, a 10^{10} Hz, es de ~ 1 mm etc. Esto indica que conforme aumenta la frecuencia, los campos penetran cada vez menos, por lo que a frecuencias muy

altas, las corrientes inducidas son prácticamente superficiales y no pueden llegar a las células de los órganos.

a)



b)

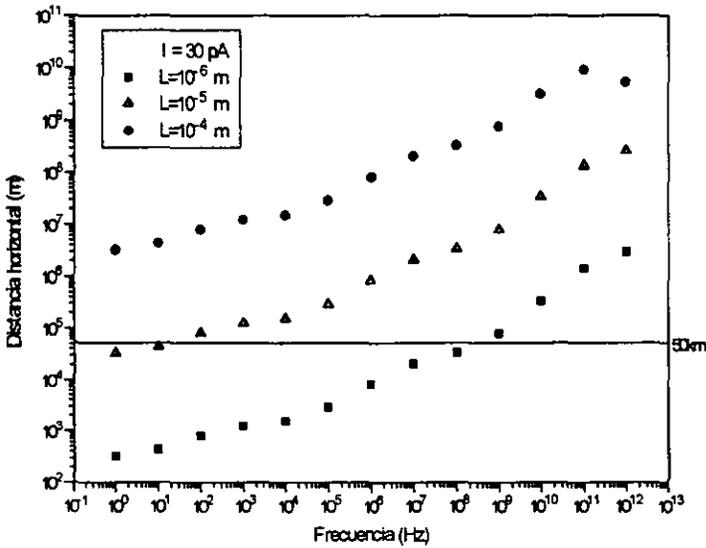


Figura 2.2 La distancia horizontal de descarga a tierra d como función de la frecuencia, a partir de la ecuación (2.19). a) Para $I_{max} = 5 \text{ pA}$, b) Para $I_{max} = 30 \text{ pA}$.

Las corrientes inducidas dentro de las células pueden causar daño por efecto Joule o alterando las corrientes de las mismas células, reforzándolas cuando siguen la misma dirección u oponiéndose a ellas. Y si las células de un organismo viviente son dañadas, esto puede ser un factor de desencadenamiento para una enfermedad.

Si por el contrario, disminuye la actividad solar, la intensidad de rayos cósmicos aumenta, lo cual ocasiona que la ionización en la atmósfera terrestre se incremente y la frecuencia de rayos decrezca. Así pues, el promedio de radiofrecuencias generado por rayos también disminuye. Y en las células de los seres vivos, las corrientes inducidas que son del mismo orden o mayores que las corrientes generadas por las células mismas, disminuyen o están ausentes, las células no son dañadas y en consecuencia, esto ya no es un factor importante de desencadenamiento de enfermedades.

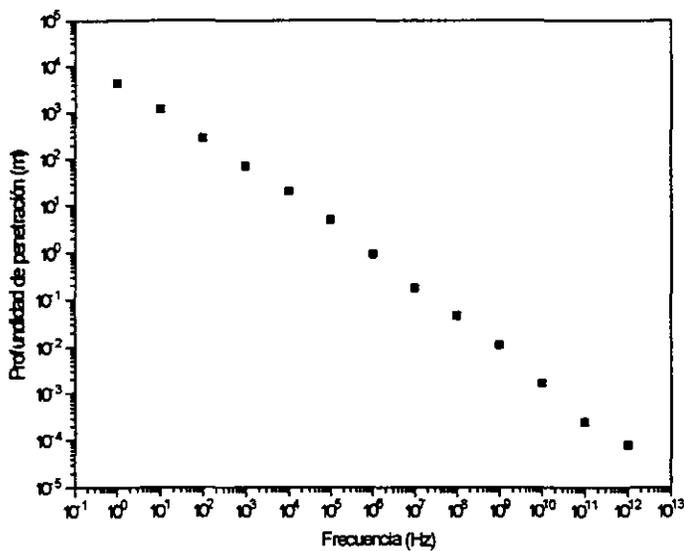


Figura 2.3 Profundidad de penetración, $\delta = 1/\beta$ como función de la frecuencia, a partir de la ecuación (2.6).

Cabe aclarar que aquí no se asume que todos los seres vivos que se encuentren en el área de acción de la radiación electromagnética producida por rayos tienen que desarrollar una enfermedad, puesto que las células tienen sus propios mecanismos de reparación. Pero si por cualquier razón, dichos mecanismos están debilitados, entonces la presencia de un rayo podría ocasionar daño celular y quizá propiciar el desarrollo de alguna enfermedad.

En el método de interacción que se plantea se ha explorado el efecto de la radiación electromagnética de alta frecuencia sobre un sistema biológico como la célula. Se pudo observar que la influencia de los campos electromagnéticos está determinada por el tamaño de la célula y la profundidad de penetración, lo cual, a su vez, establece intervalos particulares de dicha influencia. Además, los fenómenos naturales explorados se encuentran en frecuencias específicas, las cuales se muestran en la tabla 2.1. Para el caso particular de los rayos, el intervalo de acción se encontraría alrededor de 10^6 Hz hasta aproximadamente 10^8 Hz.

Como se ha dicho líneas arriba, las corrientes inducidas llegan a ser del orden de las que existen en las células mismas o, hasta incluso, mayores, pero esto no implica que sea un factor de desencadenamiento de enfermedades, pues la patología de cada una de ellas es sumamente compleja e involucra muchas otras variables. Sin embargo, lo que si cabe la pena mencionar, es el hecho de que existen fenómenos electromagnéticos de alta frecuencia en el medio ambiente, de los cuales, la célula tiene noticia y en consecuencia puede haber una respuesta de la misma al estímulo, y si se encuentra dañada, podría presentar alguna alteración de mayor importancia para el funcionamiento del sistema biológico en conjunto, es decir, del ser vivo. Y en el caso particular del ser humano, que es el que nos atañe, esto

Capítulo 3

Metodología para el análisis de los datos

3.1 Series de tiempo

En esta tesis se estudiarán datos que se toman a lo largo del tiempo. En particular, se trabajó con registros médicos diarios, es decir, a intervalos de tiempo iguales. El propósito de este capítulo es ilustrar de manera general el análisis de esta clase de datos, el cual se hace en dos tipos de espacios: el de tiempo y el de frecuencia. El análisis estadístico, que se muestra en este capítulo, está enfocado a este último espacio, pues en el estudio que nos atañe, nos interesan particularmente las periodicidades intrínsecas a la serie, ya que existen varios fenómenos de carácter ajeno que deseamos poder identificar para excluirlos de la misma.

Las series de tiempo [65] están constituidas por secuencias ordenadas de observaciones a intervalos sucesivos a lo largo del tiempo. Dependiendo de la manera en que las observaciones puedan hacerse, se les clasifica en continuas o discretas, pero generalmente son estas últimas las que reciben mayor atención debido a que los algoritmos computacionales para analizarlas son siempre discretos. El análisis de series de tiempo puede llevarse a cabo ya sea en el espacio de tiempos o en el dominio de frecuencias, considerando la suposición previa de que las observaciones son dependientes o correlacionadas, siendo importante, el número de éstas u orden de la serie. Una serie de tiempo está constituida (Ver figura 3.1) por tendencias de larga duración, movimientos cíclicos que se refieren a las

oscilaciones alrededor de la curva de tendencia, estacionales e irregulares, debidos estos últimos debidos a sucesos de carácter no periódico.

En las siguientes secciones, describiremos varios métodos de análisis de series de tiempo, en el espacio de frecuencias, los cuales se usan en el capítulo posterior.

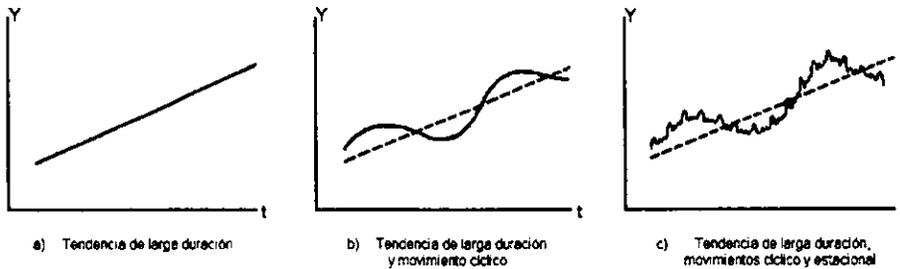


Figura 3.1 Ejemplo de tres movimientos característicos de las series de tiempo: a) Tendencia de larga duración, b) Movimiento cíclico y c) Movimiento estacional.

3.2 Método de la Transformada Rápida de Fourier (FFT)

Los métodos a los que se hace referencia en esta sección y en la siguiente pertenecen al análisis de series de tiempo en el dominio de frecuencias, en el cual se describen las fluctuaciones de las series en términos de su comportamiento sinusoidal en varias frecuencias.

Una función puede aproximarse [66] mediante series de Fourier como sumas de senos, cosenos, y una constante. En principio, esto se hace para funciones periódicas pero se generaliza a cualquier función considerando un periodo infinito. La transformada de Fourier mapea los datos de un espacio de tiempo a uno de frecuencia. En un intervalo infinito para la transformada de Fourier de un valor real o complejo $x(t)$ está definido por:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (3.1)$$

Para el caso de límites finitos, en el intervalo $(0, T)$ por ejemplo, la ecuación (3.1) puede escribirse como sigue:

$$X(f) = \int_0^T x(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (3.2)$$

Suponiendo que $x(t)$ es muestreada en N puntos igualmente espaciados en intervalos de tiempo Δt y seleccionado una frecuencia de corte, también conocida como frecuencia de Nyquist ($f_c=1/2\Delta t$), lo suficientemente alta, se tiene que para una frecuencia arbitraria f , la versión discreta de la ecuación (3.2) está dada como:

$$X(f, T) = \Delta t \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp[-j2\pi f n \Delta t] \quad (3.3)$$

con $x_n = x(n \Delta t)$, para $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

La selección de los valores discretos para la frecuencia es la siguiente:

$$f_k = kf_o = \frac{k}{T} = \frac{k}{N\Delta t} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.4)$$

Para estas frecuencias, los valores transformados dan las componentes de la transformada de Fourier definidos como sigue:

$$X_k = \frac{X(f_k, T)}{\Delta t} = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp[-j \frac{2\pi k n}{N}] \quad (3.5)$$

donde Δt se incluyó en $X(f_k, T)$ para tener un factor de escala de la unidad, antes de realizar las sumas. Se puede ver que estos resultados sólo son aplicables cuando k es diferente de $N/2$, pues esto equivale a la frecuencia de Nyquist para el punto en particular.

Para simplificar los cálculos, sea:

$$W(u) = \exp[-j \frac{2\pi u}{N}] \quad (3.6)$$

Se tiene que $W(N) = 1$ y que para toda u y v se cumple que:

$$W(u + v) = W(u)W(v)$$

Sean $X(k) = X_k$ y $x(n) = x_n$, sustituyendo en (3.5) y con las consideraciones anteriores, tenemos que:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W(kn) \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.7)$$

Puede verse que las ecuaciones (3.5) y (3.7) son las expresiones de la transformada discreta de Fourier para $x(n)$, cuando $x(n)$ es una serie con N términos. Estas ecuaciones requieren un total de N^2 operaciones que incluyen sumas y multiplicaciones para resolver todos los términos $X(k)$ involucrados.

La Transformada Rápida de Fourier (FFT, *Fast Fourier Transform*) es un algoritmo que reduce el número de operaciones requeridas en la transformada discreta de Fourier, lo cual optimiza el tiempo de cómputo. El análisis FFT se basa en que, por teoría de números, cualquier entero N puede escribirse como el producto de números primos, es decir:

$$N = \prod_{i=1}^p r_i = r_1 r_2 \dots r_p \quad (3.8)$$

Los términos $X(k)$ pueden encontrarse de manera iterativa mediante la suma de los p términos [67], como sigue:

- (N/r_1) Transformadas de Fourier que requieren $4r_1^2$ operaciones reales cada uno
- (N/r_2) Transformadas de Fourier que requieren $4r_2^2$ operaciones reales cada uno
- \vdots
- (N/r_p) Transformadas de Fourier que requieren $4r_p^2$ operaciones reales cada uno

Así pues, el número total de operaciones sería:

$$4(Nr_1 + Nr_2 + Nr_3 + \dots + Nr_p) = 4N \sum_{i=1}^p r_i \quad (3.9)$$

Por lo cual, el radio de velocidad del FFT en relación a la Transformada discreta de Fourier es entonces:

$$\text{Radio de velocidad} = \frac{N^2}{4N \sum_{i=1}^p r_i} = \frac{N}{4 \sum_{i=1}^p r_i} \quad (3.10)$$

En el caso particular de que $N = 2^p$, suposición que siguen la mayoría de los programas computacionales, entonces $\sum_{i=1}^p r_i = 2p = 2 \log_2 N$, y sustituyendo en la ecuación (3.10), se tiene que:

$$\text{Radio de velocidad} = \frac{N^2}{8Np} = \frac{N}{8p} \quad (3.11)$$

Puede notarse que cuando p es muy grande, es decir, cuando se tiene una serie muy larga, el radio de velocidad se incrementa significativamente. En la práctica, por supuesto, no es fácil encontrar series de longitud 2^p , pero se pueden aproximar agregando ceros, teniendo cuidado al final, con la interpretación de las frecuencias. En las referencias [67], [68] se pueden encontrar algunos algoritmos FFT.

3.3 Método de Máxima Entropía (MEM)

Los métodos tradicionales para la obtención del espectro de potencias en el espacio de frecuencias están basados en la transformada de Fourier, como el caso del FFT. Para obtener una buena estimación en series ruidosas, generalmente se suavizan por medio de una ventana en el dominio temporal que involucra el uso de una media móvil (Ver Secc. 3.4.1), con el objetivo de que la función de autocovarianza decaiga a cero, es decir que los eventos sean independientes. Las limitaciones más serias de esta clase de método radican en la baja resolución en el dominio de frecuencias.

Varios métodos nuevos han sido diseñados para la estimación del espectro, que incrementan la resolución. El primer método fue diseñado por Burg [69] en 1967 y es el más útil para series de datos registrados a intervalos de tiempo iguales. Dicho método es

conocido como Método de Máxima Entropía (MEM, *Maximum Entropy Method*) que se usa mucho como estimador espectral.

El concepto de entropía en sistemas de comunicación fue introducido por Shannon [70] en 1948. Dicho concepto se relaciona con la cantidad de aleatoriedad o incertidumbre en un sistema que proporciona información. Se define una cantidad llamada información propia, S , la cual es el recíproco de la probabilidad de ocurrencia, es decir:

$$S(x_i) = - \log p(x_i) \quad (3.12)$$

En donde p es la probabilidad de ocurrencia de x . Podemos ver que la información propia decrece si x ocurre con mayor probabilidad, mientras que si el evento es raro, éste contiene un mensaje más significativo. En el caso de que la probabilidad de x sea uno, se tiene que la información propia es cero.

A lo largo de un periodo de tiempo T , el número de veces en las que x tiene lugar es $p(x_i) T$, por lo que la información total que se puede obtener del sistema completo es:

$$- T \sum_i p(x_i) \log p(x_i) \quad (3.13)$$

La esperanza E de la información propia, es decir, la información promedio por unidad de tiempo está dada como:

$$E[S(x_i)] = \sum_{i=1}^M p(x_i) S(x_i) \quad (3.14)$$

Escribiendo $H = E[S(x_i)]$, y utilizando la expresión (3.12), podemos escribir:

$$H = - \sum_{i=1}^M p(x_i) \log p(x_i) \quad (3.15)$$

Esta cantidad H es conocida como la entropía, que a diferencia del concepto físico, es una medida de la incertidumbre de que el sistema pueda estar en un estado particular. En 1956, Brillouin [71] notó que esta entropía es una medida de nuestra ignorancia de un sistema, mientras que para 1957, Jaynes [72] sugirió utilizar la entropía como método de inferencia, observando que la mejor asignación de probabilidad que refleja la información

parcial, es aquélla que maximiza (3.15), además de tener que ser consistente con la información.

En 1967 Burg mostró como es posible obtener el espectro de potencias de los datos mediante la generación de un nuevo conjunto de datos que mostrara la mayor aleatoriedad y tuviera la máxima entropía. El método utiliza los corrimientos disponibles en la función de autocovarianza y consiste en maximizar la cantidad de información de las series de tiempo.

Debido a que el principio de máxima entropía requiere sólo de la información proporcionada, la función de densidad de máxima entropía no agrega información adicional, ni ignora la que está disponible. Es en este sentido, en el que la información provee las bases y argumentos para una estadística suficiente.

La potencia de entrada puede obtenerse mediante la potencia de salida corregida con la respuesta del filtro:

$$\text{Entrada} = \frac{\text{Salida}}{\text{Respuesta del filtro}} \quad (3.16)$$

El espectro de potencias de entrada, P_E es designado por Burg como la estimación por máxima entropía de la potencia y está dado por [68]:

$$P_E(f) = \frac{P_m / 2f_c}{\left(1 + \sum_{n=1}^N D_n e^{-2\pi i f n \Delta t}\right)^2} \quad (3.17)$$

en donde $f_c = 1/2\Delta t$ es la frecuencia de Nyquist, y Δt es el intervalo de muestreo en el dominio temporal.

En la ecuación (3.17) se puede observar que la sumatoria incluye los N términos de la señal de entrada. En la práctica, la estimación se hace hasta un número M de coeficientes, que pueden ser cualquier entero menor o igual a N , en general, se toma un número de coeficientes del orden de $N/2$. El método para la obtención de los coeficientes se basa en la ecuación de Burg para el filtro de predicción de errores [68], utilizando varias iteraciones por pasos que se incrementan a partir de la matriz de orden 0 en adelante. Para ver algunos algoritmos de MEM, pueden consultarse las referencias [68], [73], [74].

3.4 Suavizamiento de series de tiempo

3.4.1 Media móvil

La media móvil es un filtro pasa-bajos que elimina las fluctuaciones no deseadas correspondientes a altas frecuencias, que están presentes en una serie de tiempo.

Sea x_1, x_2, x_3, \dots un conjunto de observaciones en el tiempo. Se define como media móvil de orden Q a la que viene dada por la sucesión de medias aritméticas, es decir:

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_Q}{Q}, \frac{x_2 + x_3 + \dots + x_{Q+1}}{Q}, \frac{x_3 + x_4 + \dots + x_{Q+2}}{Q}, \dots \quad (3.18)$$

A menudo suele usarse también la media móvil pesada, en la que se emplean las medias aritméticas ponderadas, siendo los pesos dados con anterioridad. Un ejemplo común de la sucesión, es de la forma:

$$\frac{(1)x_1 + [(W)x_2 + \dots + (W)x_{Q-1}] + (1)x_Q}{1 + (Q-2)(W) + 1}, \frac{(1)x_2 + [(W)x_3 + \dots + (W)x_Q] + (1)x_{Q+1}}{1 + (Q-2)(W) + 1},$$
$$\frac{(1)x_3 + [(W)x_4 + \dots + (W)x_{Q+1}] + (1)x_{Q+2}}{1 + (Q-2)(W) + 1}, \dots \quad (3.19)$$

donde $1, W, \dots, W, 1$ indican los pesos dados.

3.4.2 Filtración digital

La mayoría de las fórmulas de los filtros digitales [67] hacen la suposición de que los datos a procesar pertenecen a series de tiempo con valores discretos que representan muestreos de procesos aleatorios estacionarios. La filtración de los datos se hace con propósitos de suavizamiento, separación de componentes de frecuencia, y evaluación de propiedades a varios intervalos de frecuencia. Dependiendo del rango de frecuencias que los filtros dejan pasar se dividen en: pasa-bajos, que permite el paso de las frecuencias bajas en

el intervalo que previamente se establece; pasa-altos, para frecuencias altas; pasa-bandas, para frecuencias en un intervalo intermedio; y supresor de banda, que impide el paso de un intervalo muy pequeño de frecuencias alrededor de alguna específica que se desea suprimir. En la figura 3.2, por ejemplo, se muestra la naturaleza de los filtros pasa-altos y pasa-bajos para el caso de una onda senoidal contaminada por ruido de alta frecuencia. El filtro pasa-altos dejará pasar todo el ruido de alta frecuencia, mientras que el pasa-bajos, suavizará la curva, de modo que sólo quede la onda senoidal.

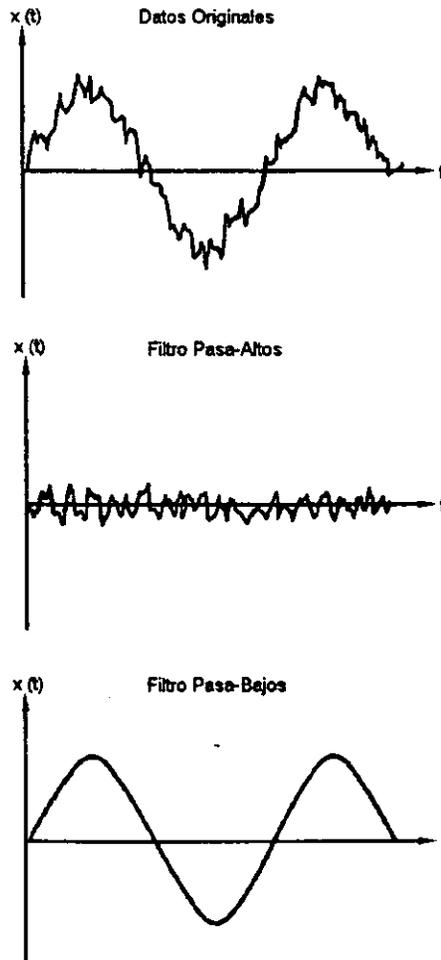


Figura 3.2 Ejemplo de filtrados pasa-altos y pasa-bajos.

La relación general entre la señal de entrada $x(t)$ y la de salida $y(t)$ en un filtro lineal está dada por la integral de convolución:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t - \tau)d\tau \quad (3.20)$$

donde $h(\tau)$ es la función de peso del filtro. La función de respuesta en frecuencia del filtro $H(f)$, es la transformada de Fourier de $h(\tau)$ definida por:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (3.21)$$

En la figura 3.3 se dan ejemplos de filtros ideales para los casos especiales de pasa-bajos, pasa-altos y pasa-bandas. La forma de los filtros digitales que en realidad se usan, tratan de aproximarse lo más posible a los ideales, y se muestran en la figura 3.4 para los mismos casos anteriores.

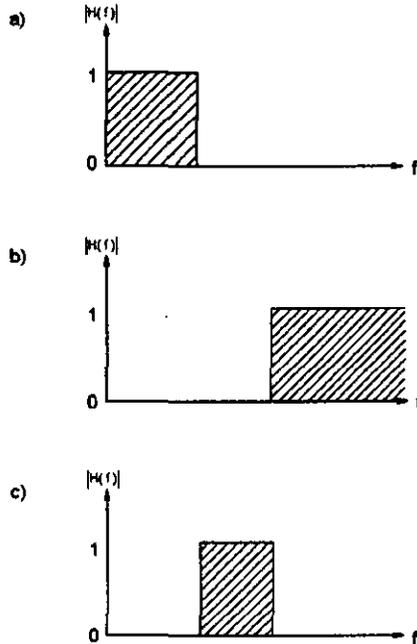


Figura 3.3 Características de filtros ideales. a) Pasa-bajos, b) Pasa-altos y c) Pasa-bandas.

La función utilizada en el filtro digital depende de los valores mínimo y máximo de la frecuencia del filtro; del parámetro de Gibbs, que viene de las variaciones y oscilaciones resultantes del truncamiento abrupto de las series infinitas de la transformación al espacio de frecuencias; y del número de términos de la mascarilla o kernel de convolución [75].

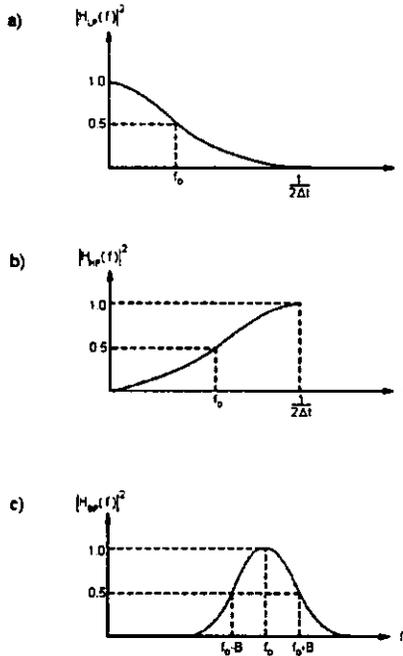


Figura 3.4 Características de los filtros digitales. a) Pasa-bajos, b) Pasa-altos y c) Pasa-bandas.

3.5 Superposición de épocas

Por último, la superposición de épocas, en una serie de tiempo, consiste en la consideración y división de la serie en periodos similares y de igual longitud, en seguida se superponen las curvas resultantes de todos esos periodos en una sola gráfica y se hace el promedio del comportamiento de los datos. Por ejemplo, las series de datos anuales con intervalos de muestreo diarios, pueden dividirse en periodos de semanas completas que vayan de lunes a viernes, considerarse el promedio de todos los lunes, todos los martes, y así sucesivamente hasta el de los domingos. El resultado es una gráfica del comportamiento semanal promedio en todo el año. De igual manera, este procedimiento puede utilizarse para otro tipo de intervalos de tiempo, cuidando siempre, que todos tengan la misma longitud.

En la figura 3.5 se da un ejemplo del proceso de superposición de épocas. En la figura 3.5a se muestra una serie de tiempo de $t = 0$ hasta $t = 50$ tomada a intervalos iguales de tiempo. Dicha serie se divide en 5 periodos, cada uno de $\Delta t = 10$, los cuales se grafican de manera superpuesta en la figura 3.5b. Para $t = 1$ se hace el promedio de los primeros valores de cada periodo que da como resultado el primer punto de la gráfica de la figura 3.5c, para $t = 2$ se hace el promedio de los segundos valores de cada periodo que da como resultado el segundo punto de la gráfica de la figura 3.5c, y así sucesivamente hasta llegar a los últimos valores de cada periodo que dan como resultado el décimo punto de la figura 3.5c.

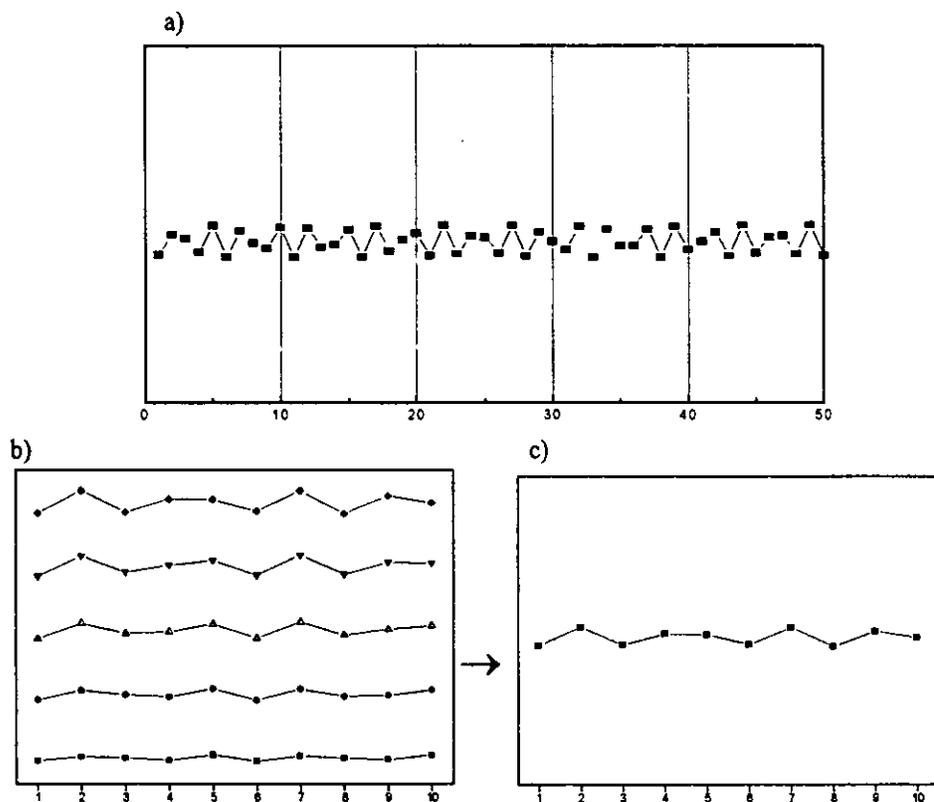


Figura 3.5 Método de superposición de épocas ilustrado con un ejemplo. a) Serie de tiempo de $t = 0$ a $t = 50$, dividida en periodos iguales de $\Delta t = 10$. b) Superposición de las gráficas para cada uno de los periodos. c) Gráfica de los promedios obtenidos para cada uno de los tiempos, la cual es el resultado del método de superposición de épocas.

Capítulo 4

Resultados y Discusión

4.1 Comportamiento de la serie de infartos

Se estudió el número de infartos diarios registrados por el Instituto Nacional de Cardiología durante un periodo de 5 años que abarca desde el 1º de enero de 1992 hasta el 31 de diciembre de 1996. Con un total de 1827 días y 2290 casos. En las siguientes secciones se hace un análisis del comportamiento general de la serie, en la sección 4.1.1 se presenta el análisis en el espacio temporal por el periodo total y promediado a un año, en la sección 4.1.2 se hace el análisis espectral para observar las frecuencias que tiene dicha serie y en la sección 4.1.3 se relacionan dichas frecuencias con fenómenos de tipo estacional y social.

4.1.1 Análisis en el espacio temporal

En la figura 4.1 se muestra el comportamiento de los infartos a lo largo del periodo total. Se puede ver que el número de infartos oscila entre 0 y 3 para la mayoría de los días, llegando hasta el número extremo de 7 infartos en un día. De hecho, para más de la tercera parte de los 5 años, los casos son de 1 infarto diario (Ver pie de figura 4.2).

En la figura 4.2 se grafica el porcentaje de días en función del número de infartos diarios, notando que se sigue aproximadamente una distribución gaussiana centrada cerca del 1.

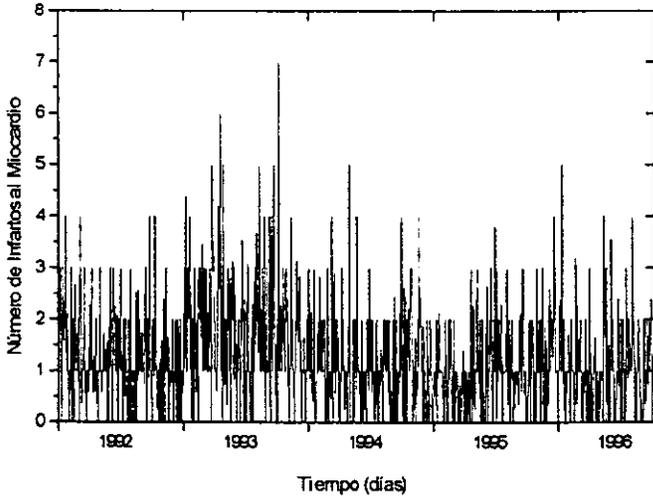


Figura 4.1 Número diario de infartos al miocardio en función del tiempo por un periodo total de 5 años, desde el 1°. de enero de 1992 hasta el 31 de diciembre de 1996 (Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Cardiología).

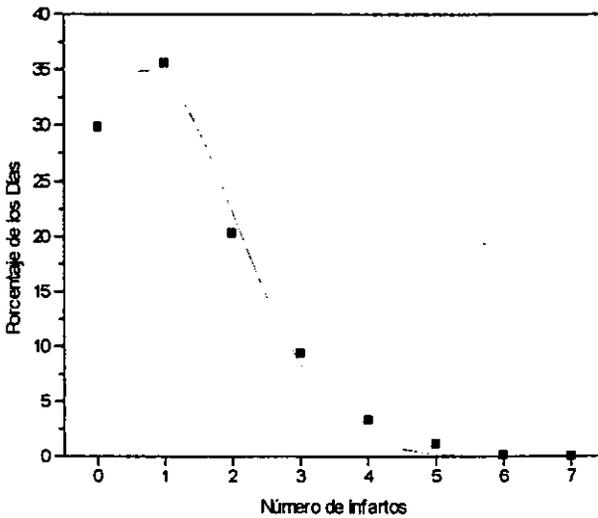


Figura 4.2 Porcentaje de días como función del número de infartos. Se puede ver que para la mayoría del periodo la ocurrencia es de 1 infarto por día. La línea de puntos indica una aproximación gaussiana centrada en 0.714, es decir, muy cerca de 1, con varianza de 1.357.

Para observar el comportamiento a lo largo de un año, se hizo un análisis de épocas superpuestas para los 5 años, teniendo cuidado de que cada uno fuera de la misma longitud, por lo cual se omitieron los días 29 de febrero en los años bisiestos (1992 y 1996).

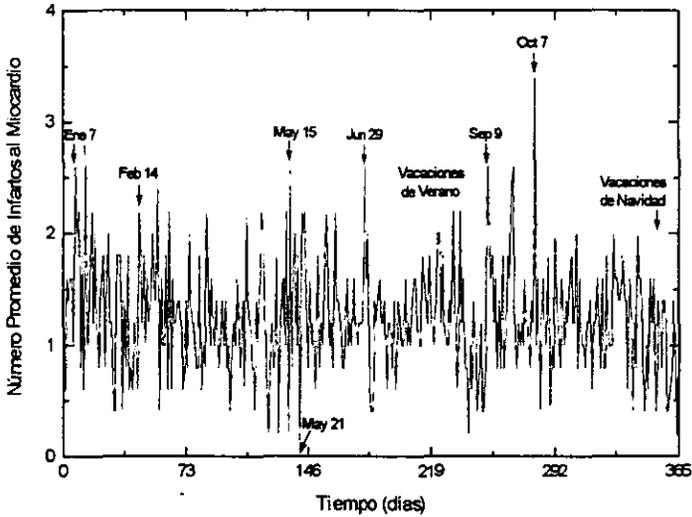


Figura 4.3 Gráfica de épocas superpuestas para los 5 años del estudio. Aquí se señalan algunos de los días y periodos que destacan a lo largo del año.

En la figura 4.3 se muestra la gráfica del promedio de infartos en función del tiempo, en donde además se señalan algunos de los días y periodos que destacan y que podrían relacionarse con la organización social de la vida. Si seguimos esta idea, se puede notar que, tanto al principio del año como al final, existe un periodo de tranquilidad que coincide con las vacaciones de Navidad, seguido de un primer pico en el promedio de infartos el 7 de enero, justo después del día de los reyes magos (6 de enero), en el que hay una gran actividad de compra en las tiendas, y otro pico mayor el 13 de enero (no señalado), que en principio, no parece relacionarse con alguna fecha en especial. Después vuelve a haber una temporada de relativa calma hasta la presencia de un primer pico el 14 de febrero, en el que se festeja el día del amor y la amistad, y que a su vez, también está relacionado con gran actividad comercial y publicitaria, seguido de otro pico el 25 de febrero (no señalado), que corresponde al día siguiente al que se festeja la bandera nacional. La temporada que le sigue tiene un comportamiento variado, en el que el promedio de infartos no presenta una tendencia específica. Para el 15 de mayo, día del maestro, se tiene un pico de actividad

mayor, y se vuelve a ver otro comparable el 29 de junio, día que coincide con la época de fin de cursos en el calendario de la Secretaría de Educación Pública (SEP). La mayoría de los días de vacaciones de verano presentan menor promedio en la ocurrencia de infartos, sin embargo, esto no es tan evidente debido a que no todas las personas tienen vacaciones durante el periodo completo. El 9 de septiembre, aproximadamente una semana después del inicio de clases en el calendario escolar de la SEP, se vuelve a notar la presencia de otro pico; este periodo coincide con una gran actividad de compra de útiles escolares por parte de los padres de familia. En la gráfica se señalan además las fechas de los extremos en la actividad de infartos, correspondiendo el mínimo de todo el periodo al 21 de mayo, y el máximo al 7 de octubre, que no se pudieron relacionar con alguna fecha especial.

4.1.2 Análisis espectral

Con objeto de identificar las frecuencias inherentes a la serie de tiempo estudiada, se hizo un análisis espectral a toda la serie, con los métodos FFT y MEM, descritos en las secciones 3.2 y 3.3 respectivamente.

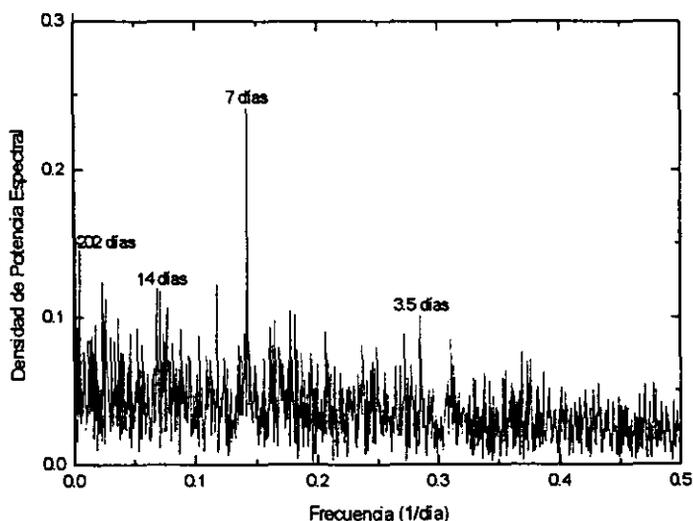


Figura 4.4 Transformada Rápida de Fourier (FFT) para la serie del número de infartos diarios durante 5 años (Ver figura 4.1). Se señalan los picos de frecuencia que destacan y se indica el número de días a los que corresponde cada uno.

En las figuras 4.4 y 4.5 pueden verse los resultados, los cuales difieren en la calidad de definición de los picos de frecuencia, pues mientras que el análisis FFT (figura 4.4) presenta una gráfica altamente ruidosa, en la cual sólo el pico que corresponde a 7 días es bastante evidente, el análisis MEM (figura 4.5) muestra una clara distinción entre los picos, y pueden notarse con facilidad las frecuencias correspondientes a 200 días (relacionado con una variación casi de tipo anual), 14.5 días (el cual se identifica como una variación quincenal) y 7 días (que es una variación semanal), además aparece el segundo armónico de 3.5 días. En la figura 4.4, del análisis FFT también se señalan los picos anteriores por comparación.

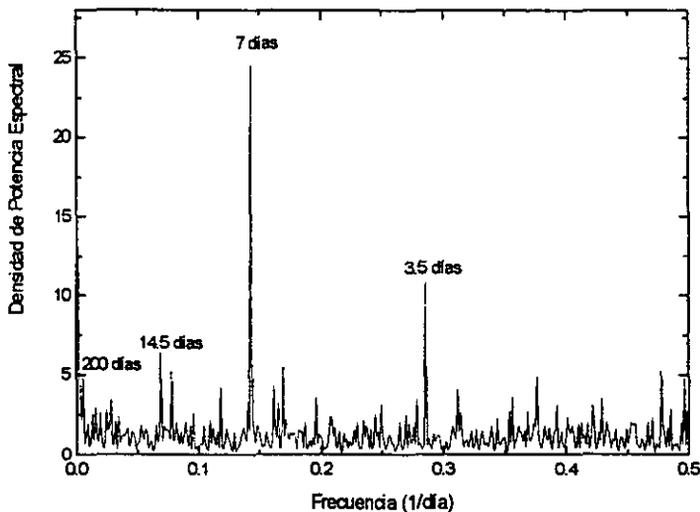


Figura 4.5 Resultado del Método de Máxima Entropía (MEM) aplicado a la serie del número de infartos diarios durante 5 años (Ver figura 4.1). Se señalan los picos de frecuencia que destacan y se indica el número de días a los que corresponde cada uno.

4.1.3 Estudio de los picos de frecuencia observados

Debido a que se observó un pequeño pico de 200 días en el análisis espectral, se quiso investigar el comportamiento de la ocurrencia de infartos en cada estación a lo largo del año. Por lo que se procedió a hacer un análisis de épocas superpuestas para datos semanales por cada estación. En la figura 4.6 se muestra el resultado para todo el periodo,

en el que se consideraron para cada estación del año las semanas completas que corresponden a las siguientes fechas:

Primavera: 23 de marzo al 14 de junio de 1992, 22 de marzo al 20 de junio de 1993, 21 de marzo al 19 de junio de 1994, 27 de marzo al 18 de junio de 1995, 25 de marzo al 16 de junio de 1996.

Verano: 22 de junio al 20 de septiembre de 1992, 21 de junio al 19 de septiembre de 1993, 27 de junio al 18 de septiembre de 1994, 26 de junio al 17 de septiembre de 1995, 24 de junio al 15 de septiembre de 1996.

Otoño: 28 de septiembre al 20 de diciembre de 1992, 27 de septiembre al 19 de diciembre de 1993, 26 de septiembre al 18 de diciembre de 1994, 25 de septiembre al 17 de diciembre de 1995, 23 de septiembre al 15 de diciembre de 1996.

Invierno: 6 de enero al 15 de marzo de 1992, 21 de diciembre de 1992 al 14 de marzo de 1993, 27 de diciembre de 1993 al 20 de marzo de 1994, 26 de diciembre de 1994 al 19 de marzo de 1995, 25 de diciembre de 1995 al 17 de marzo de 1996.

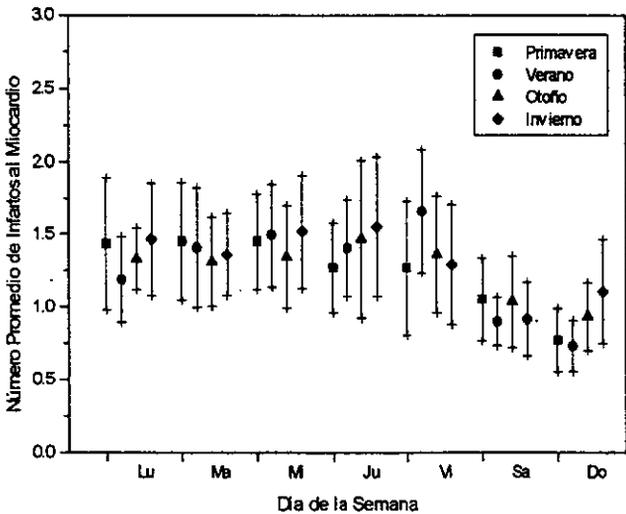


Figura 4.6 Comportamiento estacional mediante análisis de épocas superpuestas para las semanas completas en cada estación. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

Se puede notar en la figura, que el comportamiento semanal es dominante, siendo los sábados y domingos, los días con menor incidencia de infartos en comparación al resto de los días de la semana. Además, se puede ver que la mayor ocurrencia de infartos en todo el periodo se presenta en los viernes de verano y la menor en los domingos de primavera y verano, no obstante las barras de error son grandes, por lo que la diferencia entre estaciones se considera como una tendencia.

Mediante un filtro digital supresor de banda, método descrito en la sección 3.4.2, se eliminó la frecuencia correspondiente a 200 días de los datos originales y se estudió la serie de tiempo resultante. Puesto que también se observó un pico correspondiente a 14.5 días, se quiso ver el comportamiento de los infartos a lo largo de un periodo quincenal, mediante el siguiente análisis de superposición de épocas.

A lo largo de los 5 años se tienen meses de diferente longitud, es decir, de 28, 29, 30 y 31 días. Con el objeto de que la superposición de épocas sea sobre periodos de tiempo iguales, para todos los meses se tomó como día "0" al día 15 y último de cada mes, y después simplemente, los días antecesores y subsecuentes a dicho día, fueron considerados como "-1,...-7" y "1,...7" respectivamente. En la tabla 4.1 se muestra con mayor claridad este proceso de selección.

Tabla 4.1

Selección de días para el análisis de superposición de épocas del comportamiento quincenal
(Ver figura 4.7)

Número de día para el análisis de superposición de épocas															
Tipo de Mes	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
Días del siguiente mes															
de 28 días	21	22	23	24	25	26	27	28	1	2	3	4	5	6	7
de 29 días	22	23	24	25	26	27	28	29	1	2	3	4	5	6	7
de 30 días	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7
de 31 días	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7
Todos los días del mismo mes:															
Todos	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

En la figura 4.7 se muestra el resultado del análisis de superposición de épocas para el comportamiento quincenal. Los días "0" (15 y último de cada mes) tienen la característica especial de corresponder a los días de pago para la mayoría de la población mexicana, y coinciden, además, con gran actividad comercial, pues en esta época se presenta la mayor cantidad de ofertas en las tiendas. Se puede ver, a partir de la gráfica de la figura 4.7, que una semana después del pago se presenta una mayor incidencia de infartos.

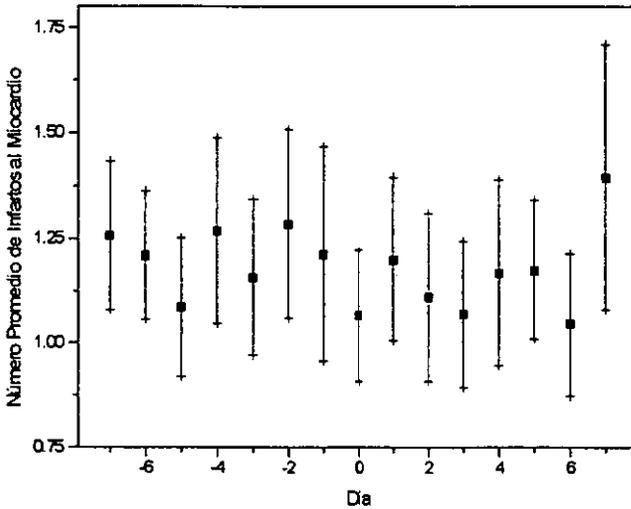


Figura 4.7 Comportamiento quincenal mediante análisis de épocas superpuestas según el procedimiento de selección de días que aparece en la tabla de la figura 4.7. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

El pico correspondiente a 7 días en el análisis espectral es bastante notorio, además de que se observó también el segundo armónico de 3.5 días, por lo que su presencia indica una periodicidad dominante. Esto ya se pudo comprobar en el análisis estacional (Ver figura 4.6).

Procediendo como en el caso anterior, se hizo uso de filtros digitales supresores de banda (Ver sección 3.4.2) para eliminar el resto de las frecuencias observadas en los datos originales, todas, excepto el pico que nos interesa, es decir, la correspondiente a 7 días. Enseguida se aplicó un análisis de superposición de épocas para las semanas completas del periodo total, que abarcaron desde el 6 de enero de 1992 hasta el 29 de diciembre de 1996,

el resultado se muestra en la figura 4.8, además de que, por comparación, también se grafica el promedio del número de infartos en días de vacaciones y de asueto que no coincidían con sábados ni con domingos. Las fechas consideradas para este último punto fueron:

Vacaciones de verano: 1º. de julio al 31 de agosto para todos los años (no se incluyen sábados ni domingos)

Vacaciones de invierno: 15 al 31 de diciembre para todos los años (no se incluyen sábados ni domingos)

Días de asueto: 21 de marzo, 30 de abril, 1, 5 y 10 de mayo, 15 y 16 de septiembre, 12 de octubre, 1, 2 y 20 de noviembre, y 12 de diciembre.

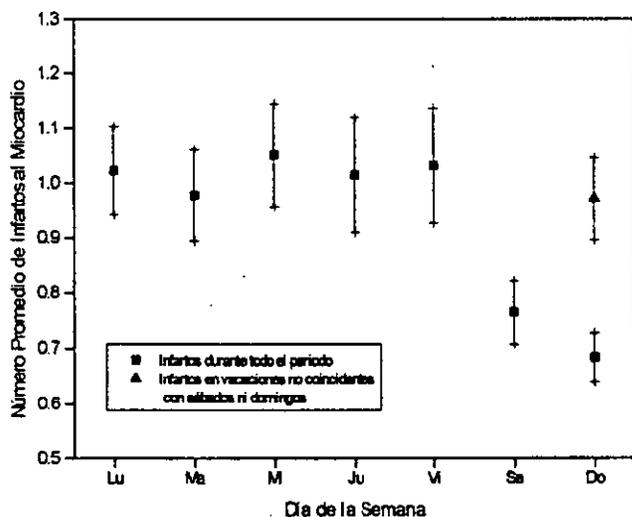


Figura 4.8 Comportamiento semanal mediante análisis de épocas superpuestas en todo el periodo. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

Podemos ver en la gráfica de la figura 4.8 un comportamiento regular en la incidencia de infartos de lunes a viernes, mientras que disminuye notablemente (por un factor de 0.71) en los sábados y domingos, sin embargo, el valor correspondiente a los días de vacaciones y de asueto es similar al de los días de entre semana (sólo disminuye por un factor de 0.95). Cabe aquí mencionar que los periodos vacacionales no son los mismos para

toda la población, no obstante haciendo el análisis independiente para cada uno de los considerados (vacaciones de verano, vacaciones de invierno, días de asueto), el valor obtenido para el promedio de infartos no difiere mucho del total, que es el que aparece en la figura 4.8. El periodo de 7 días en la ocurrencia de infartos puede deberse a dos causas: 1) A un ritmo de trabajo relacionado con la semana social. 2) O bien la periodicidad semanal pudiera estar asociada con ritmos biológicos circaseptanos [47], los cuales también han sido relacionados con la actividad solar [19]. Es importante mencionar que el pico de 3.5 días predomina, dado que permanece de manera dominante, aún después de filtrar el que corresponde a 7 días. Tal vez esto se deba más a un aspecto circasemiseptano en el ritmo humano, el cual tiene un origen puramente ambiental [47]. Cabe recordar que se han reportado componentes con periodos cercanos a 7 y 3.5 días en los campos magnéticos planetarios e interplanetarios [19].

4.2 Relación entre la ocurrencia de infartos y ciertos índices geomagnéticos

Habiendo filtrado la serie de infartos original de las frecuencias que se obtuvieron mediante el análisis espectral, se procedió a comparar la serie resultante con fenómenos relacionados con la actividad solar. Se incluyeron en el estudio: el índice geomagnético aa (tomado de [76]), que puede verse como una cuantificación de la velocidad del viento solar [17], y los decrementos Forbush en rayos cósmicos (tomados del Reporte Anual de la Estación de Rayos Cósmicos, U.N.A.M. [77]) que indican una perturbación geomagnética, debida ya sea, a una eyección de masa coronal o a una corriente rápida de viento solar. Se consideraron días de actividad geomagnética intensa, aquéllos con $aa \geq 60\gamma$, y días quietos, los que tenían $aa < 60\gamma$ (Ver Tabla 4.2). Para establecer los días de decrementos Forbush se utilizaron tres criterios de selección (Ver Tabla 4.2), el primero de ellos, FD, considera todos los decrementos mayores al 1.5% en el conteo de neutrones en la Estación de Monitoreo de Neutrones de México, D.F., ya sean súbitos (que duran 1 día o menos) o lentos (que duran más de 1 día); mientras que el segundo criterio, FDr, sólo tomó en cuenta los decrementos súbitos y el tercer criterio, FDI, sólo consideró los decrementos lentos.

En la figura 4.9 se presenta la comparación entre los promedios del número de infartos en días geomagnéticamente perturbados y en aquéllos que se consideran quietos, según el criterio utilizado para cada índice (Ver Tabla 4.2). Se puede observar que para el índice aa y para FDI, casi no hay diferencia entre la incidencia de infartos en unos días u

otros. Para los días de FD, el efecto es pequeño, pues la ocurrencia de infartos se incrementa por un factor de 1.06, mientras que es más notable para FDr, ya que la incidencia de infartos en días con FDr es mayor por un factor de 1.13 que en el resto de los días. No obstante, en la discusión anterior, no se tomaron en cuenta las barras de error, debido a que éstas son demasiado grandes por el relativamente pequeño número de casos; así pues, este comportamiento debe considerarse sólo como una tendencia.

Tabla 4.2

Criterio de selección para la consideración de días perturbados y quietos, según el índice indicado.

Índice	Días Perturbados	Días Quietos
aa	$\geq 60y$	$< 60y$
FD	Hay decrementos Forbush súbitos y lentos	El resto de los días
FDr	Hay decrementos Forbush súbitos	El resto de los días
FDI	Hay decrementos Forbush lentos	El resto de los días

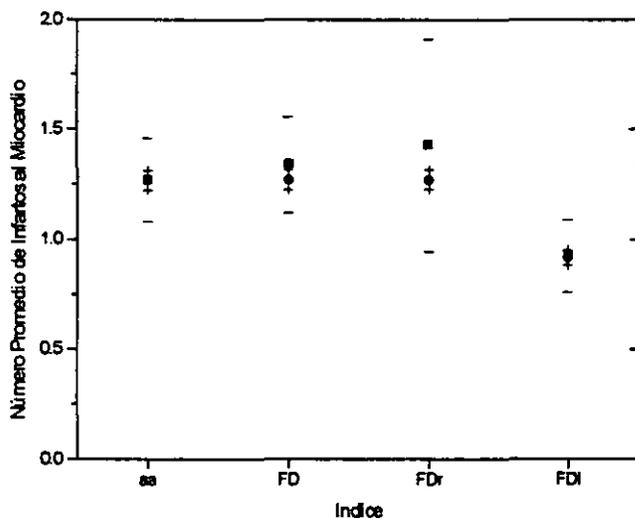


Figura 4.9 Gráfica de comparación entre la incidencia de infartos (datos filtrados de frecuencias estacionales y sociales) en días geomagnéticamente perturbados y quietos, según criterio de selección de la Tabla 4.2. Los cuadrados indican el promedio de infartos en los días donde el criterio es afirmativo y los círculos donde es negativo. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza, indicadas por líneas para los cuadrados y cruces para los círculos.

Por comparación, se hizo también el mismo análisis para los datos originales, sin ningún tipo de filtrado. Se tomó el mismo criterio de selección de la Tabla 4.2 que fue previamente discutido líneas arriba. El resultado se muestra en la figura 4.10. Se puede apreciar que para FD y FDr, la tendencia es la misma que en la figura 4.9, siendo ahora los factores de incremento de 1.09 y 1.18, respectivamente, mientras que para FDI se hizo evidente una leve tendencia, siendo mayor el promedio de infartos en los días en que el criterio es afirmativo por un factor de 1.04 en relación al promedio correspondiente a los días en que el criterio es negativo. Para aa, hay una ligerísima diferencia, en donde prevalece el criterio negativo.

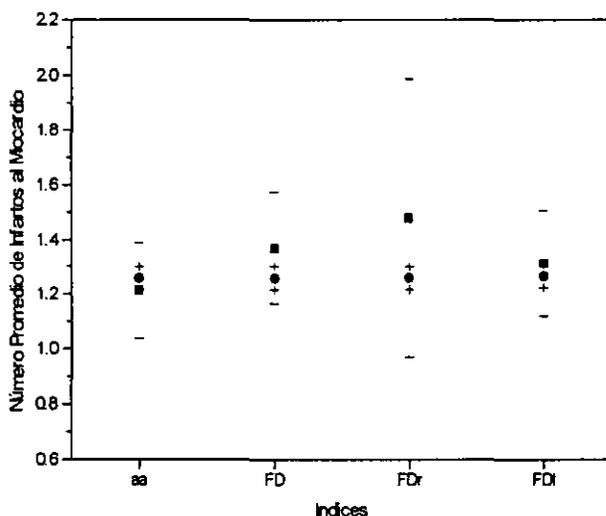


Figura 4.10 Gráfica de comparación entre la incidencia de infartos (serie original de datos, sin ningún tipo de filtrado) en días geomagnéticamente perturbados y quietos, según criterio de selección de la Tabla 4.2. Los cuadrados indican el promedio de infartos en los días donde el criterio es afirmativo y los círculos donde es negativo. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza, indicadas por líneas para los cuadrados y cruces para los círculos.

4.2.1 Análisis de épocas superpuestas

Para poder ver más detalladamente el efecto de los decrementos Forbush sobre los infartos al miocardio, se hizo un análisis de épocas superpuestas en el que se considera como

día "0", el correspondiente al inicio del decremento; esto resulta de particular importancia para el caso de FDI, en donde el fenómeno se desarrolla durante varios días, y también para FD, en el cuál se toman en cuenta todos los casos de decrementos súbitos y lentos. Los días que siguen al inicio del decremento se indican con números positivos y los que lo anteceden, con números negativos. Para FD y FDI se ve el comportamiento de nueve días anteriores y posteriores al evento, en consideración a que se incluyen decrementos de larga duración y el efecto puede tardar en manifestarse. En el caso de FDr, sólo se toman en cuenta siete días antes y después, dado que el fenómeno es súbito.

En la figura 4.11 se presentan los resultados obtenidos para FD, FDr y FDI respectivamente, considerando, tanto los datos originales del número de infartos al miocardio diarios, como la serie filtrada de todo tipo de frecuencias observadas (Ver sección 4.1.3). Las figuras 4.11a y b muestran el análisis de épocas superpuestas en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush (FD) de carácter lento y súbito, para los datos originales y los datos filtrados, respectivamente. Las figuras 4.11c y d muestran el análisis de épocas superpuestas en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter súbito (FDr), para los datos originales y los datos filtrados, respectivamente. Por último, las figuras 4.11e y f muestran el análisis de épocas superpuestas en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter lento (FDI) para los datos originales y los datos filtrados, respectivamente. Puede verse que no hay diferencia apreciable en la incidencia del número de infartos durante los días que anteceden y siguen al día del comienzo del decremento Forbush.

Además se repite el análisis de épocas superpuestas para FDI, considerando esta vez como día "0", al que corresponde al término del decremento Forbush, es decir, el día en el que el conteo de neutrones llega al mínimo. Los resultados se muestran en la figura 4.12. En 4.12a y b, se puede ver el mismo tipo de comportamiento que en 4.11c y d, dado que considerando los errores, no parece haber diferencia en la incidencia de infartos antes y después del día final del decremento Forbush, sin embargo, observando sólo la evolución del promedio de infartos, se puede notar algo interesante, ya que siete días después del "0" ocurre un incremento en la incidencia de infartos, lo cual resulta extraño, ya que, en principio, no debía de permanecer este tipo de periodicidad, a no ser que el evento de rayos cósmicos alterara de alguna forma el comienzo del ritmo biológico circaseptano de los seres humanos. Como esto no puede asegurarse debido a las incertidumbre, de nuevo, sólo cabe tomar en cuenta como una posible explicación a una tendencia.

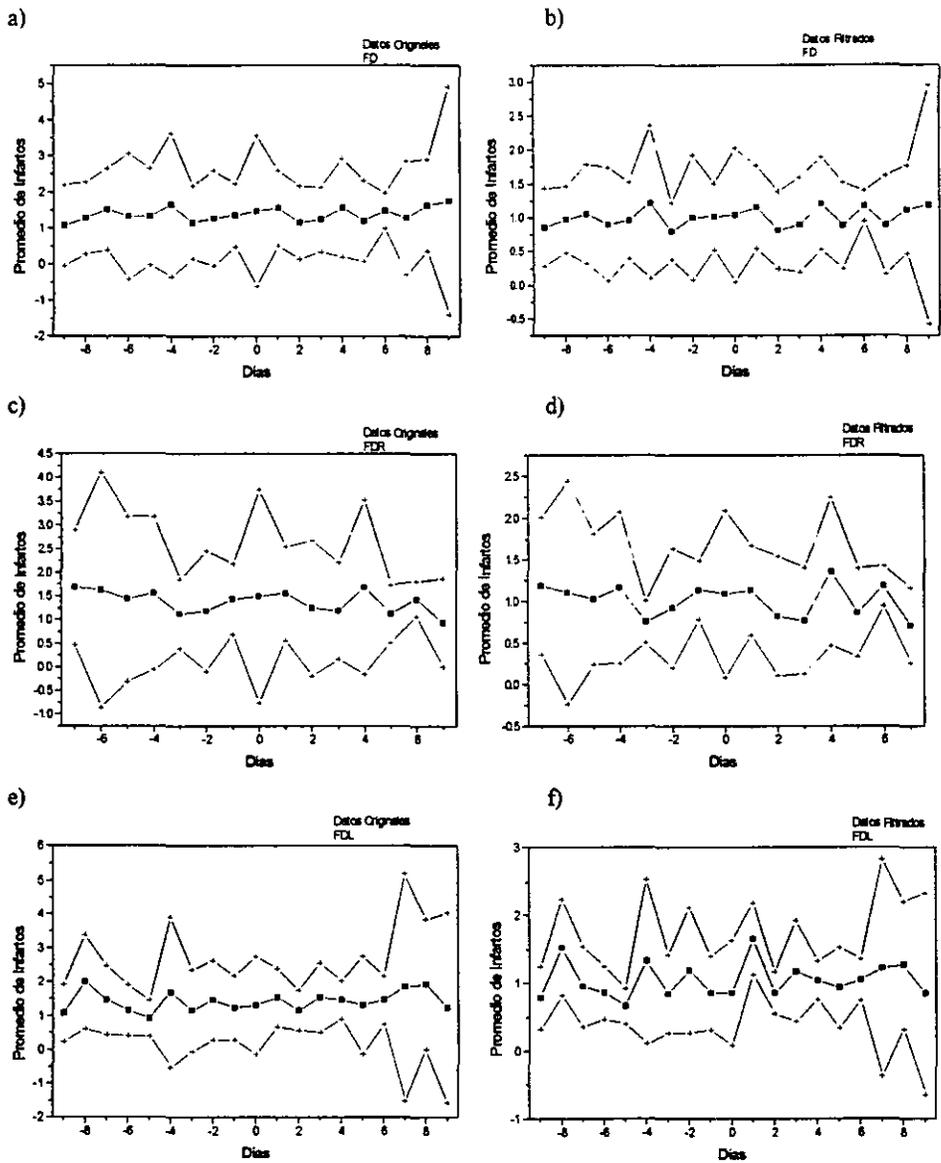


Figura 4.11 Comportamiento de la incidencia de infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas, considerando como día "0" el inicio del decremento Forbush: a) Datos originales y b) Datos filtrados, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush (FD) de carácter lento y súbito; c) Datos originales y d) Datos filtrados, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter súbito (FDr); e) Datos originales y f) Datos filtrados, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter lento (FDI). Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

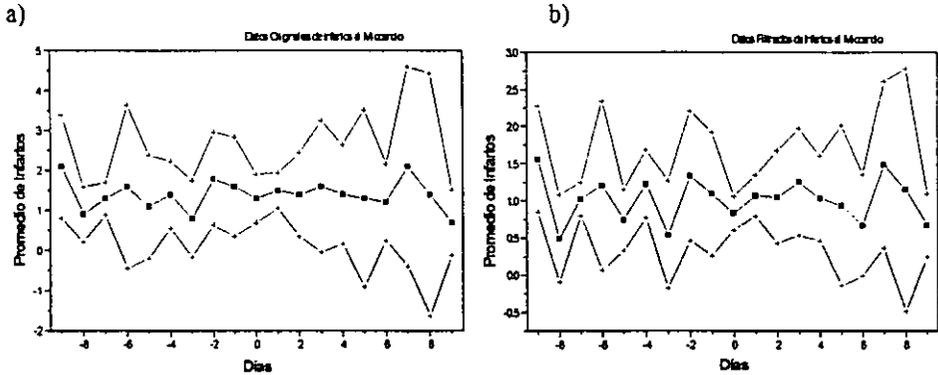


Figura 4.12 Comportamiento de la incidencia de infartos al miocardio: a) Datos originales, b) Datos filtrados, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter lento (FDI), mediante análisis de épocas superpuestas, considerando como día "0" el término del decremento Forbush. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

4.3 Relación entre la actividad de rayos cósmicos y la de tormentas eléctricas

Se propuso en el Capítulo 2 un posible mecanismo de interacción entre los rayos cósmicos y la ocurrencia de infartos por medio de las tormentas eléctricas. En esta sección se presentan los resultados de comparación entre los decrementos Forbush (FD, FDr y FDI) y algunos de los fenómenos atmosféricos de carácter eléctrico que fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional.- Estación Tacubaya en México, D.F. Todos los fenómenos eléctricos que fueron proporcionados se agrupan en las categorías indicadas en la Tabla 4.3. Para cada uno de ellos se tuvo una serie de tiempo que abarcó el periodo completo del 1º. de enero de 1992 al 31 de diciembre de 1996, con registros diarios. Pero debido a la ambigüedad con la que se hacen los registros y por nuestro interés particular, sólo los siguientes fenómenos de los que se presentan en la Tabla 4.3 fueron considerados:

- E: Son las observaciones de los días en que hubo tempestad eléctrica. Este registro no es muy confiable, debido a que son pocos los días los que lo incluyen, dado que la mayoría de los observadores reportan la siguiente clasificación.
- TRE: En esta clasificación se toman en cuenta los registros simultáneos de truenos, relámpagos y tempestad eléctrica.

- **Todos:** Este tipo de fenómeno se analiza para ver el comportamiento global que abarca cualquier clase de fenómeno eléctrico atmosférico registrado. Es decir, es la suma de los días en que se presentaron: T, R, E, TR, RE y TRE.
- **SinR:** Este fenómeno excluye el registro de cuando sólo ocurrieron relámpagos, sin compañía de truenos, lo cual indica que el fenómeno eléctrico que se presentaba en ese entonces estaba muy distante al observatorio.
- **ConE:** Aquí se incluye cualquier registro que tome en cuenta una tempestad eléctrica, que está caracterizada por la ocurrencia constante de relámpagos y truenos, ya sea acompañada o no de lluvia.

Para los anteriores fenómenos, se tomó el promedio de ocurrencia para los días que correspondían a decrementos Forbush (FD, FDr ó FDI) y el del resto de los días, con objeto de compararlos. Las gráficas obtenidas se muestran en las figuras 4.13, 4.14 y 4.15 para FD, FDr y FDI, respectivamente.

Tabla 4.3
Fenómenos eléctricos considerados *

Categoría	Días en que se registran:
T	Sólo truenos
R	Sólo relámpagos
E	Sólo tempestad eléctrica
TR	Ambos fenómenos simultáneamente: truenos y relámpagos
RE	Ambos fenómenos simultáneamente: relámpagos y tempestad eléctrica
TRE	3 fenómenos simultáneamente: truenos, relámpagos y tempestad eléctrica
Todos	Cualquiera de los fenómenos anteriores
SinT	Todos los fenómenos anteriores excepto T
SinR	Todos los fenómenos anteriores excepto R
ConE	Días que incluyan tempestad eléctrica

* Los primeros siete: T, R, E, TR, RE y TRE, fueron extraídos directamente de los registros del Servicio Nacional Meteorológico.- Estación Tacubaya. Mientras que los últimos cuatro: Todos, SinT, SinR y ConE, fueron deducidos a partir de los anteriores.

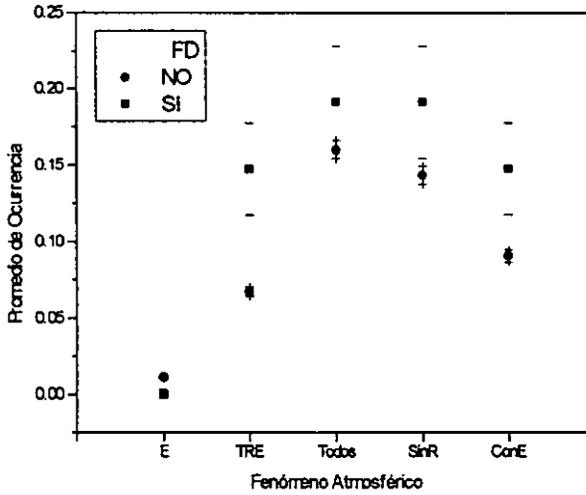


Figura 4.13 Gráfica de comparación entre la ocurrencia de fenómenos atmosféricos de carácter eléctrico en días geomagnéticamente perturbados y quietos, según criterio de selección de la Tabla 4.2 para FD. Los cuadrados indican el promedio de ocurrencia de fenómenos eléctricos en los días donde el criterio es afirmativo y los círculos donde es negativo. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza, indicadas por líneas para los cuadrados y cruces para los círculos.

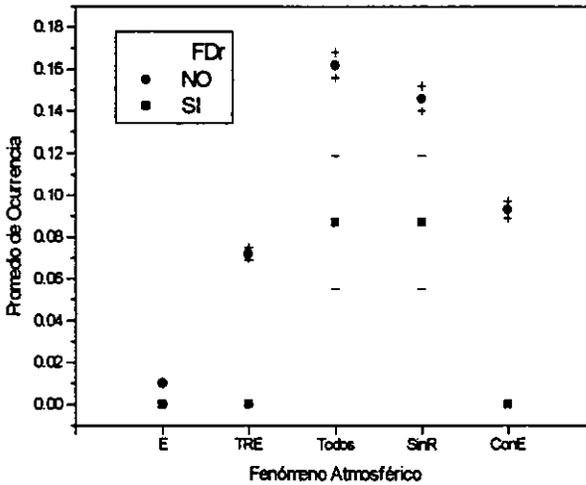


Figura 4.14 Gráfica de comparación entre la ocurrencia de fenómenos atmosféricos de carácter eléctrico en días geomagnéticamente perturbados y quietos, según criterio de selección de la Tabla 4.2 para FDr. Los cuadrados indican el promedio de ocurrencia de fenómenos eléctricos en los días donde el criterio es afirmativo y los círculos donde es negativo. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza, indicadas por líneas para los cuadrados y cruces para los círculos.

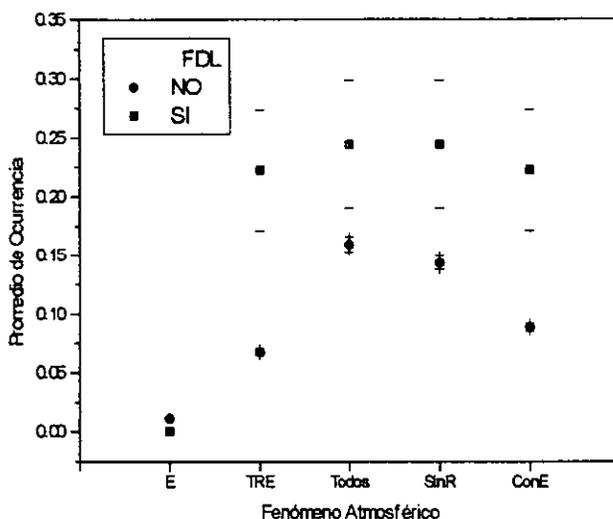


Figura 4.15 Gráfica de comparación entre la ocurrencia de fenómenos atmosféricos de carácter eléctrico en días geomagnéticamente perturbados y quietos, según criterio de selección de la Tabla 4.2 para FDI. Los cuadrados indican el promedio de ocurrencia de fenómenos eléctricos en los días donde el criterio es afirmativo y los círculos donde es negativo. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza, indicadas por líneas para los cuadrados y cruces para los círculos.

De la figura 4.13 se observa que para los días de decrementos Forbush, los fenómenos eléctricos TRE, Todos, SinR y ConE muestran un aumento en relación al promedio de ocurrencia correspondiente a los días en que el criterio es negativo. Para TRE, SinR y ConE, la tendencia se conserva, aún considerando las barras de error, y los factores de incremento son de 2.19, 1.34 y 1.63 respectivamente.

En cambio, para FDr, como se puede ver en la figura 4.14, los comportamientos son contrarios para los fenómenos mencionados.

Para FDI (figura 4.15), la tendencia es más pronunciada que para FD, dado que también los fenómenos eléctricos TRE, Todos, SinR y ConE, tomando en cuenta las incertidumbres, muestran un aumento en relación al promedio de ocurrencia correspondiente a los días en que el criterio es negativo, siendo los factores de incremento de 3.31, 1.53, 1.74, 1.71 y 2.52 respectivamente.

4.3.1 Análisis de épocas superpuestas.

En esta sección se hace un análisis similar al hecho en la sección 4.2.1 sobre el comportamiento de los fenómenos eléctricos alrededor del día inicial de los decrementos Forbush. En este caso, se repite este mismo análisis, pero esta vez para observar el comportamiento de los fenómenos eléctricos y con base en los resultados anteriores se considerarán sólo: TRE, Todos, SinR, ConE. En las figuras 4.16, 4.17, y 4.18 se presentan los resultados obtenidos para FD, FDR y FDI respectivamente.

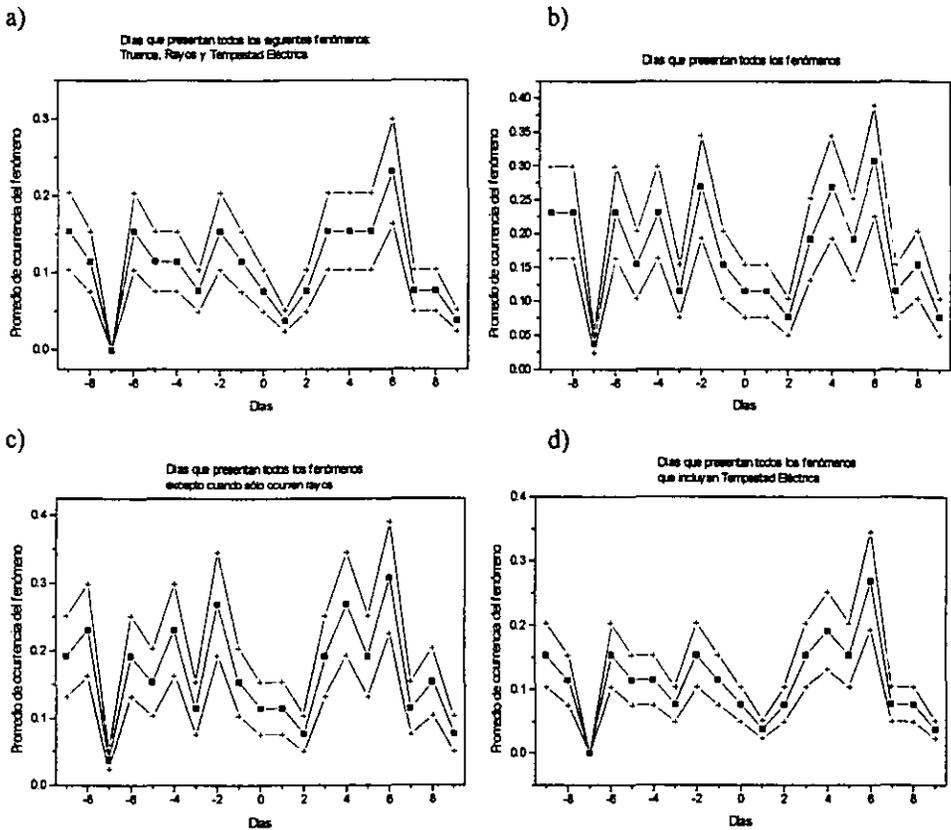


Figura 4.16 Comportamiento de los fenómenos eléctricos: a) TRE, b) Todos, c) SinR y d) ConE, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush (FD) de carácter lento y súbito, mediante análisis de épocas superpuestas, considerando como día "0" el inicio del decremento Forbush. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

Para FD (Ver fig. 4.16), se observa un mínimo relativo en el promedio de ocurrencia de los fenómenos eléctricos, que cae entre los días 0 y 2 para todos los casos; y un máximo relativo días después del inicio del decremento Forbush, siendo los casos más evidentes: TRE (fig. 4.16a) y ConE (fig. 4.16d).

En la figura 4.17, para FDr, sólo se advierte un mínimo relativo en el promedio de ocurrencia de los fenómenos eléctricos, que siempre cae en el día 0. Sólo en el caso de ConE (fig. 4.17d) se observa un ligero incremento en la tasa de ocurrencia, el día 6.

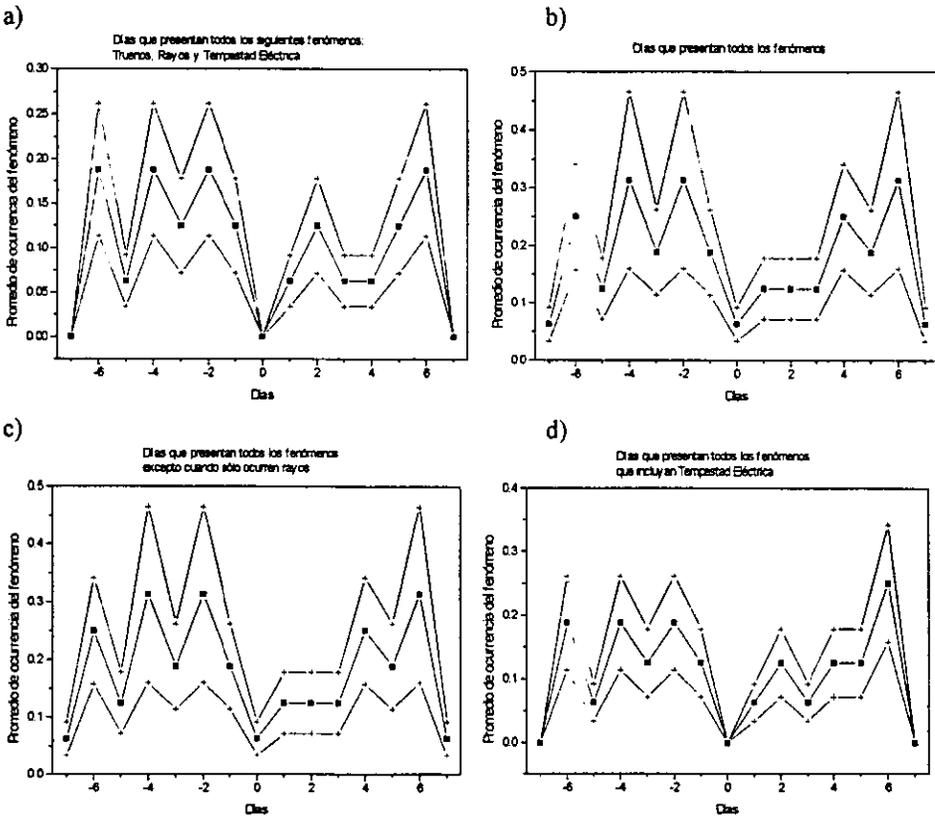


Figura 4.17 Comportamiento de los fenómenos eléctricos: a) TRE, b) Todos, c) SinR y d) ConE, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter súbito (FDr), mediante análisis de épocas superpuestas, considerando como día "0" el inicio del decremento Forbush. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

Por último, para FDI (Ver figura 4.18), se observan mínimos relativos en el promedio de ocurrencia de los fenómenos eléctricos, que aparecen entre los días 0 y 2; y un máximo relativo, más evidente que para FD, aproximadamente tres días después del inicio del decremento Forbush.

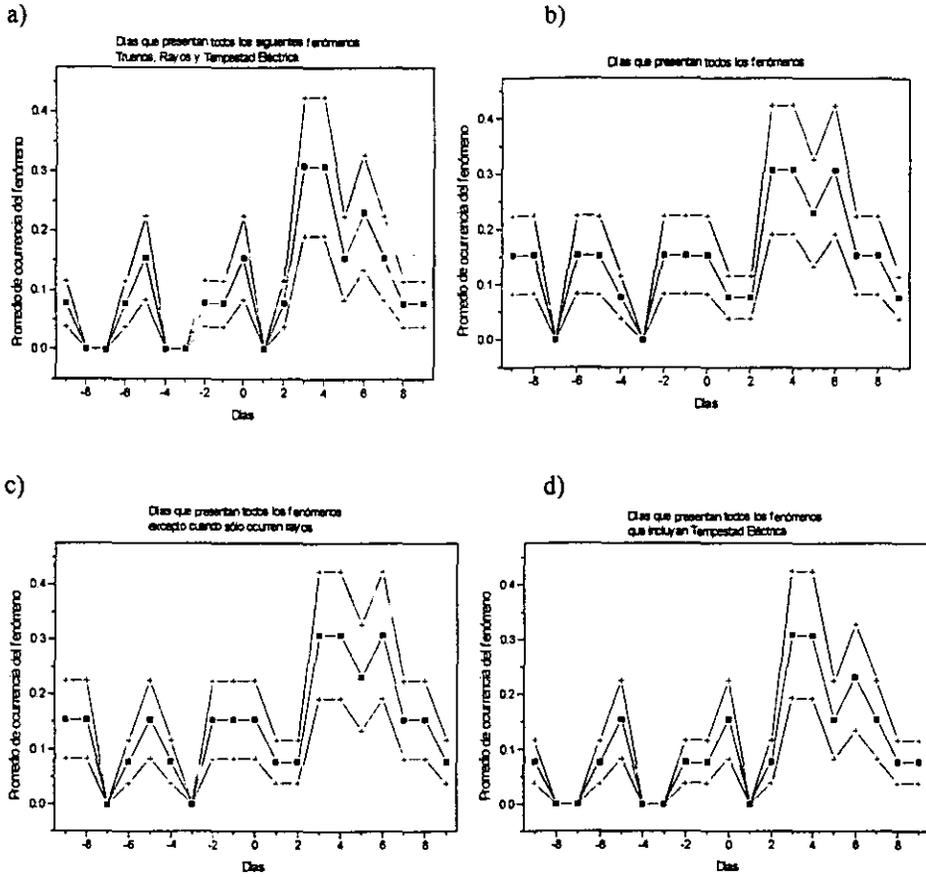


Figura 4.18 Comportamiento de los fenómenos eléctricos: a) TRE, b) Todos, c) SinR y d) ConE, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter lento (FDI), mediante análisis de épocas superpuestas, considerando como día "0" el inicio del decremento Forbush. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

Para profundizar más en este último resultado, se repite el análisis de épocas superpuestas para FDI, considerando esta vez como día "0", al día en que el conteo de neutrones llega al mínimo. Los resultados se muestran en la figura 4.19. En estas gráficas se observa un máximo relativo en el promedio de ocurrencia de los fenómenos eléctricos que para todos los casos siempre se presenta el día -1, es decir, el día anterior al mínimo del conteo de neutrones, o bien, del fin del decremento Forbush.

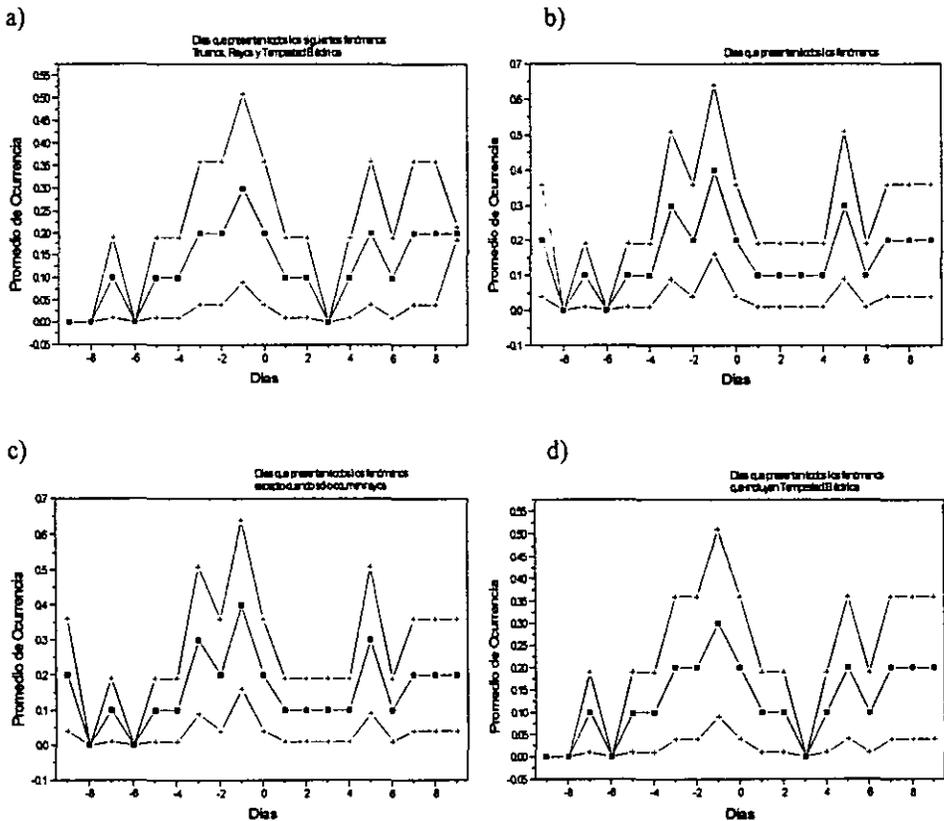


Figura 4.19 Comportamiento de los fenómenos eléctricos: a) TRE, b) Todos, c) SinR y d) ConE, en relación a la ocurrencia de decrementos Forbush de carácter lento (FDI), mediante análisis de épocas superpuestas, considerando como día "0" el término del decremento Forbush. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza.

4.4 Relación entre la ocurrencia de infartos y la actividad de tormentas eléctricas

En esta sección, se estudia la relación entre la incidencia de los infartos y los fenómenos eléctricos: E, TRE, Todos, SinR y ConE (Ver Tabla 4.2 y aclaraciones en el texto de la sección 4.3). En la figura 4.20 se presenta la gráfica resultante, en donde se considera el promedio del número de infartos de la serie filtrada en días en los que ocurrió cada fenómeno y en los que no se presentó.

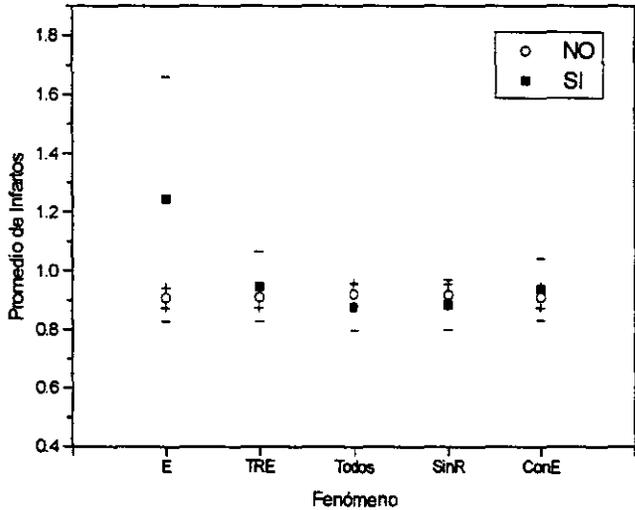


Figura 4.20 Gráfica de comparación entre el Promedio del número de infartos (serie filtrada) en días de ocurrencia de fenómenos atmosféricos de carácter eléctrico y en el resto de los días, según se indica en el eje horizontal de la gráfica. Los cuadrados indican el promedio de infartos en los días donde el criterio es afirmativo y los círculos donde es negativo. Las barras de error corresponden al 95% del nivel de confianza, indicadas por líneas para los cuadrados y cruces para los círculos.

Se puede ver que hay una relación positiva para E, TRE y ConE, pero las incertidumbres son tales que esto vuelve a ser sólo una tendencia, tal vez debido de nuevo al relativamente pequeño número de datos de infartos con el que se contó. Para E, TRE y ConE hay, respectivamente, 1.37, 1.04 y 1.03 más infartos que en los días en que no se presenta el fenómeno.

En la figura 4.21 se presenta el mismo tipo de resultado, pero esta vez para la serie original de infartos al miocardio, es decir, sin filtrar. Se puede observar que el comportamiento es análogo al de la figura 4.20.

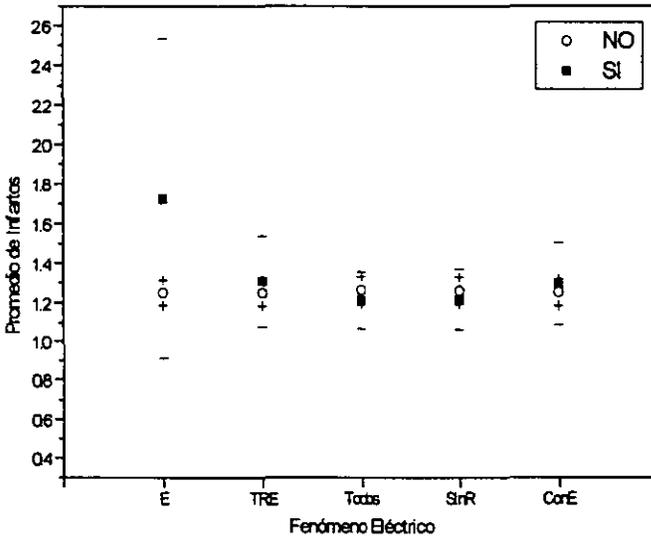


Figura 4.21 Gráfica de comparación entre el promedio del número de infartos (serie original) en días de ocurrencia de fenómenos atmosféricos de carácter eléctrico y en el resto de los días, según se indica en el eje horizontal de la gráfica. Los cuadrados indican el promedio de infartos en los días donde el criterio es afirmativo y los círculos donde es negativo. Las barras de error corresponden.

Capítulo 5

Conclusiones

Los resultados de esta investigación preliminar nos llevan a sugerir que hay cierta relación entre la actividad solar, indicada por los decrementos Forbush en rayos cósmicos, y la incidencia de infartos. Sin embargo, debido a que fue difícil conseguir dichos datos y no se tuvieron todos los que se hubiera deseado, no se pudo llegar a un resultado concluyente en su totalidad. En las siguientes líneas se detallarán cada una de las conclusiones obtenidas.

En los análisis espectrales se destaca la presencia de picos de 202, 14.5, 7 y 3.5 días, siendo estos dos últimos los de mayor prominencia. Al analizar el comportamiento de la serie de infartos y relacionarla con las frecuencias anteriores se observa la predominancia de una periodicidad semanal, aún por estaciones, con una disminución notable en la incidencia de infartos durante los fines de semana. No obstante, al tratar de ver si esto era debido a un relajamiento en la actividad humana por días de descanso, se procedió a compararlo con el promedio de infartos en días de vacaciones, no coincidentes con sábados ni domingos, pero se observa que en estos últimos no hay diferencia apreciable con el promedio observado en el resto de los días de la semana para periodos laborables. Además aparece el pico de 3.5 días, que no puede relacionarse con algún aspecto de tipo social, y que según las referencias mencionadas en el Capítulo 4 (y también las de la sección 1.4.3), parece deberse más que nada a un ritmo biológico endógeno ocasionado por periodicidades ambientales, habiendo razones de peso (Ver referencias de la sección 1.4.3) para considerar que dichas periodicidades pueden deberse a ciclos de actividad solar. De ser esto cierto, quizá también el pico de 14.5 días pudiera relacionarse con un ritmo biológico multiseptano.

Al eliminar las periodicidades de la serie de infartos, se intentó ver su relación con los fenómenos solares de carácter transiente. En la figura 4.9 se observa que para el índice aa no hay diferencia entre el promedio de infartos en días en los que ocurre la perturbación

geomagnética (según criterio de la Tabla 4.2) y en los que no la hay. Mientras que para los decrementos Forbush, sobre todo para el caso de los rápidos o súbitos, cuya clasificación se detalló extensamente en la sección 4.2, la diferencia es apreciable, siendo el factor de incremento en días de decrementos Forbush rápidos de 1.13 veces mayor que en el resto de los días. No obstante, sólo se trata de una tendencia, pues las incertidumbres son demasiado grandes. Al repetir el análisis para los datos sin filtrado, se observa la misma tendencia para los decrementos Forbush, sólo que en este caso, el factor anterior (para FDr) se incrementa a 1.18.

Se mencionó que las grandes incertidumbres pueden deberse al número relativamente pequeño de casos. En este estudio se analizó un periodo de 5 años con un total de 2290 casos. Considerando que el tipo de comportamiento siguiera siendo el mismo, para que el resultado aquí presentado no fuera una tendencia únicamente, se requeriría de un total de poco más de 64,000 casos totales (~28 años al ritmo de los datos proporcionados) para tener una diferencia en FD; o poco menos de 182,000 casos totales (~80 años al ritmo de los datos proporcionados) para tener las diferencias en FD y FDr, o bien poco menos de 835,000 casos totales (~365 años al ritmo de los datos proporcionados) si se quiere seguir observando la tendencia en los tres tipos de decrementos Forbush, incluyendo FDI. Así pues, se puede ver que el número de casos necesarios es bastante grande, no obstante las cifras que se requieren son del orden de las reportadas por Villaresi et al [45, 46] en un estudio similar, por lo que tal vez el problema no sea el periodo de tiempo de observación sino el número de fuentes médicas que puedan facilitar la cantidad suficiente de datos, lo cual es bastante difícil, pues la comunidad de médicos es muy escéptica ante este tipo de cuestiones y no proporciona fácilmente la información que se requiere en estos estudios.

En los artículos de Villaresi et al [45, 46], se llega a la conclusión de que los decrementos Forbush tienen una influencia sobre la incidencia de ciertas patologías, entre las cuales se encuentran los infartos al miocardio, por medio de las perturbaciones que se producen en la magnetósfera, tales como las pulsaciones magnéticas, que están en el intervalo de ultra baja frecuencia, y también son mencionadas en el artículo de Pütsyna et al [41]. En el caso de este estudio se mostró que los decrementos en rayos cósmicos pueden influir en la ionización atmosférica y alterar el ritmo de las tormentas eléctricas, éstas a su vez, producen ondas en el rango de radio frecuencia que inducen, a nivel celular, corrientes mayores que las de las propias células, pudiendo tener influencia sobre la incidencia de infartos al miocardio en organismos deficientes.

En el análisis de épocas superpuestas alrededor del día de inicio del decremento Forbush para FD, FDr y FDI, y alrededor del día de término del decremento Forbush para FDI, para los casos de datos originales y filtrados de infartos al miocardio, no se encuentra diferencia alguna si se incluyen las incertidumbres. Sin embargo, cuando se considera el análisis sin incertidumbres, alrededor del día de término del decremento Forbush para FDI, se nota que hay un aumento en la tasa de infartos 7 días después, sugiriendo que el evento largo de rayos cósmicos pudiera alterar de alguna forma el comienzo del ritmo circaseptano en los seres humanos, pues dicha periodicidad no debiera presentarse en el análisis de épocas superpuestas.

En cuanto al mecanismo que se propone en esta tesis, se pudo ver que hay relación estadística entre la actividad de rayos cósmicos y la de fenómenos eléctricos (sección 4.3) para los siguientes casos considerados: registros simultáneos de truenos, rayos y tempestad eléctrica (TRE); totalidad de fenómenos (Todos); registro que excluye la ocurrencia de rayos, por ser un fenómeno del tipo lejano (SinR); y cualquier registro que tome en cuenta una tempestad eléctrica (ConE). Los cuales aumentan su actividad en días de decrementos Forbush, en comparación al resto de los días. Además se hizo el análisis de épocas superpuestas alrededor del día de inicio del decremento Forbush para FD, FDr y FDI, y alrededor del día de término del decremento Forbush para FDI, en los cuatro casos. Se pudo notar que, para FDI, los fenómenos eléctricos tienden a incrementarse el día anterior al término del decremento Forbush, lo cual sugiere una influencia más pronunciada para el fenómeno de rayos cósmicos de mayor duración.

La relación entre la incidencia de infartos y la actividad de fenómenos eléctricos no es muy clara, observándose una ligera tendencia de aumento en los días en que se presentan los fenómenos de E, TRE y ConE, con respecto al resto de los días.

En este estudio se abre una cantidad enorme de cuestiones que son muy interesantes y que en trabajos previos sobre el tema no se han abordado. Así pues, como perspectivas a futuro, se establecen las siguientes propuestas de investigación:

- Aumentar el número de casos, consiguiendo más fuentes disponibles, ya que se tendría como base, ante la comunidad médica, este trabajo preliminar. Es importante comenzar a enterar a los médicos sobre esta clase de tópicos, para facilitar en un futuro, el acceso a los datos sobre archivos de patologías que puedan proporcionar, y hacer estudios serios con mayor cantidad de variables.

- Incrementar también el periodo a investigar, pues en este estudio se abarcó sólo aproximadamente medio ciclo solar, y se desearía considerar por lo menos un ciclo completo.
- Al aumentar, tanto el número de casos como de años, se puede profundizar en mayor medida la relación entre los infartos al miocardio y la actividad de rayos cósmicos y de fenómenos eléctricos, con objeto de establecer mejor el mecanismo de interacción entre la actividad solar y la incidencia de infartos.
- Abordar, desde el punto de vista de los mecanismos físicos, los efectos de las micropulsaciones y los silbidos.
- Profundizar en el estudio del modelo físico propuesto, analizando con detalle las relaciones entre actividad solar, rayos cósmicos, perturbaciones geomagnéticas y tormentas eléctricas. Además de investigar más sobre el efecto de la radiación electromagnética en otros modelos celulares.
- Hacer análisis similares con otro tipo de patologías, sobre todo las cardíacas, que parecen mostrar mayor sensibilidad a la actividad solar, como se reporta en la literatura.
- Investigar más acerca de los ritmos biológicos circaseptanos y circasemisepitanos, tomando en cuenta otro tipo de patologías y probablemente, grupos poblacionales sin relación con la semana social, o bien, de edad muy corta.

Apéndice A

¿Qué es el infarto al miocardio? [78]

Las paredes musculares de aurículas y ventrículos del corazón comprenden el miocardio o músculo cardíaco. Las fibras cardíacas se presentan como una especie de patrón de estrías y se componen de células musculares interconectadas en sus extremos por discos intercalados. Entre ellas existen espacios por los que circulan capilares y vasos linfáticos. La mayor parte de las células cardíacas o miocitos poseen un sólo núcleo, aunque algunas tienen dos. El latido cardíaco se origina en células del miocardio conocidas como marcapaso, mientras que la frecuencia cardíaca está regulada por el sistema nervioso autónomo.

Cuando el flujo de sangre hacia una parte del miocardio es interrumpido se provocan cambios rápidos y profundos en éste que conducen, a su vez, a cambios irreversibles y a la muerte de células musculares. Este proceso se conoce como infarto al miocardio.

La causa del infarto al miocardio, por lo general, es la obstrucción de cuando menos 75% de la arteria coronaria por un trombo en una región estrecha a causa de placas ateroscleróticas*. Otros acontecimientos que precipitan una trombosis son el espasmo arterial coronario, la agregación transitoria de plaquetas en un vaso gravemente endurecido, o la rotura de una placa aterosclerótica* o una hemorragia de la misma.

Los infartos al miocardio, a menudo se complican con arritmias ventriculares graves, con la amenaza de fibrilación ventricular y muerte.

* Aterosclerosis.- Enfermedad que predispone al infarto al miocardio, trombosis cerebral y otras enfermedades graves. Se caracteriza por la infiltración con colesterol y aparición de células espumosas en ciertas lesiones de las paredes arteriales, que distorsionan los vasos sanguíneos y los vuelven rígidos. Del colesterol corporal, 93% está dentro de las células y sólo 7% en el plasma sanguíneo, pero el incremento de este último es lo que predispone a la aterosclerosis.

Apéndice B

Artículo en prensa (Geofísica Internacional)

A preliminary study of the relationship between solar activity and myocardial infarctions in México City

Blanca Mendoza and Rosa Díaz-Sandoval

Instituto de Geofísica UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, México D.F. México.

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio de la ocurrencia diaria de 2290 infartos al miocardio registrados en la Ciudad de México en el Instituto Nacional de Cardiología de 1992 a 1996. El análisis de todo el periodo 1992-1996 muestra que la periodicidad más prominente en la incidencia de infartos es la de siete días y que hay una tendencia a que aumente dicha incidencia en días de decrementos Forbush por un factor de 1.13, comparado con los días en los cuales no se presenta el fenómeno mencionado

ABSTRACT

Analysis of the daily incidence of 2290 myocardial infarctions in México City registered at the National Institute of Cardiology from 1992-1996 show that the most prominent periodicity in the infarction rate is that of seven days. Also a tendency is noticed for a higher average infarction rate, by a factor of 1.13, in days of Forbush decreases, compared with the average occurrence in those days without Forbush decreases.

KEY WORDS: Geomagnetic phenomena, myocardial infarctions.

INTRODUCTION

In the last few years an increasing number of solid evidences have appeared indicating that solar variability through geomagnetic activity and cosmic rays may affect human health. These studies use a large number of cases (several thousands) and present results of statistical significance that relate some pathologies such as myocardial infarctions and brain strokes, with cosmic ray flux decreases (Forbush decreases), the persistence of a negative southward interplanetary magnetic field component, or the occurrence of large geomagnetic storms (Hallberg et al., 1991; Dorman et al., 1993; Breus et al., 1994; Villoresi et al. (a), (b), 1994; Ptitsyna et al., 1995). In particular, Villoresi et al. (1994 a) analysing data from the Medical Emergency Service of Moscow during the period 1979-1981 (around solar maximum), found that during times of Forbush decreases and geomagnetic index $aa > 60 \gamma$, there was an increase of the infarction and brain stroke rates by a factor of 1.13 and 1.07; and of 1.10 and 1.08 respectively, compared with those days in which no Forbush decreases or $aa > 60 \gamma$ were observed. Furthermore, Villoresi et al. (1994 b) performed a similar study for St. Petersburg during January-December 1981, finding an increase of infarction rate during Forbush decreases of 1.14, in accordance with the results of Moscow.

The potential practical importance of these results stresses the need for further studies. One of the main problems in this area is the identification of the physical mechanism leading to the interaction of solar activity and biota. However, at the same time other aspects should also

be addressed in this context, such as the latitudinal dependence of the suggested effects. Moscow and St. Petersburg are high magnetic latitude cities, on the other hand, Mexico City is a low magnetic latitude city. It is the purpose of the present paper to assess in Mexico City the proposed relationships between Forbush decreases and intense geomagnetic activity (index $aa > 60 \gamma$), and infarction rate.

DATA AND RESULTS

We use the daily number of myocardial infarctions in Mexico City registered at the National Institute of Cardiology from the 1st of January 1992 to the 31st of December 1996. They are 2290 cases. Figure 1a shows the corresponding time series. Figures 1b and 1c show the power spectra obtained by both the Fast Fourier Transform and the Maximum Entropy (MEM) Methods of spectral analysis, we preferred the MEM because it gives a better spectral resolution. In Figure 1c peaks of approximately annual (200 days), bimonthly (14.5 and 14 days), and weekly (7 days and its harmonic 3.5 days) character are clearly seen. The peaks are correlated with meteorological signals which correspond to the natural seasonal variations and to signals that may be attributed either to the social organisation of life (Villoresi et al., 1994 a) or to the multiseptan biological rhythms (Breus et al., 1995). Also day to day fluctuations of non-periodic origin are evident, this fluctuations may be related to solar variability and in order to study them we shall previously clean up the data from the meteorological and social signals.

In Figure 2a appears the seasonal weekly behaviour; although the weekly behaviour is the strongest, summer Fridays seem to be slightly more dangerous times. Figure 2b shows the

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

bimonthly behaviour. If we relate this behaviour with the pay of wedges twice a month, the 15th and the 30th, we find an increase in the infarction rate one week after the payment. When the data are cleaned up from annual and by-monthly behaviour, the superposed epoch analysis in Figure 3a indicates that during weekdays the infarction rate is higher in comparison with weekends by a factor of 1.42. If we attribute this situation to the social organisation of life we may suggest that a more relaxed routine may diminish infarctions. To test further this proposition we also plotted in the Figure the average rate for holiday-days not coincident with Saturdays and Sundays, the result indicates a slightly higher incidence of infarctions during weekdays compared with holiday-days by a factor of 1.05, however the incidence in holiday-days is higher than during weekends.

Finally, the myocardial infarction data cleaned up from annual, bimonthly and weekly effects can be analysed in relation with geomagnetic phenomena. We study two kinds of events that seem to be predominant in this context (Villoresi et al., 1994 a): 1) geomagnetic activity defined through the *aa* index; in particular we choose intense geomagnetically perturbed days as those with $aa > 60 \gamma$, and 2) Forbush decreases (with a decrease of $> 1.5\%$) observed in the Neutron Monitor Station in Mexico City. Within this case we studied: 2a) Forbush with both, a sudden start and a smooth start (FD), and 2b) Forbush with only a sudden start (the decrease from the normal level of cosmic ray flux occurs in less than 24 hrs). We calculated the average value of infarctions for the days characterised by the phenomena mentioned above and also the average number of infarctions over the days excluded by the criterion of selection. Figure 3b shows the average results for the years 1992-1996. We observe that for cases 1 and

2a the effect is small, only for case 2b, i.e., days with Forbush decreases with a sudden start, the infarction occurrence increased by a factor of 1.13, compared with days without Forbush.

Figures 2 and 3 are plotted with uncertainties corresponding to a 95% of confidence level.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The most prominent signals found in the present study are the corresponding to seven days and its harmonic 3.5 days. One approach is to attribute this signal to the social organisation of life: the weekly period of work and rest (Villoresi, et al., 1994 a). However, there is another point of view, Breus et al. (1995) propose that this signals reflect the circaseptan biological rhythms, which are a general characteristic of life because they manifest at the unicellular level as well as in humans living in social isolation for long spans (Halberg et al., 1991). In order to asses the above two approaches more studies are in order.

We found that during days of Forbush decreases with a sudden start, i.e. those Forbush associated with an interplanetary shock wave, there is an increase of myocardial infarctions by a factor of 1.13. Our results for the period 1992-1996 support previous studies carried out by Villoresi et al. (1994a). However, due to the relatively small number of infarction cases the uncertainties are large and the results should be interpreted as a tendency. More cases should be analysed in order to establish firmer conclusion about the effect of solar activity and myocardial infarctions. Also, year by year analysis of our results shall be carried out in a future study.

REFERENCES

BREUS, T. K., S. A. GOLYSHEV, S. I. IVANOVA, A. E. LEVITIN, V. N. ORAEVSKY and V. O. PAPITASHVILI, 1994. Influence of the interplanetary field on human health. *COSPAR COLLI. SERIES 5*, Eds. D. N. BAKER, V. O. PAPITASHVILI and M. J. TEAGUE. Pergamon Press Oxford, 581.

BREUS, T. K., G. CORNELISSEN, F. HALBERG and A. E. LEVITIN, 1995. Temporal associations of life with solar and geophysical activity. *Ann. Geophys.*, 13, 1211-1222.

DORMAN, L. I., N. IUCCI and G. VILLORESI, 1993. The use of cosmic rays for continuous monitoring and prediction of some dangerous phenomena for the Earth's civilization. *Astrophys. and Space Sci.*, 208, 55-68.

HALBERG, F., T. K. BREUS, G. CORNELISSEN, C. BINGHAM, D. C. HILLMAN, J. RIGATUSO, P. DELMORE and E. BAKKEN, 1991. Cronobiology in space. Univ. of Minnessota/Medtronic Chronobiology Seminar Series 1.

PTITSYNA, N. G., G. VILLORESI, M. I. TYASTO, N. IUCCI and L. I. DORMAN, 1995. Possible effect of geomagnetic disturbances on the incidence of traffic accidents (St. Petersburg 1987-1989). *Physica Medica XI*, 38.

VILLORESI, G., T. K. BREUS, N. IUCCI, L. I. DORMAN and S. I. RAPAPORT, 1994a. The influence of geophysical and social effects on the incidence of clinically important pathologies (Moscow 1979-1981). *Physica Medica X*, 79-91.

VILLORESI, G., Y. A. KOPYTENKO, N. G. PTITSYNA, M. I. TYASTO, E. A. KOPYTENKO, N. IUCCI and P. M. VORONOV, 1994b. The influence of geomagnetic storms and man-made magnetic field disturbances on the incidence of myocardial infarctions in St. Petersburg (Russia). *Physica Medica X*, 107-117.

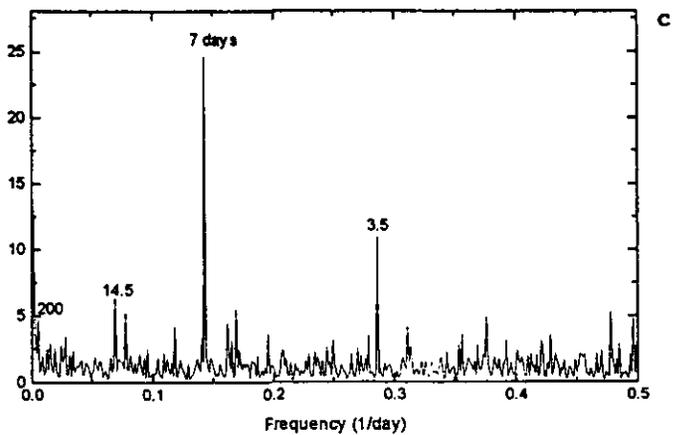
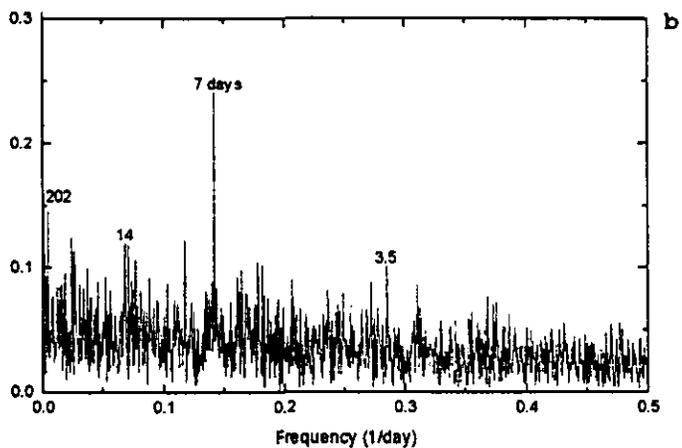
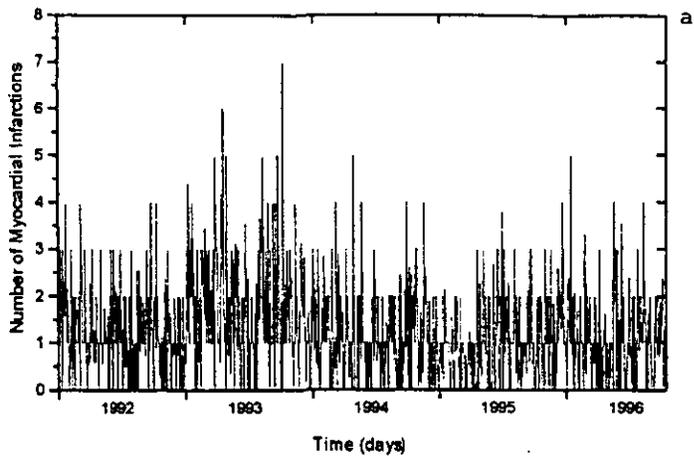
Acknowledgements. We thank Dr. Gustavo Sánchez Torres for providing us with the myocardial infarction data, and DGAPA grant IN115998.

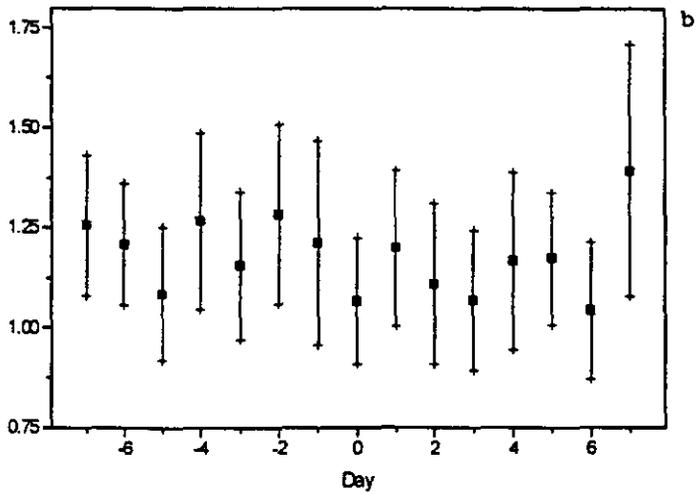
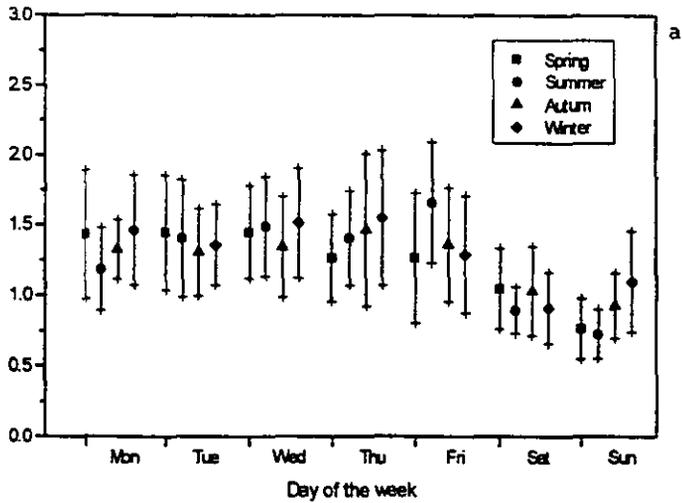
FIGURE CAPTIONS

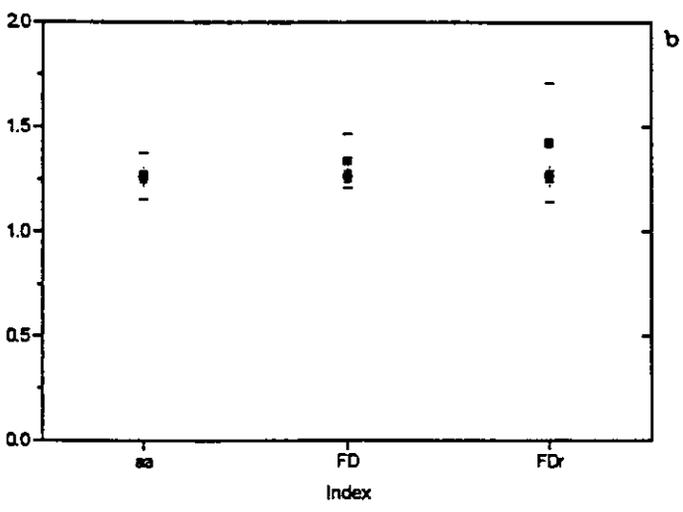
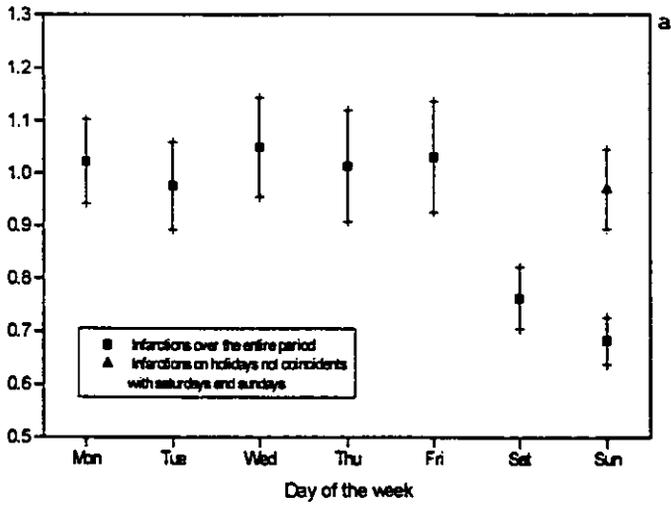
Figure 1a) Number of daily myocardial infarctions registered in Mexico City at the National Institute of Cardiology. The period goes from the 1st of January 1992 to the 31st of December 1996. 1b) Power spectral analysis of the data using the Fast Fourier Transform Method. 1c) Power spectral analysis of the data using the Maximum Entropy Method.

Figure 2a) Seasonal weekly behaviour of the average number of myocardial infarctions. 2b) Bimonthly behaviour of the average number of myocardial infarctions. The day "0" corresponds to the 15th and the 30th of every month. The vertical lines in both figures indicate a 95% level of confidence.

Figure 3a) Weekly behaviour of the average number of myocardial infarctions. The vertical lines indicate a 95% level of confidence. 3b) Average number of myocardial infarctions. The squares correspond to days with Forbush decreases (FD and FDR) or $aa > 60 \gamma$, the circles correspond to days without the geomagnetic phenomena. The horizontal marks indicate a 95% level of confidence.







BIBLIOGRAFIA

- [1] E. W. Cliver, *Eos* 75, 49 (1994)
- [2] R. W. Noyes, *The sun, our star*, Harvard University Press, USA 1982, 263 pp.
- [3] S. I. Akasofu, *Eos* 73, 19 (1992)
- [4] J. A. Joselyn, *Eos* 73, 7 (1992)
- [5] J. Lean, D. Rind, *Eos* 75, 1 (1994)
- [6] R. C. Beason, J. E. Nichols, *Nature* 309, 151 (1984)
- [7] J. L. Kirschvink, *J. Exp. Biol* 92, 333 (1981)
- [8] T. F. Tascione, *Introduction to the space environment*, Krieger Publishing Company, Florida, USA 1994.
- [9] J. T. Nolte, A. S. Krieger, A. F. Timothy, R. E. Gold, E. C. Roelof, G. Vaiana, A. J. Lazarus, J. D. Sullivan, P. S. McIntosh, *Solar Physics* 46, 303 (1976)
- [10] J. K. Hargreaves, *The upper atmosphere and solar-terrestrial relations*, Van Nostrand Reinhold Company, USA 1979.
- [11] N. U. Crooker, G. L. Siscoe, *Physics of the sun Vol. 3 (Chapter 21)*, edited by P. A. Sturrock et al, D. Reidel Publishing Company, Holanda 1986.
- [12] A. D. Richmond, *Eos* 77, 11 (1996)
- [13] M. Saunders, *Advances in solar system magnetohydrodynamics (Chapter 16)*, edited by E. R. Priest, Cambridge University Press, Gran Bretaña 1991.
- [14] S. W. H. Cowley, *Eos* 6, 51 (1995)

- [15] D. J. Knecht, B. M. Shuman, *Handbook of Geophysics and the Space environment, Chapter 4: The geomagnetic field*, Ed. A. S. Jursa, USA 1985.
- [16] J. P. Legrand and P. A. Simon, *Astron. Astrophys* **152**, 199 (1985)
- [17] J. P. Legrand and P. A. Simon, *Astron. Astrophys* **155**, 227 (1986)
- [18] J. P. Legrand and P. A. Simon, *Astron. Astrophys* **182**, 329 (1987)
- [19] T. K. Breus, G. Cornélissen, F. Halberg, A. E. Levitin, *Ann. Geophysicae* **13**, 1211 (1995)
- [20] D. V. Hoyt, K. H. Schatten, *The role of the sun in climate change*, Oxford University Press, New York, USA 1997.
- [21] T. L. Gulyaeva, *Scostep* **2** [4], 11 (1996)
- [22] M. N. Gnevyshev, K. F. Novikova, *J. Interdiscipl. Cycle Res.* **3**, 99 (1972)
- [23] B. J. Lipa, P. A. Sturrock, E. Rogot, *Nature* **259**, 302 (1976)
- [24] E. G. Knox, E. Armstrong, R. Lancashire, M. Wall, R. Haynes, *Nature* **281**, 564 (1979)
- [25] S. R. Malin, B. J. Srivastava, *Nature* **277**, 646 (1979)
- [26] W. R. Bennet, *Physics Today*, April 23 (1994)
- [27] C. F. Blackman, S. G. Benane, D. E. House, M. M. Pollack, *Bioelectromagnetics* **14**, 273 (1993)
- [28] N. G. Morgan, *Cell Signaling*, Guilford Press, USA 1989
- [29] R. P. Liburdy, *Radio Science* **30** [1], 179 (1995)
- [30] J. Walleczek, R. P. Liburdy, *FEBS Lett.* **271**, 157 (1990)

- [31] M. A. Stuchly, J. R. N. McLean, R. Burnett, M. Goddard, D. W. Lecuyer, R. E. J. Mitchel, *Cancer Lett.* **65**, 1 (1992)
- [32] R. P. Liburdy, D. E. Callahan, J. D. Harland, *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*, edited by M. Blank, San Francisco Press, USA 1993.
- [33] C. V. Byus, S. E. Pieper, W. R. Adey, *Carcinogenesis* **8**, 1385 (1987)
- [34] T. A. Litovitz, D. Krauss, J. M. Mullins, *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **178**, 862 (1991)
- [35] C. D. Cain, D. L. Thomas, W. R. Adey, *Carcinogenesis* **14**, 955 (1993)
- [36] R. P. Liburdy, T. R. Sloma, R. Sokolic, P. Yaswen, *J. Pineal Res.* **14**, 89 (1993)
- [37] R. K. Adair, *Phys. Rev. A* **43** [2], 1039 (1991)
- [38] G. Tubes, *Science* **277**, 29 (1997)
- [39] E. D. Mantiplly, K. R. Pohl, S. W. Poppell, J. A. Murphy, *Bioelectromagnetics* **18**, 563 (1997)
- [40] C. K. Chou, H. Bassen, J. Osepchuk, Q. Balzano, R. Petersen, M. Meltz, R. Cleveland, J. C. Lin, L. Heynick, *Bioelectromagnetics* **17**, 195 (1996)
- [41] N. G. Ptitsyna, G. Villoresi, Y. A. Kopytenko, V. A. Kudrin, M. I. Tyasto, E. A. Kopytenko, N. Lucci, P. M. Voronov, D. B. Zaitsev, *Bioelectromagnetics* **17**, 436 (1996)
- [42] Y. Lu, J. Yu, Y. Ren, *Bioelectromagnetics* **15**, 589 (1994)
- [43] H. Friedman, R. O. Becker, C. H. Bachman, *Nature* **200**, 626 (1963)
- [44] H. Friedman, R. O. Becker, C. H. Bachman, *Nature* **205**, 1050 (1965)

- [45] G. Villoresi, T. K. Breus, N. Iucci, L. I. Dorman and S. I. Rapoport, *Physica Medica* **10** [3], 79 (1994)
- [46] G. Villoresi, Y. A. Kopytenko, N. G. Ptitsyna, M. I. Tyasto, E. A. Kopytenko, N. Iucci, P. M. Voronov, *Physica Medica* **10** [4], 107 (1994)
- [47] F. Halberg, T. K. Breus, G. Cornélissen, C. Bingham, D. C. Hillman, J. Rigatuso, P. Delmore, E. Bakken, *Cronobiology in space*, University of Minnesota, Medtronic Chronobiology Seminar Series 1 (1991)
- [48] F. Halberg, *J. Lancet* **73**, 20 (1953)
- [49] G. Cornélissen, F. Halberg, *Introduction to Chronobiology*, Medtronic Chronobiology Seminar 7 (1994)
- [50] F. M. Brown, *Chronobiol. Int.* **5**, 195 (1988)
- [51] G. Cornélissen, H. Broda, F. Halberg, *Cell Biophys.* **8**, 69 (1986)
- [52] D. K. Hayes, F. Halberg, G. Cornélissen, K. Shankaraiah, *Ann. Entomol. Soc. Am.* **79**, 317 (1986)
- [53] G. Cornélissen, F. Halberg, B. Tarquini, G. Mainardi, C. Panero, A. Cariddi, V. Sorice, M. Cagnoni, *Proc. III Int. Sympos. Social Diseases and Chronobiology*, Florence (1986)
- [54] Y. Watanabe, D. C. Hillman, K. Otsuka, C. Bingham, T. K. Breus, G. Cornélissen, F. Halberg, *Chronobiologia* **21**, 265 (1994)
- [55] A. De Vecchi, F. Halberg, R. B. Sothorn, A. Cantaluppi, C. Ponticelli, *Chronopharmacology and Chronotherapeutics*, Edited by C. A. Walker et al, Florida A & M University Foundation, USA 1981.
- [56] B. Kaada, E. Siversten, *Scand. J. Soc. Med.* **18**, 17 (1990)

- [57] P. Wrbsky, M. Mills, G. Cornélissen, D. Johnson, F. Halberg, *Chronobiologia* **20**, 135 (1993)
- [58] J. R. Reitz, F. J. Milford, *Fundamentos de la Teoría Electromagnética*, Edit. UTEHA, México 1981.
- [59] F. Salamanca, *Citogenética humana*, Edit. Médica Panamericana, México 1993.
- [60] R. Berne, M. Levy, *Fisiología*, Edit. Mosby Year Book, España 1990.
- [61] H. P. Schwan, S. Takashima, *Encyclopedia of Applied Physics Vol. 5: Electrical conduction and dielectrical behavior in biological systems*, Edited by G. L. Trigg, USA 1991.
- [62] J. K. Hargreaves, *The solar-terrestrial environment*, Cambridge University Press., USA 1992.
- [63] G. Wibberenz, H. V. Cane, I. G. Richardson in *Proceedings of 25th Cosmic Ray Conference Vol. 1* (1977)
- [64] M. A. Uman, *The Lightning Discharge*, International Geophysics Series Vol. 39, Academic Press Inc., 1987.
- [65] M. R. Spiegel, *Estadística*, McGraw-Hill, México 1970.
- [66] E. Kreyszig, *Matemáticas avanzadas para ingeniería Vol. 2*, Edit. Limusa, México 1991.
- [67] J. Bendat, A. Piersol, *Random data: Analysis and measurement procedures*, Wiley-Interscience, USA 1971.
- [68] W. H. Press, *Numerical Recipes in C: The art of scientific computing*, Cambridge Press, USA 1992.
- [69] J. P. Burg, *Maximum entropy spectral analysis*, Presentado en 37th Annual Int. SEG Meeting, Oklahoma, Oct. 31, 1967, Preprint. Texas Instruments, Dallas.

- [70] C. E. Shannon, *Bell System Tech. J.* **27**, 379 (1948)
- [71] L. Brillouin, *Science and information theory*, Academic Press, USA 1956.
- [72] E. T. Jaynes, *Physics Review* **106**, 620 (1957)
- [73] N. Andersen, *Geophys.* **39**, 69 (1974)
- [74] E. K. Kanasewich, *Time sequence analysis in Geophysics*, University of Alberta, Canadá 1981.
- [75] Help PV-Wave CL Versión 6.10, Visual Numerics Inc. 1997.
- [76] Geomagnetic Indices Bulletin, National Geophysical Data Center Solar-Terrestrial Physics Division. Boulder, Colorado, USA (January, 1992 to December, 1996)
- [77] A. Hurtado et al, Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, Depto. de Física Espacial, Instituto de Geofísica, U.N.A.M., México (1992, 1993, 1994, 1995, 1996)
- [78] W. F. Ganong, *Fisiología Médica*, Edit. El Manual Moderno, México 1990.