



03995
4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

INSTITUTO DE GEOFISICA
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

INFLUENCIA DE LAS VARIACIONES HELIOGEOFISICAS EN
LA INCIDENCIA DE MUERTES POR INFARTO AL MIOCARDIO
EN MEXICO

... a la Dirección General de Bibliotecas
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso
el contenido de mi trabajo receptor
NOMBRE: Rosa Erendira
Díaz Sandoval
FECHA: 11-Abril-2003
LUGAR: [scribble]

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN CIENCIAS
(FISICA ESPACIAL)
P R E S E N T A :
ROSA ERENDIRA DIAZ SANDOVAL



2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACIÓN DISCONTINUA

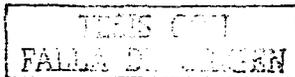
**TESIS
CON
FALLA DE
ORIGEN**

*¿Qué hay más allá del brumoso horizonte de
nuestro entendimiento? Quizá sólo las
divagaciones de nuestra imaginación...*

*A Dios,
por el mundo de la forma y de la idea,
y por todo lo demás...
Gracias.*

*A mi esposo, quien comparte mi locura:
Julio Enrique González Gallego
con todo mi amor y mi admiración*

*A mis padres:
Dra. Rosa Eréndira Sandoval Vega
Ing. Ernesto Díaz Becerril
Y a mis hermanos:
Norma y Ernesto
con todo mi cariño.*



Agradecimientos

A la Dra. Blanca Mendoza Ortega por su constante asesoría en la realización de toda esta investigación y la cuidadosa revisión del presente trabajo, así como por el apoyo que me brindó durante todos estos años de estudio.

A mis sinodales: Dr. Ramón Rodríguez Taboada, Dr. Salvador Sánchez de la Peña, Dra. Dolores Maravilla, Dra. Amparo Martínez, Dr. Alvaro Osornio y Dr. William Bandy, por las correcciones realizadas a esta tesis doctoral, así como por todos sus valiosos comentarios y sugerencias para la finalización y mejor resultado de la misma.

A los Dres. Pablo Kuri, Luis Anaya y Carlos Alvarez, de la Dirección de Epidemiología, Secretaría de Salubridad y Asistencia, por proporcionarme las bases de datos médicos, analizadas a lo largo del presente trabajo de investigación. En particular, agradezco al Dr. Anaya sus comentarios y asesoría en varias de las interpretaciones médicas de los datos, así como a Sandra y a la Dra. Lorena.

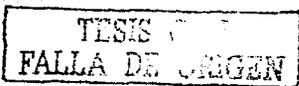
Al Dr. José Fco. Valdés Galicia, al Ing. Octavio Musalem y al Sr. Alejandro Hurtado por proporcionarme los datos de rayos cósmicos y ayudarme en la interpretación y análisis de los mismos.

Al Dr. Salvador Sánchez de la Peña, por toda la asesoría recibida, en la parte de cronobiología. A la Dra. Dolores Maravilla y al Dr. Rogelio Caballero por la asesoría y ayuda que me proporcionaron en la parte de métodos espectrales de análisis estadístico y al Fís. Alberto Hernández en algunos problemas de cómputo. Al Ing. Pablo Sierra y al Dr. Ramón Rodríguez, cuyos comentarios me han servido para aumentar mi panorama en el área de las Relaciones Sol-Tierra.

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

A mis padres, a mis hermanos, a mis compañeros y amigos.

A Julio, por esos días de desvelos analizando datos, por las excursiones a los hospitales, en fin, por todo el apoyo y amor que me ha brindado. Con todo mi amor...

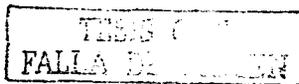


Resumen

En esta tesis se estudia la relación entre la actividad solar (medida a través de los decrementos Forbush en rayos cósmicos y el índice de actividad geomagnética Ap) y las muertes por infarto al miocardio en México. Al principio de la tesis, se revisan los aspectos generales de las relaciones Sol-Tierra como las características generales del Sol, la actividad solar, el medio interplanetario, los rayos cósmicos, el campo geomagnético, la magnetósfera, la atmósfera y la actividad eléctrica atmosférica. La discusión se orienta a las relaciones entre el Sol y la biota terrestre, en particular, la salud humana, dando a conocer los trabajos antecedentes a la presente investigación y que apoyan la hipótesis de la relación Sol-Salud Humana.

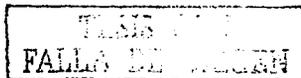
Se presenta un posible mecanismo de interacción entre el Sol y la salud humana mediante la radiación producida por tormentas eléctricas en la atmósfera, que considera el hecho de que la actividad solar se relaciona con los rayos cósmicos y que éstos, a su vez, se han relacionado con la actividad de tormentas eléctricas. Así pues, se estudia si la radiación electromagnética puede afectar a las células del cuerpo humano en el intervalo de 10^0 a 10^5 Hz. De este análisis, se concluye que la radiación de las tormentas eléctricas puede afectar a las células de gran tamaño (10^{-4} m) cuya geometría sea aproximadamente cúbica, esférica y cilíndrica, además de que puede afectar a las de tamaño promedio (10^{-5} m) cuando la geometría celular es cilíndrica con orientación del eje paralela a la dirección de la onda (y en el caso en que la longitud es 10 o más veces el diámetro de la cara circular). Para la geometría de prisma cuadrangular y para el resto de los fenómenos, no se encuentra alteración posible en las células, bajo los supuestos del modelo.

Utilizando los métodos de análisis temporal (superposición de épocas) y análisis espectral (Transformada Rápida de Fourier y Método de Máxima Entropía) se estudia la relación entre dos fenómenos heliofísicos (decrementos Forbush en rayos cósmicos e



índice geomagnético Ap) y las muertes por infarto al miocardio. Como resultados más destacados, se observa lo siguiente: Para la mayoría de las series estudiadas (muertes diarias por infarto al miocardio y grupos de división por sexo y edad), existe una periodicidad anual bastante pronunciada, y en cuanto a las frecuencias altas, destaca una periodicidad de 7 días. Estudiando dicha periodicidad en diferentes fases de actividad solar, se observa que, para la mayoría de las series, el pico de 7 días aparece durante épocas cercanas al máximo solar y desaparece durante el mínimo de actividad solar. Analizando el comportamiento de las muertes alrededor de los días en que tuvo lugar el fenómeno heliogeofísico de interés, se encontró que el fenómeno heliogeofísico que parece tener más repercusión sobre el comportamiento en las muertes por infarto al miocardio, es $Ap > 49\gamma$ para todo el periodo estudiado, y que para el periodo cercano al máximo de actividad solar (1998-1999), $Ap \geq 100\gamma$ es el más frecuente, seguido por $Ap > 20\gamma$. Además, cuando se observan los resultados por sexo y edad, se tiene que el sexo más afectado es el masculino, ya que se incrementa por factores hasta del doble en respuesta al fenómeno heliogeofísico. El mayor factor de incremento es de 2.24 (el día de $Ap \geq 100\gamma$ en épocas cercanas al máximo solar) con respecto al promedio de muertes en el resto de los días. Con respecto a la edad, el grupo más afectado por los fenómenos heliogeofísicos son las personas mayores de 45 años, siendo el mayor factor de incremento, el de 2.45 para el grupo de edad de ≥ 65 años (con relación a $Ap \geq 100\gamma$, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta el mismo día de ocurrencia del fenómeno)

Haciendo un análisis de comparación del comportamiento de muertes por infarto al miocardio en el día en el que se observó un incremento (o decremento, en algunos casos) debido a alguno de los fenómenos heliogeofísicos con respecto al resto de las muertes registradas en México por cualquier otra causa, se encontró que los fenómenos heliogeofísicos parecen ser un factor de riesgo para la patología estudiada.

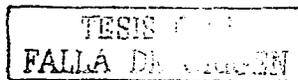


Abstract

In this thesis the relationship between the solar activity and the myocardial infarction deaths in Mexico is studied using Forbush decreases in cosmic rays and the Ap geomagnetic index as proxies. First we review the general antecedents of Sun-Earth relationships such as general characteristics of Sun, solar activity, interplanetary medium, cosmic rays, geomagnetic field, magnetosphere, Earth's atmosphere and electrical activity. Also a review of the relationship between the Sun and biota is presented, in particular, the relation between Sun and human health, discussing some previous investigations about this topic.

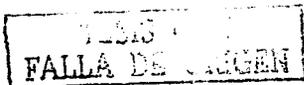
A possible physical mechanism of interaction between Sun and human health is proposed. This mechanism involves the radiation by electrical thunderstorms and the facts that solar activity, cosmic rays and thunderstorms are related. In particular, the possible damage of cells by electromagnetic radiation in $10^0 - 10^5$ Hz interval is considered. After this analysis, we conclude that the electromagnetic radiation produced by thunderstorms can affect large human cells (10^{-4} m) with cubical, spherical and cylindrical geometries. This radiation can also affect a typical cell (10^{-5} m) with cylindrical geometry and axe orientation parallel to the direction of propagation of the wave (the length of the cylinder is 10 times the diameter of circular the face). For a cell with quadrangular prism geometry and for electromagnetic radiation of other natural phenomena, we did not find any damage in human cells.

We perform an extended analysis of myocardial infarction deaths (MID) by applying the superposition epochs analysis (in the time-space) and the Fast Fourier Transform and Maximum Entropy Method (in the frequency-space). We studied the relationship between two heliogeophysical phenomena (Forbush decreases and geomagnetic index Ap) and MID in Mexico. The following results are the most important



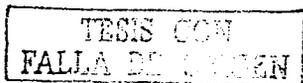
of the analysis: For almost all the series (daily myocardial infarction deaths and groups divided by sex and by age), we find a pronounced annual periodicity at low frequencies, and, at high frequencies, a 7-days peak is prominent. We study this periodicity in all the period (1996-1999) and consider also the phases of the solar cycle (close to maximum: 1997-1998, and the minimum of solar activity: 1996). We observe that this peak is present in the near maximum and disappears in the minimum of solar activity. On the other hand, we analyzed the behavior of MID around the day of a heliogeophysical phenomena (day of Forbush decrease and of $\Delta p > 20\gamma$, $\Delta p > 49\gamma$ or $\Delta p \geq 100\gamma$). We find that $\Delta p > 49\gamma$ is the heliogeophysical phenomena with a major repercussion for MID, followed by $\Delta p > 20\gamma$. We analyzed these results by sex and age, finding that the male sex is more affected than the female, with increments of the double of the deaths related with the heliogeophysical phenomena. The maximum increase factor is 2.24 (the same day of $\Delta p \geq 100\gamma$ in the near maximum) with respect to the death average for the other days. In relation with age, the group more affected by heliogeophysical phenomena, are the persons with 45 years or more. The maximum increase factor is 2.45 for the age group of ≥ 65 years (the same day of $\Delta p \geq 100\gamma$, in the near maximum).

Finally we perform a comparison analysis between the behavior of the MID in the day of a notable change (increment, of decrement in a few cases) related with heliogeophysical phenomena and the deaths for any other cause in Mexico. After that, we find that heliogeophysical phenomena could be a risk factor for MID.

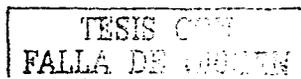


Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Relaciones Sol-Salud Humana	
1.1 Relaciones Solares-Terrestres.....	7
1.2 El Sol y el medio interplanetario.....	9
1.2.1 El Sol y su actividad	
1.3 Los rayos cósmicos.....	15
1.3.1 Radiación primaria y secundaria	
1.3.2 Modulaciones de la radiación cósmica	
1.3.3 Decrementos Forbush	
1.4 Campo geomagnético y magnetósfera.....	20
1.4.1 Perturbaciones geomagnéticas	
1.5 Actividad eléctrica en la atmósfera.....	29
1.5.1 Tormentas eléctricas	
1.5.2 Relación entre la actividad solar y los fenómenos eléctricos atmosféricos	
1.6 Ritmos biológicos y actividad solar.....	36
1.7 Salud humana y actividad solar.....	39
1.8 Resumen del capítulo.....	42
Capítulo 2. Influencia de la radiación electromagnética de fenómenos naturales sobre células de diferentes geometrías y tamaños	
2.1 Geometrías y tamaños celulares en el ser humano.....	45
2.2 Modelo celular.....	53
2.3 Diferentes geometrías celulares: Desarrollo matemático.....	55
2.3.1 Célula cúbica	
2.3.2 Célula tipo prisma cuadrangular	
2.3.3 Célula esférica	
2.3.4 Célula cilíndrica	
2.4 Diferentes geometrías celulares: Gráficas.....	66
2.4.1 Célula cúbica	
2.4.2 Célula tipo prisma cuadrangular	
2.4.3 Célula esférica	



2.4.4 Célula cilíndrica	
2.5 Relación entre tormentas eléctricas e infartos al miocardio.....	73
2.6 Resumen del capítulo.....	74
Capítulo 3. Metodología de análisis	
3.1 Organización de las bases de datos.....	80
3.2 Estudio de series de tiempo.....	81
3.2.1 Superposición de épocas	
3.2.2 Análisis espectral	
3.2.3 Prueba T de Student	
3.3 Resumen del capítulo.....	87
Capítulo 4. Resultados y discusión	
4.1 Muertes por infarto al miocardio en México.....	88
4.1.1 Series de tiempo, división por sexo y edad	
4.2 Análisis espectral.....	94
4.2.1 Periodicidades y fases del ciclo solar	
4.2.2 Análisis de épocas superpuestas	
4.3 Relación entre muertes por infarto al miocardio y variaciones heliogeofísicas.....	106
4.3.1 Relación entre muertes por infarto al miocardio y decrementos Forbush	
4.3.2 Relación entre muertes por infarto al miocardio y el nivel de perturbación geomagnética	
4.3.3 Análisis de resultados por nivel de confianza, sexo y edad	
4.4 Relación entre muertes por infarto al miocardio y el resto de las muertes por cualquier otra causa, bajo el criterio de los fenómenos heliogeofísicos.....	123
4.5 Resumen del capítulo.....	128
Conclusiones	131
Apéndice A. Clasificación de los ritmos biológicos	135
Apéndice B. Filtración digital de series de tiempo	136
Apéndice C. Isquemias cardíacas	139
Apéndice D. Clasificación de Decrementos Forbush	145
Apéndice E. Índice geomagnético Ap	147



Apéndice F. Muertes en México..... 148

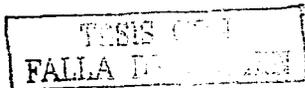
Referencias..... 150

TESIS CON
FALLA DE CUBRER

Introducción

Más allá de la atmósfera terrestre no hay un espacio vacío, frío e inerte, como pudiera llegar a pensarse. En realidad, la Tierra, junto con el resto de los planetas, está inmersa en el denominado "viento solar", el cual es la expansión de la corona del Sol a lo largo del medio interplanetario y mucho más allá de la órbita de Plutón. El viento solar, constituido principalmente por protones, fluye alejándose del Sol a velocidades promedio de 400 km/s pero no es un flujo constante. El Sol pasa de períodos de quietud a períodos de alta actividad que pueden observarse en fotos con aparatos especializados, como grandes explosiones energéticas en su corona, las cuales son arrastradas hacia el medio interplanetario topándose alrededor de obstáculos tales como los planetas que, cuando no tienen campo magnético, reciben sin ninguna protección esta lluvia de partículas. No obstante, la Tierra se encuentra rodeada de una capa conocida como la magnetósfera que está formada por su campo magnético y el gas ionizado o plasma que la rodea, y que responde a la interacción con el viento solar. La interacción depende principalmente del campo magnético y la densidad del viento solar y de las condiciones de la propia magnetosfera. Los procesos internos producen las perturbaciones geomagnéticas.

Durante períodos de alta actividad solar también disminuye la llegada al medio interplanetario de los llamados rayos cósmicos, que son partículas viajeras provenientes de lugares distantes en nuestra Galaxia y que han caído de forma continua en la Tierra desde su existencia primigenia. La radiación cósmica genera algunos isótopos tales como el Carbono 14, el cual se deposita en el hielo y en la corteza de los árboles, de hecho, la



concentración histórica de este elemento se puede estimar actualmente, midiendo, por ejemplo, la cantidad presente en un corte transversal de la corteza de un árbol [Priest, 1982]. El grosor de los anillos, que se forman anualmente, muestra la variación del elemento en el pasado que estuvo determinada por la cantidad de rayos cósmicos que llegaron a la atmósfera terrestre y que no es más que un reflejo de la actividad solar a lo largo de los años. Así pues, al observar el corte transversal de una corteza de árbol, también se observan los vestigios de la actividad solar a través del tiempo, que puede llegar a ser tanto como el número de años que el árbol tenga de edad. Este no es más que uno de los muchos ejemplos en los que se observa que la relación entre el Sol y la biosfera no tiene sólo que ver con la variación en la radiación solar, sino que su influencia podría ir más allá, pues los árboles son parte vital de la vida en este planeta y un reflejo viviente del comportamiento de nuestra estrella más cercana.

La física de las relaciones Sol-Tierra estudia las interacciones entre la actividad del Sol y las respuestas terrestres y actualmente se encuentran bien establecidas ciertas alteraciones producidas en la Tierra debidas a la actividad solar, tales como las auroras, las tormentas magnéticas, las subtormentas y algunas perturbaciones en la capa conductora de la atmósfera: la ionósfera. Dichas alteraciones se ven reflejadas en problemas tan importantes a nivel mundial como son las telecomunicaciones, ya que se afectan las trayectorias de los satélites o se altera la ionósfera, y en consecuencia, la transmisión de señales. Así pues, el establecimiento de las correlaciones entre actividad solar y fenómenos geomagnéticos ha sido de gran importancia en este campo. No obstante existen otros efectos debidos al Sol, que aún no han sido determinados, y que pueden tener consecuencias de gran importancia para el ser humano, como son los fenómenos climáticos a escala planetaria y los efectos que pueda tener la actividad solar sobre los sistemas biológicos, como la alteración de las líneas de campo magnético que puede afectar la migración animal, o bien la influencia solar sobre la salud humana, tópico sumamente controversial, del que aún resta mucho por hacer.

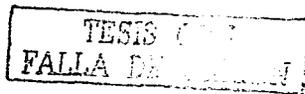
En particular, con respecto a la salud humana, se han realizado estudios de carácter estadístico, que, para ser de confiabilidad, han debido contar con el mayor número de casos

TESIS CON
FALLA DE CUBIERTA

posible, y de preferencia, abarcar largos periodos. En este sentido, el sistema de medicina central de países como México proporciona la facilidad de tener concentrados los datos de los casos de todo el país en instituciones como la Secretaría de Salubridad y Asistencia o el Seguro Social, o en los grandes hospitales que manejan a la mayoría de los enfermos del país (Hospitales Militares, de PEMEX, etc.).

En Rusia, se tiene un largo historial de análisis con respecto a la relación entre la variabilidad solar y la salud humana y se han encontrado relaciones entre la actividad solar y los accidentes de tráfico, infartos al miocardio, trombosis cerebral y enfermedades de tipo mental, entre otros. Estos estudios se han extendido al mundo occidental en donde varios miembros de la comunidad científica conformados por diversos especialistas en las áreas de la física espacial y la salud han prestado importancia a este tema de gran trascendencia para los seres humanos, ya que, si la actividad solar, es de hecho, un aspecto importante para la salud humana, la importancia práctica de este descubrimiento será enorme en la prevención de crisis poblacional de cierto tipo de enfermedad. Los hospitales podrían tener sistemas de alerta durante episodios de alta actividad solar y preparar hasta cierto grado, la atención para pacientes potenciales, que se presume, aumentarían durante esas épocas, lo cual también puede ser un ahorro económico en la salud mundial.

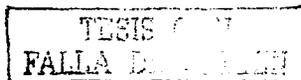
Para este tipo de análisis, se necesita estudiar el ambiente en el que se puede dar esta posible relación, que va desde la fuente solar, el medio interplanetario, las ondas en dicho medio, las respuestas geofísicas, hasta las respuestas del sistema humano. Un trabajo nada fácil. La investigación que se presenta en esta tesis está basada en una amplia gama de resultados previos, incluyendo los obtenidos en el trabajo de tesis de maestría [Díaz Sandoval, 1999] que antecede a este estudio, en donde se observaron tendencias de aumento en la morbilidad por infartos al miocardio en pacientes de la Ciudad de México con relación a los días de alta actividad solar. En este trabajo se tiene la ventaja de contar con una gran cantidad de datos analizados, ya que se tomaron en cuenta las muertes por infarto al miocardio en todo México, proporcionadas por la Dirección de Epidemiología de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, y se mantuvo una relación estrecha entre la comunidad científica de los físicos espaciales y de los médicos, para analizar con detalle



los datos, tanto los relacionados con el Sol, como con las patologías de tipo cardíaco, en particular los infartos al miocardio, y llegar a conclusiones que abarcan los diferentes puntos de vista.

Se piensa que puede existir una relación de la actividad solar, vista por medio de los decrementos Forbush en rayos cósmicos y/o por la actividad geomagnética global, y la salud humana, en este caso, los infartos al miocardio. Existen trabajos previos, que han demostrado una posible correlación (ver Capítulo 1, Secciones 1.6 y 1.7). Además, existen reportes [Lethbridge, 1990] de una relación entre la frecuencia de tormentas eléctricas y el aumento y disminución en la tasa de rayos cósmicos, por lo que se piensa, y ya se propuso en una investigación previa [Díaz-Sandoval, 1999], que puede existir un posible mecanismo de interacción entre los decrementos Forbush en rayos cósmicos y la ocurrencia de los infartos vía las ondas electromagnéticas de los rayos durante las tormentas eléctricas. También se ha planteado [Villoresi et al., 1994a] que el mecanismo de interacción pudiera deberse a las perturbaciones geomagnéticas como las pulsaciones o silbidos. Además, se piensa que puede haber un comportamiento diferente en la ocurrencia de infartos al miocardio en los días de entre semana comparados con los de fin de semana, atribuidos a un ritmo social, o bien a un comportamiento cronobiológico del tipo circaseptano y semicircaseptano (ver Apéndice A), quizás debido a periodos similares que se observan en indicadores de actividad solar [Breus et al., 1995].

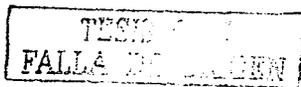
La tesis que aquí se presenta pretende investigar la relación entre la actividad solar medida mediante algunos fenómenos heliogeofísicos que han mostrado tener relevancia en este tipo de estudios de relaciones Sol-Salud Humana y la mortalidad por infartos al miocardio, que también ha sido estudiada anteriormente en otros países de altas latitudes. El presente trabajo de investigación está dividido en cinco capítulos. En el Capítulo 1 se dan a conocer los antecedentes de la Física de las Relaciones Sol-Tierra, en donde se discuten brevemente las relaciones solares-terrestres que han sido aceptadas a la fecha, y las que se han planteado en años recientes y aún se encuentran en investigación. Se presentan las características generales del Sol y el medio interplanetario, discutiendo su importancia fundamental para la existencia de las relaciones solares-terrestres, a través del



viento solar y el ciclo de 11 años. Enseguida se revisa el tema de los rayos cósmicos, estableciendo lo que se conoce como radiaciones primaria y secundaria, las modulaciones a largo y corto plazo, varias de ellas relacionadas estrechamente con la actividad solar, y los fenómenos transitorios entre los que destacan los decrementos Forbush, que han sido fuertes candidatos en la relación Sol - Salud Humana. Se muestran los aspectos generales del campo magnético y la magnetósfera, haciendo énfasis en las perturbaciones geomagnéticas producidas por la actividad solar y discutiendo cada una de ellas con cierto detalle. A continuación se hace una breve revisión de la actividad eléctrica en la atmósfera, en donde se da importancia a la actividad de tormentas eléctricas, lo cual se retomará de nuevo en el Capítulo 2. Finalmente, en las dos últimas secciones se dan a conocer varios de los trabajos que han presentado resultados que apoyan la hipótesis de una posible relación entre el Sol y la salud humana.

En el Capítulo 2, para apoyar la investigación de la presente tesis, se presenta un posible mecanismo de interacción a nivel de la atmósfera entre el Sol y la salud humana, en donde se piensa que el aumento en la actividad solar relacionada con los decrementos Forbush se refleja en una mayor actividad eléctrica en la atmósfera mediante las tormentas eléctricas, que producen ondas atmosféricas de radiofrecuencia y silbidos, siendo las primeras, comparables a las producidas por las células mismas, lo cual podría desencadenar alteraciones en la fisiología celular y reflejarse en alguna alteración de la salud como los infartos al miocardio. Así pues se revisan los tipos de células en el cuerpo humano y se agrupan bajo cuatro tipos principales de geometrías regulares a las que se pueden aproximar, se plantea el modelo propuesto y se obtienen matemática y gráficamente los campos magnéticos celulares que se producen por la influencia de la radiación atmosférica, comparándolos con los de las células mismas y discutiendo los resultados obtenidos.

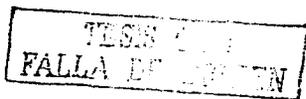
En el Capítulo 3 se presenta la metodología de análisis para las diversas series de datos de origen médico, solar y geomagnético, estudiadas en este trabajo. Se presenta una breve revisión de los datos originales, su organización y los criterios seguidos para su presentación y análisis en el Capítulo 4. Enseguida se revisan los conceptos de series de tiempo, el método de análisis por superposición de épocas y los métodos de análisis



espectral mediante la Transformada Rápida de Fourier y el Método de Máxima Entropía, haciendo énfasis en éste último por haber demostrado una mejor resolución en el espacio de frecuencias. Se presentan también los criterios seguidos para la confiabilidad de las periodicidades obtenidas y una breve revisión de la prueba T de Student, utilizada para ver la diferencia entre medias poblacionales en los resultados obtenidos en el Capítulo 4 en el análisis de los infartos al miocardio y los parámetros heliogeofísicos estudiados.

En el Capítulo 4 se presentan los resultados y la discusión de los mismos. Inicialmente se describen las series estudiadas, las divisiones realizadas de los datos médicos según criterios epidemiológicos y su comportamiento en función del tiempo. Se hacen análisis de superposición de épocas para observar mejor los comportamientos en ciertos periodos como los anuales o los semanales. En una primera parte del estudio de las relaciones Sol - Infartos al Miocardio, se presentan los resultados del análisis espectral de las series de infartos al miocardio, observando y discutiendo la aparición de periodicidades, sobretodo a altas frecuencias, en todo el periodo estudiado y con relación a las fases del ciclo solar 23. Mientras que, en una segunda parte del estudio, se analiza la relación a corto plazo, entre la ocurrencia de muertes por infarto al miocardio y variaciones heliogeofísicas medidas a través de los decrementos Forbush en rayos cósmicos (ver Apéndice D) y del índice Ap (ver Apéndice E), que mide el grado de perturbación geomagnética.

Por último se presentan las conclusiones de esta investigación y las perspectivas de trabajo que se han derivado a lo largo de la misma, la cual pudiera contribuir, en algún futuro no lejano a una nueva medicina de carácter preventivo y al entendimiento de este mundo complejo en el que la vida continúa su curso.



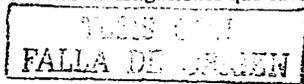
Capítulo 1

Relaciones Sol-Salud Humana

1.1 Relaciones Solares-Terrestres

El origen de la Física de las Relaciones Solares-Terrestres se sitúa en 1852, cuando Edward Sabine observó que la actividad geomagnética podía relacionarse con el ciclo de manchas solares recién descubierto.

Años antes, en 1826, un boticario alemán de nombre S. Heinrich Schwabe, había comenzado a observar el Sol sistemáticamente, haciendo conteos de manchas solares, y en 1838 publicó un artículo donde indicaba un comportamiento periódico en dichos conteos. Mientras que en 1851, Lamont reportó un periodo decenal de variación en la declinación magnética en Munich. Estos dos fenómenos fueron relacionados por Sabine, quien a su vez, notó que un mínimo en las perturbaciones magnéticas, detectado en 1843 en dos observatorios bastante separados (Hobarton y Toronto), correspondían a un mínimo en el número de manchas, mientras que un máximo en 1848, correspondía a un máximo en las manchas solares. Unos pocos meses después, en Suiza, Gautier y Wolf, llegaron, independientemente a la misma conclusión que Sabine, con datos desde 1610. Sin embargo, no fue sino hasta principios de 1890, después de varias investigaciones que favorecían la



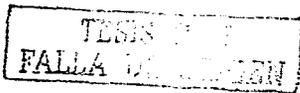
relación entre el ciclo solar y las perturbaciones geomagnéticas, que esta rama del conocimiento fue universalmente aceptada. Y adquirió identidad propia después del Año Geofísico Internacional en 1957 [Otaola et al., 1993].

En la actualidad se tienen establecidas varias relaciones entre el Sol y la Tierra, entre las que se encuentran las auroras, fenómeno que ya había sido observado en 1742 por Celsius y Hiorter; las tormentas magnéticas, estudiadas, inicialmente, por Von Humboldt y Arago durante la primera mitad del siglo XIX; las perturbaciones ionosféricas, cuya investigación fue iniciada por Stewart, en 1878; y las alteraciones en las comunicaciones, por citar algunos ejemplos [Joselyn, 1992]. Además se han hecho investigaciones de cómo la actividad solar puede afectar el clima global [Lean y Rind, 1994; Tinsley, 1994], las rutas de los animales migratorios [Beason y Nichols, 1984], y la salud humana (ver Sección 1.7), siendo éste el tema de la presente tesis, enfocado a la patología de infartos al miocardio.

Las relaciones entre el Sol y la salud humana tienen su origen en los trabajos del naturalista ruso Leonidovich Chizhevski, quien, a principios del siglo XX presentó sus estudios sobre la influencia solar en la biósfera terrestre, encontrando una relación entre las epidemias de cólera en Rusia y el ciclo de actividad solar [Halberg et al., 2000]. El mismo bautizó a su estudio de la relación Sol-Biósfera como Heliobiología, y hoy en día es conocido como el padre de dicha ciencia.

Esta área de estudio, aunque todavía es considerada sumamente controversial, ha ganado terreno en la credibilidad de la comunidad científica con estudios rigurosos que han demostrado una alta relación entre los fenómenos heliogeofísicos y patologías cardiovasculares y nerviosas, y parámetros cardiovasculares en individuos saludables (ver Secciones 1.6 y 1.7).

Las relaciones Sol-Tierra tratan de entender el mecanismo extremadamente complejo que involucra al Sol y la propagación de su actividad a lo largo del medio interplanetario, la magnetósfera, y la atmósfera. Para el caso de las relaciones Sol-Salud

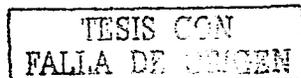


Humana, se agregaría a todo lo anterior, posiblemente, la interacción de los campos electromagnéticos del medio ambiente con el cuerpo humano, una tarea nada fácil. Así pues, ésta es una de las áreas científicas más ambiciosas y absolutamente multidisciplinaria, que involucra el trabajo de físicos solares, astrofísicos, físicos magnetosféricos, ionosféricos, atmosféricos, médicos clínicos, epidemiólogos, cronobiólogos, biólogos, matemáticos, etc. que puedan ayudar al mejor entendimiento de todas las áreas involucradas en estas muy probables relaciones entre el Sol y la Salud Humana.

En este capítulo se pretende dar una visión global de todo el entorno de las relaciones Solares-Terrestres, iniciando por la descripción general del Sol y su actividad, así como las características del medio interplanetario. Enseguida se dan a conocer los rayos cósmicos, su composición, sus modulaciones a corto y a largo plazo y, en particular, lo que se denomina decrementos Forbush, parte básica de esta investigación. A continuación se da una descripción resumida del campo geomagnético, la magnetósfera y las principales perturbaciones geomagnéticas. También se muestran las generalidades de la actividad eléctrica, haciendo énfasis en las descargas eléctricas, que, a su vez, han sido relacionadas con la actividad solar, y como se explica en esta tesis (ver Capítulo 2), también podrían afectar el comportamiento del organismo humano. Finalmente, en las últimas dos secciones se hace una revisión de los trabajos, que anteceden a esta investigación, referentes a los ritmos biológicos, la salud humana y la actividad solar.

1.2 El Sol y el medio interplanetario

El Sol es una estrella ordinaria del tipo espectral G2 V [Priest, 1982], entre otras 10^{11} estrellas en nuestra galaxia, pero su proximidad a la Tierra la hace muy especial para nosotros y nuestra vida, por lo que su estudio es de particular importancia, así como las relaciones entre ella y nuestro planeta. Se ha calculado que tiene una edad de 4.5×10^9 años, una masa aproximada de 1.99×10^{30} kg, un radio promedio de 6.96×10^8 m y se encuentra a una distancia media de 1.5×10^{11} m (poco más de 215 radios solares) de la



Tierra. El Sol es una esfera de plasma constituido esencialmente por hidrógeno (90%) y helio (10%) y en menor cantidad por elementos como carbono, nitrógeno y oxígeno.

El interior del Sol está dividido en tres regiones (ver figura 1.1): núcleo, zona intermedia o radiativa, y zona convectiva. Modelos del interior del Sol sugieren una temperatura central de 1.5×10^7 K y una densidad de 1.6×10^5 kg m⁻³ [Priest, 1982] lo cual es suficiente para que tengan lugar reacciones termonucleares, cuya energía viaja a través de las capas solares (ver figura 1.1) y se propaga en forma de radiación y partículas a través del medio interplanetario e interestelar. La temperatura y densidad del núcleo decaen a través de las capas a 6.6×10^3 K y a 8×10^{-5} kg m⁻³, respectivamente, en la superficie visible. Cabe mencionar que en la zona convectiva, de acuerdo con la teoría del dínamo, es donde se genera el campo magnético solar, que en la superficie es de alrededor de 1-3 gauss, en promedio.

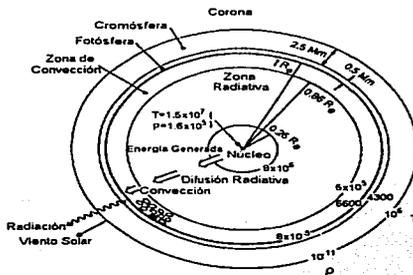


Fig. 1.1. Diagrama, no a escala, que muestra la estructura del Sol, indicando temperatura (T, medida en K), densidad (ρ , medida en kg m⁻³) y distancia (R_{\odot} = Radios solares) para las distintas regiones y capas que lo conforman.

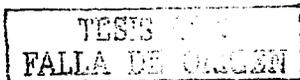
La atmósfera solar consta de tres regiones:

- La fotosfera, que es la base de la atmósfera, es una región opaca muy delgada (5.5×10^5 m) que emite la mayor parte de la radiación solar, la cual atraviesa el resto de las capas

atmosféricas y viaja a lo largo del medio interplanetario. Su temperatura va desde los 6.6×10^3 K en su base hasta los 4.3×10^3 K en su frontera con la cromósfera. En fotografías de alta resolución aparece como una superficie cubierta de gránulos, que en realidad, no son más que la parte superior de las celdas convectivas de la zona de convección. En esta región se localizan las manchas solares y las fáculas, constituyendo las regiones activas.

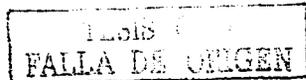
- La cromósfera, que es una capa más transparente que la anterior con un ancho de aproximadamente 3×10^6 m, y cuya temperatura, en su base, es de 4.3×10^3 K, incrementándose rápidamente con la altura, hasta los 2.5×10^4 K en la frontera con la región de transición, en la cual tiene un incremento súbito hasta cerca de 1×10^6 K antes de fusionarse con la corona.
- La corona, que se extiende desde la región de transición con la cromósfera y llena todo el medio interplanetario. Puede ser observada claramente durante los eclipses como un halo alrededor del círculo que tapa el resto del Sol. La corona está altamente ionizada, por lo cual es afectada por el campo magnético solar. El campo magnético coronal puede dividirse en cerrado y abierto. Las líneas cerradas de campo (líneas que no se extienden muy lejos del sol) atrapan el plasma coronal y mantienen la densidad relativamente alta. Mientras que las líneas abiertas de campo (líneas que se extienden lejos del sol, hacia el espacio interplanetario) permiten que el plasma coronal escape y estas áreas coronales de baja densidad se les llama hoyos coronales, mientras que el plasma, que los abandona, se conoce como viento solar.

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. Este material, fue descubierto en la década de los 60's, por el Mariner 2 en su viaje a Venus, y es el viento solar, que es un plasma altamente ionizado formado básicamente por protones y electrones. Su velocidad promedio, a la altura de la órbita terrestre es de 400 km/s, pero puede haber flujos con velocidades menores (300 km/s) o máximas de hasta 1000 km/s. Su densidad promedio es de alrededor de 5 partículas cm^{-3} .



Embebido en este plasma, está el llamado campo magnético interplanetario, con un valor de 3 γ a la altura de la órbita terrestre, y que en promedio, se encuentra en el plano de la eclíptica. La configuración del campo magnético interplanetario en épocas de baja actividad solar (ver Sección 1.2.1) se esquematiza en la figura 1.2, en donde se puede apreciar que toma forma de espiral debido al flujo radial del viento solar y a la rotación del Sol. La naturaleza dipolar del campo magnético solar da origen a la denominada "hoja de corriente" que separa las direcciones opuestas del campo en cada hemisferio, no obstante, dicha hoja de corriente no es plana, sino que se extiende onduladamente a lo largo del medio interplanetario debido a la no-uniformidad de las fuentes del viento solar en los hemisferios. Como resultado, el campo magnético no es una espiral plana como se puede pensar al ver la figura 1.2, sino que tiene una componente perpendicular con cierta orientación respecto a la eclíptica que determina el acoplamiento con el campo magnético terrestre, permitiendo la interacción del viento solar con la magnetósfera terrestre (ver Sección 1.4), y provocando repercusiones en los campos magnéticos y corrientes eléctricas terrestres. En consecuencia, en el plano de la eclíptica, se pueden encontrar regiones con tendencia a una polaridad predominante (hacia o alejándose del Sol), como fue observado por las primeras mediciones satelitales [Wilcox y Ness, 1965], y que se conocen como sectores magnéticos (ver figura 1.2).

Otras características de la dinámica del viento solar en el medio interplanetario, son las ondas de choque, fenómenos dinámicos violentos que envuelven grandes cantidades de masa y energía, y que cambian súbitamente las propiedades del medio interplanetario (velocidad del viento solar, temperatura, densidad y la magnitud del campo magnético interplanetario), es decir, puede verse como una discontinuidad entre los plasmas no chochado y chochado [Priest, 1982]; además modulan la penetración de rayos cósmicos. Las ondas de choque se pueden clasificar en corrotantes, transitorias y la onda de choque terminal. Las ondas corrotantes tienen una periodicidad de 27 días debido a que son originadas por la interacción entre corrientes de viento rápido, provenientes de los hoyos coronales y corrientes de viento lento con un origen todavía debatible, que se producen en, al menos, una rotación solar. Estas ondas de choque están bien correlacionadas con las tormentas geomagnéticas recurrentes [Legrand y Simon, 1985b]. Por otro lado, los choques



transitorios han sido altamente correlacionados con las eyecciones de masa coronal [Legrand y Simon, 1985a], que son fenómenos transitorios de gran escala en la corona solar; sin embargo, la erupción de una prominencia o las ráfagas solares también pudieran producir ondas de choque, y en escalas menores, otros eventos transitorios en la superficie solar como las surgencias o las espículas. Finalmente, la onda de choque terminal es el límite de la heliopausa, y todavía, hoy en día se desconoce la distancia a la que se encuentra del Sol.

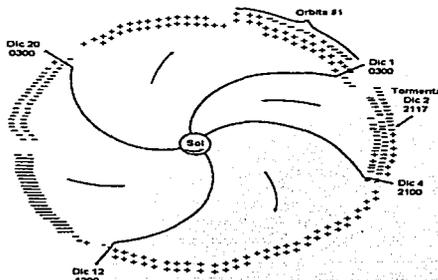


Fig. 1.2. Estructura espiral del campo magnético interplanetario debido al congelamiento de las líneas del campo magnético del Sol en el viento solar. Aquí también se muestra una estructura de los sectores magnéticos, inferida de monitoreos interplanetarios [Wilcox 1965]; los signos + indican que la dirección del campo magnético interplanetario es alejándose del Sol, mientras que los signos - indican que la dirección es hacia el Sol.

1.2.1 El Sol y su actividad

El sol puede ser activo y quieto. El Sol quieto se puede ver como una esfera de plasma esféricamente simétrica, cuyas propiedades dependen, a primera aproximación de su centro y cuyo campo magnético es despreciable. El Sol activo, en cambio, consiste de fenómenos transitorios, como las manchas solares, prominencias y ráfagas que se superponen a la atmósfera quieta. El campo magnético del Sol se origina en la zona convectiva pues allí existe un plasma en movimiento. El campo magnético en la atmósfera

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

del Sol se manifiesta en, por ejemplo, la existencia de regiones activas, como son las zonas brillantes de emisión, denominadas playas (cromósfera), que tienen lugar en un cinturón de $\pm 30^\circ$ del ecuador solar y representan concentraciones moderadas de flujo magnético (-100 Gauss). También se tiene la existencia de regiones oscuras de intensos campos magnéticos, denominadas manchas solares (fotosfera), y cerca de ellas, puede haber regiones brillantes de emisiones intensas, las regiones activas. Arriba de dichas regiones, en la cromósfera se encuentran las llamadas prominencias. Por otro lado, en la corona, las ráfagas que tienen sus pies en las regiones activas de la fotosfera, representan inestabilidades violentas que liberan grandes cantidades de energía.

El periodo en el que el Sol pasa de un estado de calma, a uno de alta actividad y nuevamente a otro estado de calma, se denomina ciclo de actividad solar [Tascione, 1994] y dura, en promedio, 11 años, aunque el promedio de duración es de 10.5 años, ya que la longitud del ciclo ha oscilado desde los 9 años (ciclo solar 2) hasta los 13.6 años (ciclo solar 4). La duración de los ciclos solares se mide, generalmente, a través del número de manchas, obteniendo lo que se conoce como el número de Wolf, cuyo registro data de 1848, aunque los ciclos solares se empezaron a contar desde 1755 (Ciclo 1; ver figura 1.3), y los registros pueden extrapolarse mediante otros indicadores hasta miles de años antes [Eddy, 1976].

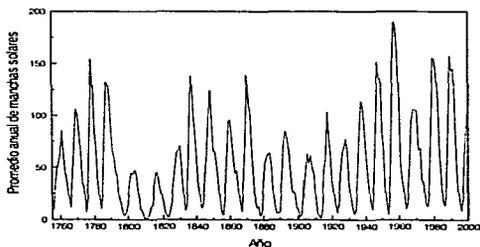


Fig. 1.3. Promedio anual de manchas solares. La longitud de cada ciclo se cuenta de mínimo a mínimo, comenzando por el Ciclo Solar 1 (1755-1766) hasta parte del Ciclo Solar 23 (que inició en 1996).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La rotación diferencial del Sol provoca la concentración de campos magnéticos en ciertas regiones, lo que origina el ciclo de actividad de 11 años (ciclo de Schwabe). Aparte de dicho ciclo, también se han identificado otros más: el ciclo magnético de 22 años (ciclo de Hale) en el que la polaridad del campo magnético es la misma y tiene la misma configuración, ya que cada 11 años, los polos se invierten; y el ciclo de Gleissberg, que es una periodicidad de 80 años en la que el número máximo de manchas crece y decrece.

1.3 Los rayos cósmicos

Los rayos cósmicos están constituidos por la totalidad de diferentes partículas primarias que llegan al tope de la atmósfera terrestre y al conjunto de partículas secundarias que se producen por interacciones nucleares entre las partículas primarias y los núcleos atmosféricos. A continuación se describen las características de las radiaciones primaria y secundaria.

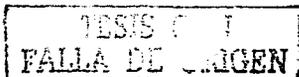
1.3.1 Radiación primaria y secundaria

La radiación cósmica primaria es la radiación que incide en la atmósfera terrestre. Esta radiación está mayoritariamente compuesta por protones, aunque se han llegado a detectar hasta núcleos pesados con número atómico (Z) hasta del orden de 90. El flujo de partículas por metro cuadrado, estereorradián, y segundo, así como el porcentaje de abundancia del flujo total, para cada grupo de partículas son los siguientes [Dorman, 1974; Otaola y Valdés-Galicia, 1992]:

Protones, $1300 \text{ partículas m}^{-2}\text{ster}^{-1}\text{s}^{-1}$ (flujo máximo en mínimo de actividad solar), que equivale a un 93 % del flujo total de radiación primaria.

Partículas α , $88 \text{ partículas m}^{-2}\text{ster}^{-1}\text{s}^{-1}$ (flujo máximo en mínimo de actividad solar), que equivale a un 6.3 %.

Núcleos Ligeros ($Z = 3-5$), $1.9 \text{ partículas m}^{-2}\text{ster}^{-1}\text{s}^{-1}$, que equivale a un 0.10 %.



Núcleos Medianos ($Z = 6-9$), 5.6 partículas $m^{-2}ster^{-1}s^{-1}$, que equivale a un 0.42 %.

Núcleos Ligeramente Pesados ($Z = 10-19$), 2.5 partículas $m^{-2}ster^{-1}s^{-1}$, que equivale a un 0.14 %.

Núcleos Muy Pesados ($20 \geq Z$), 0.7 partículas $m^{-2}ster^{-1}s^{-1}$, que equivale a un 0.04 %.

Núcleos Mucho Muy Pesados ($31 \leq Z \leq 92$), 2×10^{-6} %.

Además de lo anterior, existe una componente electrónica primaria: electrones y positrones. También existen componentes neutras, entre las que se encuentran los rayos γ , los neutrinos y los neutrones. Debido a que la radiación cósmica primaria consiste en su mayor parte de protones, generalmente sólo estos últimos son considerados cuando se estudia la radiación secundaria. Al llegar los protones a la atmósfera terrestre, chocan después de haber atravesado alrededor de $800kg/m^2$ de materia, en promedio, que equivale a 1/14 de la masa total de aire sobre el nivel del mar [Valdés, 1977].

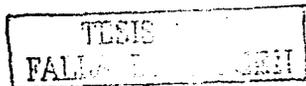
La radiación cósmica secundaria consiste en todos los productos resultantes de las colisiones entre la radiación primaria y los núcleos atmosféricos. Al colisionar un protón con la atmósfera se producen los llamados chubascos atmosféricos (ver figura 1.4) que dan origen a las siguientes componentes de la radiación secundaria [Otaola y Valdés-Galicia, 1992]:

1) Componente nucleónica o nuclear activa

Consiste en los neutrones y protones que son productos de la desintegración de un átomo atmosférico por una partícula primaria de baja energía. Estos neutrones y protones, a su vez, tienen energía suficiente como para actuar como partículas primarias e interactuar con otros átomos atmosféricos, dando lugar al proceso de chubasco. El flujo de esta componente va decreciendo rápidamente con la profundidad atmosférica y constituye un pequeño porcentaje del flujo total de partículas a nivel del mar.

2) Componente dura o mesónica

Las partículas primarias con energías mayores transfieren su energía mediante colisiones inelásticas con los núcleos atmosféricos, y parte de su energía se invierte en la creación



de mesones o piones, los cuales constituyen casi toda la radiación secundaria observada a nivel del mar.

Los piones son inestables y decaen en partículas estables, los cargados decaen en mesones μ de la misma carga que su antecesor y los neutros decaen en rayos γ , que a su vez dan lugar a un gran número de partículas proporcional a la energía primaria. Los mesones μ también son inestables, pero debido a que son relativistas, su vida media es lo suficientemente larga para que algunos puedan llegar hasta la superficie, siendo el tipo más abundante de partículas de la radiación secundaria a nivel del mar.

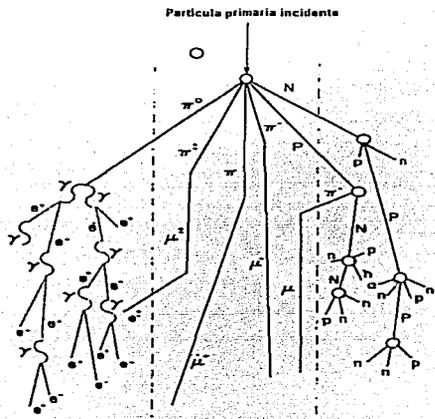


Fig. 1-4. Producción de partículas secundarias mediante el llamado "chubasco atmosférico".

3) Componente blanda o electromagnética

Está formada por electrones y positrones resultantes del decaimiento de los mesones μ con carga, de los procesos de ionización, de la producción de pares, y de los chubascos fotón-electrón.

TESIS
FALLA DE ORIGEN

Estos tres mecanismos de conversión de la energía primaria en una componente secundaria dependen de la energía que lleva la partícula de la radiación primaria. Cabe notar que, debido a los procesos de producción de partículas mediante varias interacciones y decaimientos, la composición de la radiación cósmica secundaria varía con la profundidad atmosférica.

1.3.2 Modulaciones de la radiación cósmica

El flujo de rayos cósmicos que llega a la Tierra depende de tres tipos de modulación [Smart y Shea, 1985]:

- Modulación de largo término, que es del orden de millones de años y probablemente debida a variaciones muy lentas en las fuentes galácticas o extragalácticas.
- Modulaciones debidas al ciclo solar, que usualmente se refieren a 11 años. Se ha visto que la intensidad en la radiación cósmica está inversamente correlacionada con la actividad solar.
- Modulaciones de término corto, en las que se incluyen las variaciones cíclicas que van desde la variación semi-diurna hasta la de 27 días, y las variaciones transitorias que consisten en decrementos e incrementos asociados con varios fenómenos solares. Las variaciones cíclicas de 27 días se han detectado en regiones del espacio exterior en el intervalo de 0.3 a 20 unidades astronómicas, así como en detectores terrestres, aunque es algo variable. Para este último tipo de detectores, también hay una variación diurna y una semi-diurna que están en fase con la rotación terrestre.

También pueden existir decrementos súbitos, denominados Forbush, y más extrañamente, incrementos en el flujo de radiación cósmica, debido, todo esto, a la actividad solar. Los decrementos Forbush están asociados con incrementos súbitos en la densidad de plasma y flujo magnético emitido por el Sol.

1.3.3 Decrementos Forbush

En 1938, Forbush descubrió la existencia de grandes decrementos repentinos en la intensidad de la radiación cósmica, por medio de cámaras de ionización a nivel de la tierra, encontrándose después, que este tipo de fenómenos se presentaba globalmente, así como en el medio interplanetario. A estos fenómenos se les conoce como Decrementos Forbush (figura 1.5), los cuales consisten en una disminución repentina de la radiación cósmica en un lapso de doce a catorce horas y en un tiempo de recuperación al nivel de intensidad anterior al decremento, en un tiempo del orden de días, o inclusive, hasta semanas. Desde sus primeras observaciones, Forbush notó, que los decrementos se producían uno o dos días después de ráfagas solares importantes, y casi simultáneamente a las tormentas magnéticas de comienzo súbito.

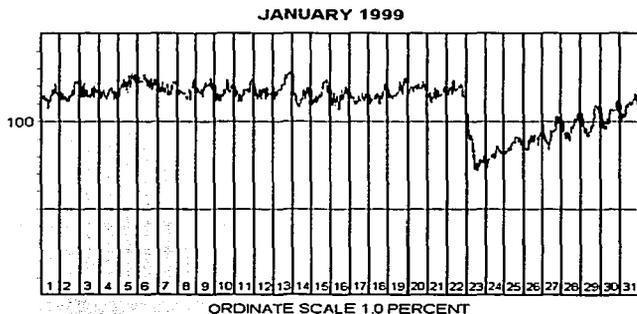


Fig. 1.5. Decremento Forbush correspondiente al 22-23 de enero de 1999 (Tiempo universal), según los registros del monitor de neutrones de la Estación de Rayos Cósmicos en la UNAM, Ciudad de México [Hurtado et al. 2000].

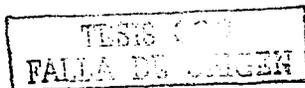
Los decrementos Forbush no tienen su causa en alteraciones del campo geomagnético o de la atmósfera terrestre, sino que se deben a una modulación de origen

solar [Wibberenz et al., 1977]. Además el número de decrementos Forbush varía con el ciclo solar [Tascione, 1994], registrándose un mayor número de ellos en épocas de máximo solar y un menor número o ninguno en años cercanos al mínimo solar.

1.4 Campo geomagnético y magnetósfera

A primera aproximación, el campo magnético terrestre es como el de una esfera uniformemente magnetizada con un eje dipolar que cruza los puntos: 78.5S°-111°E (cerca de la estación Vostok, Antártica) y 78.5°N-69°W (cerca de Thule, Groelandia) que se denominan "polos geomagnéticos". Básicamente, la configuración de este campo dipolar (0.3-0.6 gauss en la superficie terrestre) depende del movimiento del material del núcleo terrestre, aunque existen componentes debidas a fuentes terrestres como la magnetización de la corteza y otras debidas a fuentes extraterrestres como las interacciones con el Sol y la Luna.

El magnetismo varía en diversas escalas de tiempo: con duración de millones de años, de milenios, de siglos, décadas, de mes a mes, día a día, o incluso, hora a hora (variaciones transitorias) en cualquier punto de la superficie terrestre. La variación secular (registrada anualmente), por ejemplo, tiene una intensidad de 10^{-8} T y es descrita como la suma de cuatro componentes que pueden describirse individualmente: una disminución en la intensidad del dipolo, una deriva en dirección oeste de anomalías regionales, un movimiento hacia el norte del dipolo, y variaciones residuales que no tengan que ver con derivas [Knecht y Shuman, 1985]. La variación diaria del Sol quieto, en días geomagnéticamente quietos es ocasionada mayormente por la generación de corrientes ionosféricas debidas a la radiación electromagnética y cuya amplitud es del orden de decenas de nanoteslas. La variación diaria lunar es generada en forma similar a la anterior, sólo que la fuente de dicha variación son las mareas gravitacionales ocasionadas por la atracción entre la Tierra y la Luna. El comportamiento dominante es una variación semidiurna cuya amplitud es de un orden de magnitud menor que la variación diaria del Sol



quieto. También existe la variación diurna de alrededor de 3 nT ocasionada por la diferencia entre los lados de día y de noche en la compresión del campo geomagnético por el viento solar en periodos de baja actividad solar, como se verá enseguida.

El plasma solar confina al campo magnético terrestre junto con el plasma que circunda la Tierra en una cavidad conocida como la magnetósfera, que es determinada por un balance de presión en su frontera, por un lado, la presión solar que depende básicamente de la densidad y la velocidad del plasma solar, y por el otro, la presión terrestre que depende principalmente del campo geomagnético. La magnetósfera adopta una forma aplastada en la cara de la Tierra que da directamente al Sol (lado día), mientras que es casi cilíndrica en la dirección opuesta (lado noche) (ver figura 1.6), su frontera es la magnetopausa que se encuentra a una distancia geocéntrica de 10 radios terrestres en el lado día y que se extiende a más de 60 radios terrestres en el lado noche. Sin embargo, debido a que la velocidad relativa del viento solar, con respecto al plasma terrestre es mucho mayor, se forma una onda de choque que comprime y calienta el plasma, constituyendo una capa de plasma turbulento exterior a la magnetopausa, conocida como magnetofunda.

La magnetósfera sigue un modelo de líneas de campo "abiertas" [Tascione, 1994], lo cual tiene su interpretación en que las líneas del campo geomagnético pueden conectarse con las líneas del campo magnético interplanetario a través de un proceso conocido como reconexión. Así pues, el plasma de la magnetofunda fluye hacia la Tierra a través de las líneas abiertas de campo, formando la cúspide del lado día, en donde la mayoría del plasma es reflejado en dirección contraria a la Tierra por el campo magnético creciente vfa el "efecto espejo" [Roberts, 1967], pero debido al flujo cercano al polo, el plasma reflejado fluye en dirección a la parte exterior de la cola, formando el manto de plasma, que es continuamente incrementado por el flujo del plasma de la magnetofunda. La parte interna de la cola abierta se encuentra poblada por partículas de baja energía (protones y iones de oxígeno provenientes de la ionósfera) constituyendo el viento polar. Cuando las partículas alcanzan el centro del plano de la cola, son aceleradas a velocidades de 500-1000km/s por la tensión de las líneas de campo formando lo que se conoce como hoja de plasma, que se

1980
FALLA DE ORIGEN

hace más ancha en cuanto mayor es la distancia a la Tierra, debido a que conforme el plasma fluye hacia la cola, sufre de convecciones hacia el centro del plano de la misma. La reconexión de la cola usualmente ocurre a 100 radios terrestres, pero es más cercana durante periodos de perturbaciones magnéticas. El plasma que fluye en el plano central más allá de la reconexión es acelerado y después se encuentra con el viento solar. Algunas partículas de la hoja de plasma se reflejan en la reconexión por efecto espejo. La hoja de plasma consta de partículas, que conforme entran a la magnetósfera cuasi-polar, sufren de convecciones hacia el lado día, y forman el anillo de corriente de plasma. La tendencia del plasma cercano a la Tierra, es a corrotar con ella, lo cual constituye la capa conocida como plasmasfera que está llena de plasma frío (hidrógeno-helio) de alta densidad, proveniente de la parte mas alta de la ionósfera, que es la última capa atmosférica. En la figura 1.6 se esquematiza todo lo anterior, mostrando también los anillos de Van Allen que son regiones de radiación atrapada.

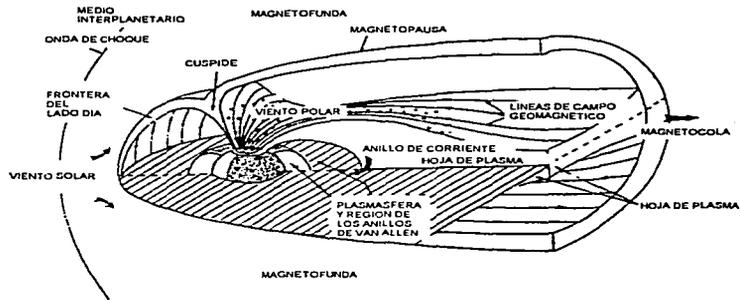


Fig. 1.6. Esquema de la magnetósfera, en donde se muestran las capas que la constituyen y algunas de sus regiones importantes.

TESIS CON
FALLA DE MAGNETIN

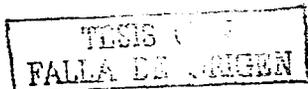
1.4.1 Perturbaciones geomagnéticas

Las variaciones de periodo corto (del orden de días a fracciones de segundo) en el campo geomagnético que surgen a raíz de cambios en el medio interplanetario son conocidas como perturbaciones geomagnéticas. Entre dichas perturbaciones se encuentran las tormentas geomagnéticas, que son las perturbaciones de mayor intensidad y de más larga duración; las auroras y subtormentas geomagnéticas; los efectos relacionados con las ráfagas solares; y las micropulsaciones. A continuación se explica cada una de ellas.

Tormentas geomagnéticas

Son periodos de gran perturbación geomagnética (ver figura 1.7) que presentan las siguientes fases en su desarrollo:

- Con o sin comienzo súbito.- En ocasiones, las tormentas geomagnéticas (conocidas como tormentas de comienzo súbito) pueden presentar un rápido incremento en la componente horizontal H del campo geomagnético, que se observa globalmente. El comienzo súbito es causado por la onda de choque que llega a la magnetósfera e incrementa la magnitud del campo geomagnético del lado día. Existen también, los llamados impulsos súbitos [Campbell, 1997], que consisten en un aumento súbito en la componente horizontal, pero sólo muestran dicho incremento y no muestran el resto de las fases de una tormenta geomagnética. Las tormentas sin comienzo súbito no están asociadas a choques.
- Fase inicial.- En esta fase, que dura de minutos a horas, se incrementa la componente en dirección Norte, Z, del campo geomagnético. Esto es ocasionado por un efecto de compresión que continúa por varias horas. Muchas tormentas no presentan esta fase.
- Fase principal.- También se conoce como fase de crecimiento, en la cual, la componente H del campo decrece del orden de 100 nT debido a la aparición de un anillo de corriente que rodea el ecuador magnético terrestre [Parkinson, 1985].
- Fase de recuperación.- Después de que H alcanzó su mínimo, lentamente recobra su valor normal, lo cual le toma varios días, y se debe a la desaparición del anillo de corriente.



Las tormentas geomagnéticas, de acuerdo con su intensidad se pueden clasificar en [Gonzales et al., 1994]:

- Intensas.- La componente horizontal, medida por el índice Dst [Mayaud, 1980], disminuye hasta -100 nT.
- Moderadas.- Dst disminuye hasta -50 nT.
- Débiles.- Dst disminuye hasta -30 nT.

Las mayores tormentas se relacionan con eyecciones de masa coronal que vienen del Sol [Gosling et al., 1991], estas tormentas son fenómenos no recurrentes. Mientras que las tormentas moderadas son, casi siempre recurrentes, con períodos que equivalen al de la rotación solar y se asocian a hoyos coronales. El número e intensidad de las tormentas varía con el ciclo solar de 11 años.

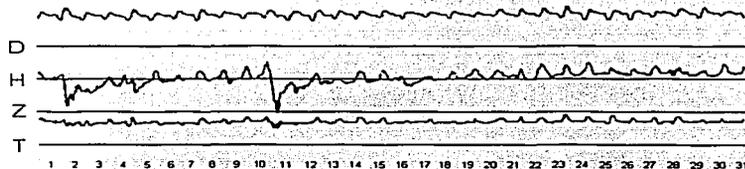
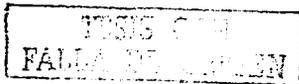


Fig. 1.7. Variaciones de los tres elementos de campo geomagnético D, H y Z en Puerto Moresby para diciembre de 1977. Se observa la variación diurna en todos los elementos y dos tormentas geomagnéticas que comienzan en los días 2 y 10.

Subtormentas geomagnéticas

Las tormentas geomagnéticas que se describieron en la sección anterior, ocurren una o dos veces por mes. Otras perturbaciones mucho más frecuentes que las tormentas, en las



que los mayores cambios en el campo geomagnético se presentan en latitudes aurorales y en la cola magnética, se conocen como subtormentas geomagnéticas (ver figura 1.8) que tienen una fuerte relación con las auroras.

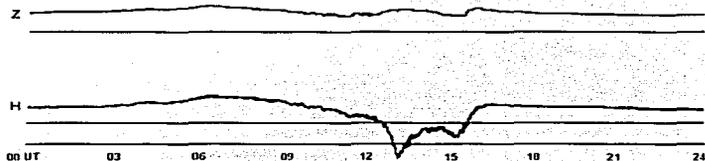


Fig. 1.8. Parte de un magnetograma que muestra dos componentes del campo geomagnético (H y Z) durante una subtormenta de las 12 hr. a las 16 hr., con rango en H de 618 nT, observado en el magnetógrafo de Macquarie I (latitud geomagnética -60.8).

Las subtormentas pueden dividirse en tres fases [Rostoker et al., 1980]:

- Fase de crecimiento.- Dura cerca de una hora. La energía del viento solar se transfiere a la magnetósfera mediante procesos de reconexión [Hargreaves, 1979] entre las líneas de los campos interplanetario y magnetosférico. La reconexión empieza en la magnetopausa, extrayendo flujo del lado día y mandándolo hacia la cola, por lo que tanto el radio como la intensidad de campo en la cola se incrementan. Este cambio esta acompañado por una excitación (10-20 min) de partículas a gran escala [Cowley, 1995]. Conforme la cola se desarrolla, la porción de plasma de la hoja de corriente, cercana a la Tierra (10 radios terrestres) se vuelve mas concentrada (hasta una capa de 500-1000 km de ancho comparada con el ancho de 30 000 km en el tiempo de calma). Esta capa delgada crece en intensidad pero permanece estable en esta primera fase de crecimiento.

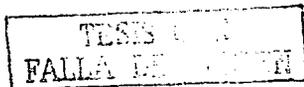
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Fase de expansión.- La capa se rompe (en mas o menos un minuto). La corriente decrece súbitamente y las líneas de campo distantes en la cola se colapsan cerca del ecuador adquiriendo una forma dipolar. Esto produce un intenso flujo súbito de electrones en la parte mas alta de la atmósfera al pie de dichas líneas, lo que produce una serie de auroras brillantes. Se induce una reconexión en la hoja de plasma (a distancias de 20-40 radios terrestres) y ocasiona la formación de un plasmoido que se aleja de la Tierra a velocidades de 400-800 km/s [Cowley, 1995]. Después de unas pocas decenas de minutos, la tasa de reconexión en las líneas cercanas a la Tierra disminuye y la región se mueve hacia la cola, señalando el fin de la expansión.
- Fase de recuperación.- La fase de relajamiento típicamente dura por varias decenas de minutos. La hoja de plasma se recupera y la magnetósfera regresa al estado pretormenta, y posiblemente prepararse para la siguiente subtormenta.

Si la dirección sur del campo magnético interplanetario continúa significativamente, se presentan ciclos de subtormentas, cada uno de una hora de duración aproximadamente. El anillo de corriente de plasma es conducido a la magnetósfera interna mediante convección, lo que constituye la característica principal de una tormenta geomagnética. La subtormenta presenta amplitudes de decenas de nanoteslas y es acompañada, frecuentemente por pulsaciones Pi2, las cuales se discutirán más adelante.

Efectos por ráfagas solares

- a) Para la comunicación mediante ondas de radio, se utiliza la ionósfera que refleja dichas ondas de radiofrecuencia. Las frecuencias extremadamente altas (30 - 300 Mhz, intervalo en el se trabaja en la comunicación con satélites) atraviesan la ionósfera. Las ondas de radio de las fuentes terrestres (con frecuencias alrededor de 30Mhz) son directamente afectadas por la ionósfera. Durante una ráfaga el flujo de fotones de rayos X se incrementa a 1000 veces su nivel usual. Cuando estos penetran las capas E y F de la ionósfera y llegan hasta la D, a alturas de 65 km, provocan que la comunicación de onda corta se haga imposible, ya que durante las ráfagas de larga duración, todas las frecuencias altas de ondas de radio (3-30Mhz) que alcanzan el lado día de la ionósfera,



son absorbidas [Joselyn, 1992]. Esta condición dura por varios minutos, e inclusive hasta una hora. A este fenómeno se le conoce como perturbación ionosférica súbita o SID (*sudden ionospheric disturbance*). Simultáneamente con los SID, hay un efecto magnético que se conoce como efecto por ráfaga solar o SFE (*solar flare effect*) que se ve como un pequeño decremento en la componente horizontal del campo magnético y que se distingue de las subtormentas magnéticas porque cae rápidamente y retorna a su valor normal más o menos exponencialmente, además de que está confinado sólo al hemisferio día [Parkinson, 1985].

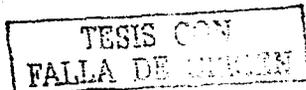
- b) Eventos de absorción polar: Estos eventos son absorciones anormales de las ondas de radio cuando pasan por la ionósfera, y que se producen por la llegada de partículas energéticas provenientes de las ráfagas solares [Smart y Shea, 1985]. Sólo se observan a altas latitudes, donde está acompañado por interrupciones en la comunicación resultantes del incremento en la densidad electrónica a altitudes entre los 55 y 90 km. Su duración es mayor que para el SID, extendiéndose por decenas de horas a varios días [Tascione, 1994].

Micropulsaciones

Son variaciones menores en el campo geomagnético de tipo sinusoidal. Son el resultado de ondas hidromagnéticas que viajan en la magnetósfera [Parkinson, 1985]. Se clasifican en dos grupos principales: pulsaciones continuas (Pc), que son aquellas cuya amplitud fluctúa estacionaria o regularmente, y pulsaciones irregulares (Pi), que son oscilaciones amortiguadas presentándose en grupos de entre 5 y 20 pulsaciones. Además, de acuerdo a su periodo, se clasifican en los siguientes tipos [Jacobs, 1970]:

Pulsaciones continuas

- Pc1.- Para periodos de 0.2 – 5 s (o bien, frecuencias de 0.2 – 5 Hz)
- Pc2.- 5 – 10 s (0.1 – 0.2 Hz)
- Pc3.- 10 – 45 (0.02 – 0.1 Hz)
- Pc4.- 45 – 150 s (6.7×10^{-3} – 0.02 Hz)
- Pc5.- 150 – 600 s (1.7×10^{-3} - 6.7×10^{-3})
- Pc6.- > 600 s ($< 1.7 \times 10^{-3}$ Hz)



Pulsaciones irregulares

- Pi1.- 1 – 40 s ($0.025 - 1$ Hz)
- Pi2.- 40 – 150 s ($6.7 \times 10^{-3} - 0.025$ Hz)
- Pi3.- > 150 s ($< 6.7 \times 10^{-3}$)

Se ha considerado que el periodo, amplitud y frecuencia de ocurrencia de las micropulsaciones dependen de varios factores, como la velocidad del viento solar, el número de manchas, el grado de perturbación magnética y la estación del año. Pc3, por ejemplo, depende del ciclo solar, y la variación diurna de Pc5 depende de la latitud.

En la figura 1.9 [Campbell, 1997] puede verse la intensidad del campo magnético debido a los diferentes tipos de micropulsaciones.

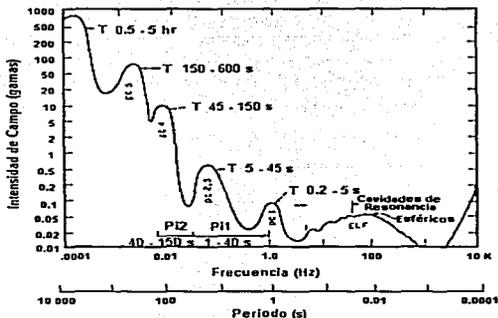


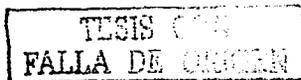
Fig. 1.9. Amplitudes e intervalo de periodo y frecuencia para las micropulsaciones continuas (Pc1 - Pc5) e irregulares (Pi1, Pi2).

1.5 Actividad eléctrica en la atmósfera

Desde el siglo XVIII se sabe que la atmósfera terrestre está electrificada [Volland, 1982], condición que Kelvin bautizó como campo eléctrico atmosférico. La conductividad eléctrica depende de la existencia de iones positivos y negativos, los cuales son producidos por rayos cósmicos en las capas baja y media de la atmósfera, es decir, por debajo de 60 km hasta 1 ó 2 km sobre la superficie terrestre [Engfer y Tinsley, 1999] y por materiales radiactivos terrestres (Rn, Ra y Th) [Kundt y Thuma, 1999] en los primeros 100m [Volland, 1982]. Las propiedades eléctricas de la tropósfera y las distribuciones de las cargas son controladas por los movimientos de masas de aire, sistemas de presión, vientos, turbulencia, temperatura y las distribuciones de vapor de agua [Sagalyn et al., 1985].

El campo eléctrico de buen tiempo es prácticamente uniforme, estable y vertical, debido a la existencia de una carga negativa en la superficie de la Tierra y una carga neta positiva en la atmósfera. La intensidad del campo eléctrico vertical tiene un valor máximo en la superficie terrestre de 120 V/m y de 130 V/m sobre los océanos, aunque en las regiones contaminadas, puede aumentar considerablemente (en el Observatorio de Kew, Inglaterra es de 360 V/m) y durante las condiciones perturbadas, los campos eléctricos son mucho mayores, ya que las descargas de las tormentas eléctricas pueden ocasionar cambios del orden de 1000 V/m durante periodos breves al transferir carga desde una parte a otra de la nube. El gradiente de potencial decrece con la altitud, siendo a 20 km de 3% su valor en la superficie [Mason, 1972].

Como resultado de la existencia de un campo eléctrico predominantemente vertical, hay un flujo constante de corriente hacia la superficie terrestre que se conoce como corriente de conducción aire-tierra. Existe un incremento en la densidad de corriente que se atribuye al "efecto de la salida del Sol". También puede haber efectos locales en la densidad de corriente, debidos a la visibilidad, la niebla y la humedad [Sagalyn et al., 1985].



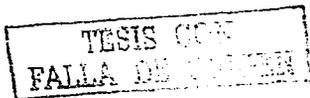
1.5.1 Tormentas eléctricas

La corriente total que fluye a la tierra en cualquier tiempo es de 1800 Amperes. Como resultado de dicha corriente, la carga negativa de la superficie terrestre de aproximadamente 500 000 Coulombs se neutraliza en menos de media hora. La carga neta, sin embargo, permanece constante. Las tormentas eléctricas y las nubes de dichas tormentas son los mecanismos más importantes que mantienen la carga terrestre, pues actúan como generadores que conducen la corriente hacia arriba en sentido inverso a la corriente en las áreas de buen tiempo [Stergis et al., 1957].

El origen de las tormentas eléctricas son grandes nubes verticales denominadas cumulonimbus, las cuales son agregados de nubes blancas de apariencia algodonosa, llamadas cúmulos. La nube de tormenta tiene cargas positivas cerca de la cúspide y negativas cerca de la base. Los rayos se producen cuando la tensión eléctrica entre partes de la nube o entre la nube y la tierra se vuelve lo suficientemente alta. El 65% de los rayos que se producen, ocurren dentro de una nube o de nube a nube, mientras que sólo el porcentaje restante llega a la superficie terrestre. Lo que se ve como un rayo aislado e instantáneo, está compuesto, en realidad, de varios latigazos de ida y regreso, de la nube a la tierra, y de ésta a la nube, en fracciones de segundo [Magono, 1980].

Las tormentas eléctricas se clasifican en: térmicas, frontales y ciclónicas. Las térmicas se forman sobre áreas montañosas y se mueven a lo largo de un plano, ocurriendo, en su mayoría, al final de la tarde o durante la noche. En tanto que los frentes y ciclones pueden transportar cumulonimbos, algunos de los cuales pueden desarrollarse en tormentas eléctricas; tanto el origen como la trayectoria de las tormentas son más afectados por factores de mesoescala que por el terreno sobre el que pasan [Magono, 1980].

Si las nubes se forman a partir de masas relativamente aisladas sobre la tierra (por ejemplo en verano, en zonas montañosas [Salanave, 1980]), esto da origen a las llamadas tormentas eléctricas locales. Por otro lado, algunas nubes de tormenta eléctrica se forman a lo largo de una línea extensa (*squall line*) dando origen a una hilera de tormentas eléctricas,



que frecuentemente son muy severas y pueden cubrir una extensión de 100 km en la tierra y el mar [Salanave, 1980].

En la figura 1.10 se muestra un registro continuo del campo eléctrico superficial bajo una tormenta [Simpson y Serase, 1937] que es un patrón común en la mayoría de las tormentas. El campo es positivo y considerablemente mayor que el campo de buen tiempo, tanto atrás como enfrente de la tormenta, y por debajo de la misma es negativo. Patrones más complicados se pueden deber a inversiones rápidas en el signo del campo causados por cargas espaciales locales que son arrastradas por la precipitación [Magono y Orikasa, 1960].

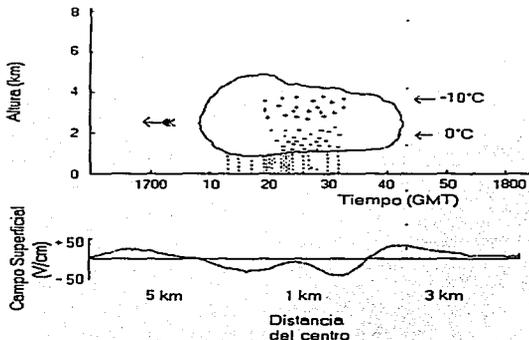


Fig. 1.10. Campo eléctrico superficial debajo de una nube de tormenta eléctrica, tomado del trabajo de Simpson, 1937. Este patrón es común en la mayoría de las tormentas eléctricas.

La mayoría de las nubes de tormenta eléctrica tienen cargas positivas en la cúspide y negativas en la base, con una acumulación de carga positiva en la región de corriente

ascendente, cerca de la base de la nube. En la figura 1.11 se muestra un diagrama de la distribución eléctrica en la nube de una tormenta típica; modelo que todavía es, generalmente, aceptable [Magono, 1980].

La nube de tormenta puede considerarse como un generador electrostático y se sabe que la separación de cargas en la nube ocurre a diferentes escalas: molecular (separación superficial de cargas en las partículas de precipitación), microescala (separación mecánica de la carga superficial de las partículas) y escala de nube (separación de cargas por gravedad).

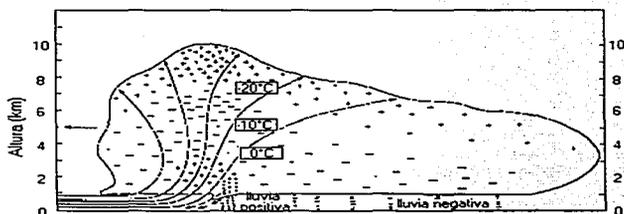


Fig. 1.11. Diagrama de la distribución eléctrica en la nube de una tormenta típica. En su mayoría, la cúspide tiene cargas positivas, mientras que la base tiene cargas negativas. Además, existe una acumulación de carga positiva en la región de corriente ascendente, cerca de la base de la nube.

Los mecanismos detallados de generación, separación y disipación de cargas son complejos y no son comprendidos del todo, todavía. No obstante, las observaciones indican que los campos eléctricos y rayos se encuentran más frecuentemente en nubes convectivas (en las que hay corrientes de aire hacia abajo y arriba) que contienen mezclas de gotas de agua y varias formas de nieve y partículas de hielo.

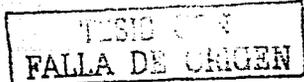
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Descarga eléctrica

Los rayos se producen cuando la tensión eléctrica es muy alta. Un rayo puede descargar hasta 3×10^6 watts calentando el aire a su alrededor hasta 15000°C en menos de una millonésima de segundo, lo cual hace que el aire se dilate y se expanda rápidamente provocando el trueno.

Las fotografías de relámpagos, tomadas con cámaras rotatorias, han mostrado que lo que aparece a simple vista como un solo latigazo es, en realidad, una serie de latigazos. En la figura 1.12 se muestra el proceso que sigue un rayo consistente de tres latigazos. En la etapa inicial del relámpago, una serpentina desciende por una distancia corta y para. Después de un pequeño lapso, una nueva serpentina baja a lo largo del camino de la última y se extiende un poco más. Este proceso se repite hasta que la última serpentina llega cerca de la tierra. Todo lo anterior constituye el "pulso piloto" (*stepped leader*) que consiste en una serie de pasos de 10 a 200 m de largo, separados por intervalos que varían de 15 a 100 μs , que siguen una trayectoria zigzagueante con ramificaciones puntiagudas dirigidas hacia abajo. Cuando el pulso piloto llega a 5-50 m de la tierra, surge desde algún punto de ésta una fulguración brillante que sigue el mismo camino del piloto hasta el lugar en la nube donde el pulso piloto se originó, y que se conoce como "pulso principal o de retorno" (*return or main stroke*), este pulso es el que transporta la corriente principal de la descarga, que es típicamente de 40 kA [Uman, 1987]. Otro latigazo más directo y sin ramificaciones sigue después de 0.04 s del primero y se conoce como "pulso piloto en dardo" (*dart leader*) que regresa, como el piloto, a lo largo del mismo camino en aproximadamente 0.001 s. En 0.04s hay otro pulso piloto en dardo que también regresa y esto completa la fulguración del relámpago que aparece mucho más sencillo a simple vista o fotografiado por una cámara fija.

Sólo aproximadamente 25% de todos los rayos son de un solo latigazo, mientras que el resto consisten en múltiples latigazos con un máximo medido de hasta 26 [Magono, 1980].



El pulso de retorno genera las señales de radio naturales más energéticas que se encuentran en la tierra. Dichas ondas electromagnéticas se conocen como atmosféricas y sus frecuencias van desde varios Hz hasta varios cientos de MHz, con un máximo de energía en el intervalo de 4 a 8 kHz. Estas ondas se propagan circundando la Tierra en una gafa de onda formada por la capa de aire entre la superficie terrestre y la ionósfera. Se producen resonancias a 8, 14 y 20 Hz, conocidas como Resonancia Schumann que se usan para monitorear la actividad de tormentas eléctricas en una escala global [Nickolaenko et al., 1998]. De las ondas VLF, una fracción penetra la ionósfera y se propaga a lo largo de una línea magnética, llegando al hemisferio opuesto y pudiendo regresar hasta el sitio original donde se produjo la descarga eléctrica, esta onda [Storey, 1953] se conoce como "silbido" (ver figura 1.13), y de ella se deduce la densidad electrónica de la magnetósfera.

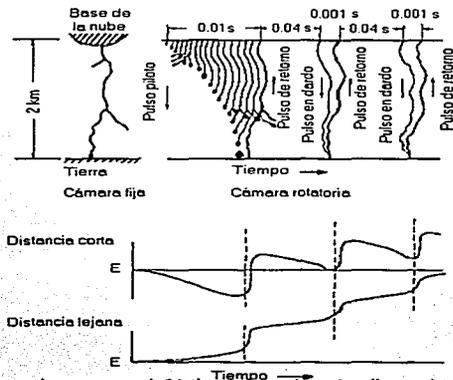


Fig. 1.12. Procesos que se dan en un rayo de 3 latigazos, los cuales se describen en detalle en el texto. El rayo inicia con una serie de pasos de la nube hacia la tierra, conocidos como pulsos piloto. Después tiene lugar el llamado pulso de retorno, que es la manifestación más brillante del retámpago. A continuación sigue un pulso en dardo, otro pulso de retorno y se repiten de nuevo estos procesos. En la parte inferior de la figura se observa el patrón de los campos eléctricos para distancias cercanas al suceso y para distancias lejanas.

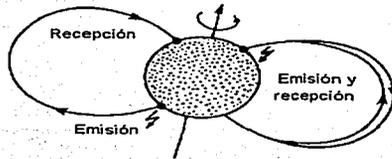


Fig. 1.13. Dos tipos de propagación de las ondas tipo silbido, que puede emitirse en un hemisferio y escucharse en otro, y que también puede reflejarse y volverse a escuchar en el hemisferio donde ocurrió la descarga eléctrica.

1.5.2 Relación entre la actividad solar y los fenómenos eléctricos atmosféricos

La relación entre la actividad solar y las propiedades eléctricas de la atmósfera ha sido investigada por varias décadas [Sagalyn et al., 1985], aunque todavía no hay un entendimiento claro sobre ella. Las investigaciones se han orientado a determinar si dicha actividad actúa como un mecanismo de disparo para cambios climáticos [Tinsley et al., 1989], desde escalas día a día, hasta escalas de décadas a siglos.

Una manera en la cual podría existir el acoplamiento entre la actividad solar y el sistema eléctrico atmosférico, sería a través de cambios en la producción iónica mediante la radiación cósmica (que está anticorrelacionada con el ciclo solar [Tascione, 1994]), lo cual, a su vez, implicaría cambios en la conductividad atmosférica [Tinsley y Deen, 1991; Márquez, 1997]. En la literatura se reportan varios trabajos [ver, por ejemplo: Engfer y Tinsley, 1999; Lethbridge, 1990; Márquez, 1997] en los que se observa una posible conexión entre la actividad solar y respuestas en el sistema eléctrico de la atmósfera. En particular, con respecto a las tormentas eléctricas, se ha encontrado que la disminución en la radiación cósmica produce un aumento en la frecuencia de tormentas, mientras que el aumento en dicha radiación produce el efecto contrario [Lethbridge, 1990].

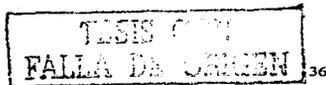
1.6 Ritmos biológicos y actividad solar

La cronobiología es la ciencia que investiga y cuantifica los fenómenos y mecanismos de la estructura de tiempo biológica. Las características rítmicas, los crones, cambian con la edad, género y riesgo de enfermedad [Breus et al., 1995]. Los organismos vivientes incorporan en su genoma una estructura de tiempo, que se puede suponer [Brown, 1960], ganaron originalmente a partir de los rasgos de su medio ambiente. Se ha especulado que los ritmos aparecieron a nivel celular o subcelular en las etapas iniciales de la evolución biológica. Los sistemas biológicos, actualmente, han alcanzado un grado muy alto de complejidad y los ritmos pueden encontrarse a todos los niveles organizacionales [Cornélissen et al., 1999; Halberg et al et al., 1991; Halberg et al., 2000]: molecular, subcelular, celular, orgánico, individual y poblacional. Los periodos observados de estos ritmos se sitúan desde fracciones de segundo hasta varios años. Se ha sugerido que la normalidad, es decir, la salud, puede definirse como la configuración apropiada de ritmos internos con relación al medio ambiente.

Uno de los objetivos de la cronobiología ha sido la búsqueda de posibles factores del medio ambiente responsables de la iniciación y modificación de los ritmos. Actualmente se aceptan varias respuestas terrestres a la actividad solar, por lo que se ha planteado que ésta también puede influir en los ritmos de los seres vivos [Breus et al., 1995]. Varios estudios se han hecho sobre este tema, enfocándose a la periodicidad del ciclo solar (11 años) o bien, encontrando que los ritmos de aproximadamente 7 días parecen no tener una influencia puramente social, sino quizás relacionada con la actividad solar.

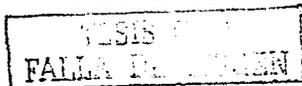
Con respecto a los estudios que han observado ciclos de 11 años, se tienen los siguientes:

- Se ha reportado que la población de saltamontes en Manitoba sigue un ciclo de 11 años [Criddle, 1932]



- Correlación entre la densidad de nidos de orugas en Nueva Jersey y el ciclo de actividad solar [Headlee, 1943].
- Periodicidad de 11 años en la variación de poblaciones de insectos, a partir de un registro de datos de los años 1600 a 1900 [MacLagen, 1940].
- Los anillos de los árboles exhiben una periodicidad de alrededor de 11 años en conexión con la actividad de rayos cósmicos que es inversa a la del ciclo solar [Eddy, 1976].
- Número de pieles de conejo obtenidas por los tramperos de la bahía de Hudson [Gauquelin, 1976].
- Floración de las campanillas de invierno en Francfort [Gauquelin, 1976].
- Se ha reportado una componente de periodicidad de aproximadamente 10 años en la altura de soldados austriacos [Weber et al., 1998].
- Se han observado ciclos de alrededor de 11 años en presión sanguínea para estudios clínicos de adultos en Estados Unidos [Portela et al., 1996].

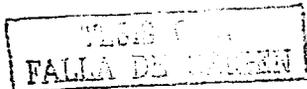
Con relación a los ritmos de 7 días, múltiplos y submúltiplos que, en general, se conocen como ritmos multiseptanos (ver Apéndice A), éstos se han encontrado en seres unicelulares que han existido en la Tierra por millones de años [Cornélissen et al., 1986; Schweiger et al., 1986], en insectos [Hayes et al., 1986; Marques et al., 1987], en fósiles [Panella, 1977]. Y con relación a los seres humanos, se han encontrado ritmos circaseptanos en episodios de rechazo que siguen a los trasplantes de hígado o corazón en una operación que consiste en un único estímulo que no lleva información intrínseca alguna de periodos de 7 días [De Vecchi et al., 1981], en la presión sanguínea de recién nacidos [Cornélissen et al., 1987], en este segundo caso, es importante observar que la fisiología de un bebé prematuro puede ayudarnos a conocer lo que pasa en la evolución de la vida terrestre en términos de nuestra estructura del tiempo. También se han estudiado ritmos circaseptanos y circasemiseptanos más dramáticamente en morbilidad y mortalidad [Halberg et al., 1991 y referencias incluidas]. El fenómeno social no es necesariamente el causante de muertes súbitas, dado que las incidencias en días entre semana y en vacaciones son comparables, además que se ha encontrado, en algunos casos, dependencia con parámetros solares o bien con relación a las fases del ciclo solar. A continuación se



presentan algunos estudios que se han relacionado con la actividad solar, y que, en cierta forma, han servido de antecedentes para este trabajo de tesis:

- Relación del número de llamadas por infartos al miocardio en Moscú y el índice geomagnético Kp, ambos factores, mostrando aproximadamente las mismas periodicidades correspondientes a alrededor de 3.5, 7, 14 y 28 días [Breus et al., 1995].
- Se han encontrado periodicidades circaseptanas y circasemiseptanas en patologías como infarto al miocardio, embolia cerebral, hipertensión, asma, muerte súbita, enfermedades psiquiátricas, accidentes y epilepsia en estudios hechos con las poblaciones de Moscú [Villoresi et al., 1994a] y San Petersburgo [Villoresi et al., 1994b].
- Se ha visto que la incidencia de eventos de morbilidad cardiovascular en población mundial [Cornélissen et al., 1993] sigue patrones cercanos a una semana y media semana.
- Correlación entre presión sanguínea y ritmo cardiaco de recién nacidos con perturbaciones magnéticas locales medidas por el índice K [Syutkina et al., 1997].
- Correlación entre el ritmo cardiaco de una mujer adulta aislada de la sociedad por un año y Kp, para una periodicidad de 7 días [Halberg et al., 1998].
- Dependencia del número de infartos al miocardio en la República de Georgia, con las fases del ciclo solar [Khomeriki et al., 1998].

La proximidad entre periodicidades, ya sea, las correspondientes a 11 años, o los ritmos de carácter multiseptano tanto en parámetros médicos como solares, no necesariamente implican alguna conexión entre ellos, pero pueden implicar cierto grado de resonancia entre factores fisiológicos y heliogeofísicos, como ya se ha sugerido en la literatura [Breus et al., 1995], y ya ha sido comentado al principio de esta sección. Uno de los problemas más importantes en este contexto es la identificación del mecanismo físico que interviene en la interacción sol – salud humana (por ejemplo, infartos al miocardio). Con relación a lo anterior, se tienen trabajos [Dfáz Sandoval, 1999] que muestran una posible conexión a través de las tormentas eléctricas, cuyas ondas atmosféricas pueden repercutir en el comportamiento celular y cuyos resultados se extienden en esta tesis comparándolos con las geometrías celulares observadas en el cuerpo humano (ver Capítulo



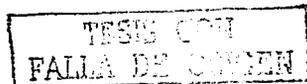
2); además de que se ha mostrado que las tormentas eléctricas pueden ser moduladas por la actividad solar (ver Sección 1.5.2 y referencias mencionadas).

1.7 Salud humana y actividad solar

La relación entre la influencia del medio ambiente sobre el comportamiento humano siempre ha sido vista como un área de interés general y especulación. La mayoría de los estudios médicos que se han hecho con relación al Sol se han enfocado a la influencia de la radiación ultravioleta sobre la piel [Fitzpatrick et al., 1997] que puede ocasionar quemaduras, cáncer y fotoenvejecimiento de la piel, principalmente. Y aún cuando se ha visto que la radiación ultravioleta varía con el ciclo de actividad solar [Haigh, 1996], no se han hecho estudios médicos en este contexto. Con relación a otras enfermedades, en las últimas décadas se han llevado a cabo varias investigaciones sobre los posibles daños que puede ocasionar la variabilidad solar en los sistemas vivos. Sobre este último tópico, en particular, con los seres humanos, se han mostrado varias correlaciones entre la incidencia de patologías de fuerte importancia clínica y variaciones notables en el campo geomagnético. Los principales resultados han sido vistos en enfermedades de carácter nervioso y cardiovascular, como se verá en esta breve revisión.

En el estudio de la relación entre la actividad solar y la salud humana, se han analizado datos de mortalidad y morbilidad por enfermedades del sistema nervioso y cardiovascular, admisiones de pacientes psiquiátricos y demás patologías, comparándolas con varios índices de actividad geomagnética y solar.

Los primeros trabajos fueron realizados por el naturalista ruso Chizhevski, en 1915, analizando las epidemias por cólera en Rusia y encontrando una relación con el ciclo solar [Halberg et al., 2000]. A partir de este trabajo, la comunidad científica rusa tomó el tema con gran interés y expectación, llegando a ser un área de estudio tradicionalmente popular [Dubrov, 1978 y referencias incluidas].

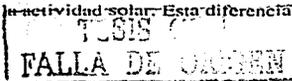


En cuanto a los trabajos occidentales, éstos se remontan al de Düll et al. [1935] quien analizó 40 000 casos en un periodo de 60 meses mostrando, gráficamente, una relación claramente observable entre la incidencia de patologías nerviosas y mentales y suicidios con 67 tormentas magnéticas. No obstante, los científicos occidentales tomaron esta área de estudio con muchas reservas y en los años de la década de los 60's y 70's se encontraron resultados, tanto a favor como en contra, de una relación entre la actividad solar y la salud humana. Los trabajos de Friedman y colaboradores [1963 y 1965] analizan las admisiones hospitalarias por enfermedades siquiátricas en función de los índices geomagnéticos a_k y a_p [Mayaud, 1980] y los decrementos Forbush en rayos cósmicos, encontrando correlaciones entre los datos médicos y de actividad geomagnética.

Feinleb et al. [1975] llevaron a cabo un análisis de mortalidad por enfermedad coronaria y embolia en los Estados Unidos, en relación a la actividad solar, medida con el índice Ap, con datos diarios de 1964-1966 y mensuales de 1964-1971, no encontrando asociación alguna entre actividad solar y los datos médicos, como se había reportado unos años antes por científicos rusos que sí encontraron relación entre el mismo tipo de datos [Gnevyshev y Novikova, 1972]. Un año después, Lipa et al. [Lipa et al., 1976] complementaron dicha investigación basados en 8 años de datos, en función de los índices Ap y K, y localmente, trabajando con los índices K y W, estudio que tampoco encontró ninguna relación. Desde dicho reporte, los científicos rusos han estudiado datos más precisos y de mayor longitud, colaborando incluso con científicos occidentales [Breus et al., 1995].

En 1979, Malin y Srivastava [1979], estudiaron la relación entre los ataques cardíacos y la actividad geomagnética con una base de datos de la India, encontrando asociaciones entre los ataques y dicha actividad. No obstante, un estudio similar fue llevado a cabo con datos del Reino Unido por Knox et al. [1979], con el mismo tipo de actividad geomagnética, no encontrando nada.

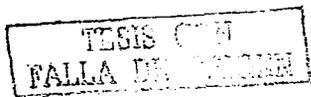
Se puede ver que un mismo tipo de estudio ha mostrado resultados diametralmente opuestos entre los parámetros médico-biológicos y la actividad solar. Esta diferencia radica



en el análisis de muestras estadísticamente inadecuadas, algunas de segunda mano, o bien un tratamiento estadístico no riguroso. Además, debido a que por esas décadas, y aún actualmente, no existe un mecanismo físico que explique la relación entre el Sol y la salud humana, no se tenía un criterio para escoger los índices geomagnéticos a los que el cuerpo humano pudiera presentar una mayor sensibilidad; hoy en día, después de una gran cantidad de análisis, se ha visto que dos de los fenómenos heliogeofísicos relevantes en este contexto, y en particular para el caso de los infartos al miocardio, son la actividad geomagnética global medida por el índice Ap y los decrementos Forbush en rayos cósmicos [Villoresi et al., 1994a; Mendoza y Díaz Sandoval, 2000]. Otros factores que han influido en los diferentes resultados podrían ser la latitud geomagnética, las diferentes patologías estudiadas, en muchos casos no bien clasificadas, y, como se ha mencionado últimamente en la literatura, la fase del ciclo solar [Khomeriki et al., 1998; Pritsyna et al., 1998; Halberg et al., 2000].

Los trabajos de Villoresi et al. [1994a y b] tienen un tratamiento estadístico más riguroso, así como bases de datos de primera mano y con mayor confiabilidad. Ellos estudian varios tipos de patologías, entre las que se encuentran el infarto al miocardio, la embolia cerebral, la hipertensión arterial, el asma bronquial, la muerte súbita, perturbaciones del ritmo cardíaco, trauma automovilístico, epilepsia, alcoholismo y enfermedades psiquiátricas, con un total de más de 6 millones de casos. De todas estas enfermedades, las que presentaron una sensibilidad a la actividad solar fueron el infarto al miocardio, la embolia cerebral y los accidentes de tráfico.

En México se realizó un estudio enfocado únicamente a la morbilidad por infartos al miocardio, con 2290 datos tomados directamente de la fuente médica del Instituto de Cardiología, y con un tratamiento estadístico riguroso, encontrándose ciertas relaciones de tipo tendencia entre el aumento en la tasa de infartos con relación a los decrementos Forbush en rayos cósmicos [Díaz Sandoval, 1999; Mendoza y Díaz Sandoval, 2000]. Este trabajo antecede a la presente tesis, en donde, como se describirá en el Capítulo 4, se aumentó en gran medida el número de datos estudiados, abarcando las muertes por infarto al miocardio en todo el país durante un periodo de 4 años (ver Capítulo 4) y encontrando



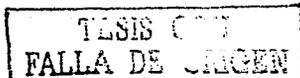
resultados que favorecen la hipótesis de la relación entre la actividad solar y la salud humana (ver Capítulos 4 y 5).

Entre otras investigaciones que recientemente han encontrado que la actividad solar puede afectar a la salud humana, se encuentra un estudio de 125 205 infartos al miocardio cubriendo tres ciclos solares, realizado en Minesota [Cornélissen et al., 1999], que encuentra un exceso de 220 muertes por infartos al miocardio en tiempos de alta actividad con relación a tiempos de mínima actividad solar. Así mismo, existen investigaciones con depresiones [Kay, 1994] y suicidios [StoupeI et al., 1995] que parecen responder a la actividad geomagnética. Además, se ha reportado que la función cardiovascular de los cosmonautas en la estación MIR cambia durante periodos de tormentas geomagnéticas [Baevsky et al., 1997].

El hallazgo de periodicidades cercanas en el índice geomagnético Kp y los infartos al miocardio, entre otras patologías [Breus et al., 1995], también apoya la hipótesis de una relación entre la actividad solar y la salud humana. La actividad solar mediante las tormentas geomagnéticas y/o los rayos cósmicos, directamente o a través de otros factores físicos del medio ambiente, podría disparar los infartos al miocardio en los humanos [Halberg et al., 2000], por mecanismos que pudieran involucrar la variabilidad cardiaca, el sistema neuroendocrino [Vollrath et al., 1975; Semm et al., 1980; Welker et al., 1983; Sánchez de la Peña et al., 1986, 1989] y un organismo en un estado de alta repuesta no lineal [Polk, 1994]. En el caso particular de los infartos al miocardio, puede haber varias clases de asociaciones entre muertes por infarto al miocardio y actividad solar: efectos de corto término (asociados a decrementos Forbush, por ejemplo) y efectos a largo término que proporcionen claros excesos de muertes durante años de alta actividad solar.

1.8 Resumen del capítulo

En este capítulo se describieron los aspectos generales de las relaciones entre la actividad solar y la salud humana. Se mostró que las relaciones solares terrestres tienen sus

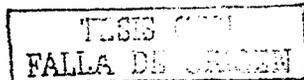


antecedentes en los trabajos de Sabine, en 1852, al observar la correlación entre la actividad geomagnética y el ciclo de manchas solares. Mientras que las relaciones entre el Sol y la salud humana fueron propuestas por vez primera por el naturalista ruso Chizhevski, quien encontró una relación entre epidemias de cólera en Rusia y el ciclo de actividad solar.

Se pudo apreciar el entorno de las relaciones solares terrestres, que comienza desde las manifestaciones de la actividad solar en las distintas capas del Sol, que luego viajan a lo largo del medio interplanetario a través del viento solar y llegan a la magnetósfera terrestre, produciendo alteraciones en el campo geomagnético y en la llegada de los rayos cósmicos a la Tierra. Se vieron las características generales del Sol, el medio interplanetario, la magnetósfera, las perturbaciones geomagnéticas y los rayos cósmicos.

Se revisaron también los aspectos generales del comportamiento de la atmósfera con relación a su actividad eléctrica que, según se discutió, podría estar involucrada en el mecanismo de interacción entre la actividad solar y la salud humana, pero esto último será visto con mayor detalle en el siguiente capítulo.

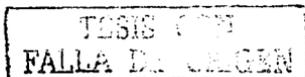
En las Secciones 1.6 y 1.7 se presentaron algunos trabajos antecedentes a la investigación realizada en esta tesis doctoral, en donde se observan varios sistemas biológicos que se han relacionado con la actividad del Sol, sobre todo por la cercanía entre períodos biológicos (de comportamiento, variación poblacional, floración, características físicas, etc.) y los ciclos de actividad solar. Además se revisaron y discutieron varios estudios que han encontrado relación entre parámetros heliogeofísicos y varias patologías del tipo cardíaco o mental en individuos enfermos, o parámetros médico-biológicos (presión sanguínea y ritmo cardíaco) en individuos sanos.



Capítulo 2

Influencia de la radiación electromagnética de fenómenos naturales sobre células de diferentes geometrías y tamaños

En el capítulo anterior se hizo una revisión general de los aspectos generales de las Relaciones Sol-Salud Humana, estudiando varias cuestiones involucradas en dicho tema, entre las que se mencionó que el posible mecanismo de interacción entre la actividad solar y algunas de las patologías que parecen estar influenciadas por ella (infartos al miocardio, así como otras enfermedades de tipo cardíaco y mental) podría estar relacionado con la actividad electromagnética en nuestro medio ambiente (ver Secciones 1.5 y 1.6). En este capítulo se estudia con mayor detalle si la radiación electromagnética puede afectar a los sistemas biológicos con base en un modelo celular simplificado, por lo que se revisan las geometrías celulares existentes en el cuerpo humano, así como los tejidos u órganos a los que pertenecen, con el objetivo de aproximar lo más posible, dentro de las limitaciones que



se explican en el modelo, los resultados obtenidos a la realidad del complicado sistema biológico humano. Y también con la meta en mente, de apoyar la hipótesis planteada en la presente tesis, sobre una conexión entre la actividad solar y los infartos al miocardio.

2.1 Geometrías y tamaños celulares en el ser humano

La variedad de formas celulares es muy vasta y sólo en primera aproximación se asemejan a figuras geométricas regulares. En esta sección se hace un compendio de varias de las células que constituyen el cuerpo humano, con relación a los tejidos o sistemas a los que pertenecen, y sus formas se ajustan a cuatro geometrías regulares: célula cúbica, tipo prisma cuadrangular, esférica y cilíndrica.

En el ser humano, las células tienen dimensiones que van desde los 10^{-6} m hasta 10^{-4} m, siendo en promedio de 10^{-5} m [Salamanca, 1993] y formas muy variadas. Dichas formas pueden agruparse en las siguientes categorías [Cormack, 1988; Ganong, 1990; Villec, 1981]:

- Cúbica.

En esta categoría pueden incluirse a las células del epitelio cúbico simple (figura 2.1b) y de transición (figura 2.1e), que constituyen el tejido epitelial, el cual recubre casi todas las superficies del cuerpo, y cuya función más evidente es la de proteger el tejido conectivo que recubren. En esta geometría, también pueden incluirse las células ependimarias que forman parte de la neuroglia, la cual es el sostén interno de la sustancia del encéfalo y médula espinal (sistema nervioso central).

- Prisma cuadrangular.

Las células del epitelio no plano ni cúbico se aproximan a este tipo de geometría, como puede verse en las figuras 2.1a, 2.1d, 2.1f y 2.1g.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

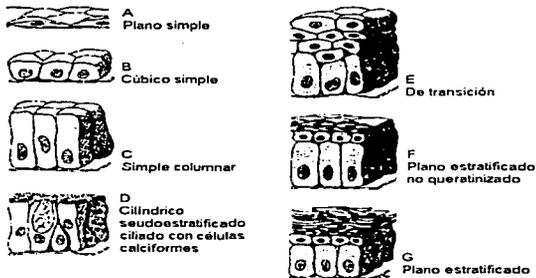


Fig. 2.1. Células del tejido epitelial, que constituyen membranas que recubren casi todas las superficies del cuerpo humano [Cormack, 1988].

- **Esférica.**

Puede verse que este tipo de geometría se aproxima a la forma de las células plasmáticas (ver figura 2.2) cuya función clave es la adquisición de inmunidad. Estas células pertenecen al tejido conectivo laxo (tejido que se encuentra en casi todas las partes del cuerpo y proporciona sostén a vasos sanguíneos y nervios de todos los tamaños) y también son muy numerosas en el tejido linfático (representado por un grupo pequeño de órganos y tejidos consistentes en: el timo, folículos linfoides, ganglios linfáticos y bazo). También, otras células (ver figura 2.2) del tejido conectivo laxo, como son las células cebadas y los adipocitos se pueden aproximar a una geometría esférica, aunque, cuando las cebadas se encuentran en el tejido conectivo normal denso, tienden a adquirir forma cilíndrica.

Los cuerpos neuronales (ver figura 2.3), entre otras formas, pueden ser esféricos. Y también los óvulos se pueden aproximar a esta geometría (ver figura 2.4a).

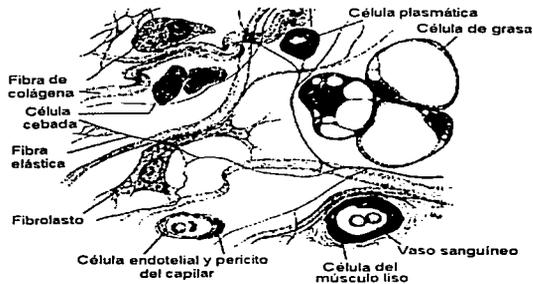


Fig. 2.2. Representación esquemática de las células y fibras del tejido conectivo laxo, tejido que se encuentra en casi todas las partes del cuerpo y proporciona sostén a vasos sanguíneos y nervios de todos los tamaños [Cormack, 1988].

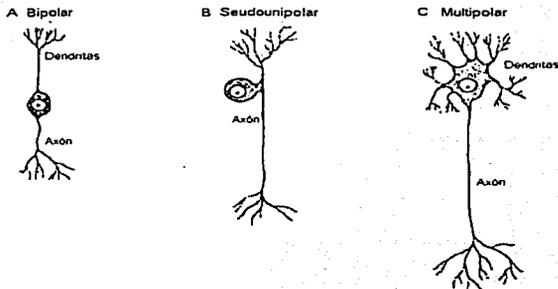


Fig. 2.3. Dibujos que muestran los tres tipos principales de neuronas (unidad estructural y funcional del sistema nervioso) clasificados con base en su forma celular, de acuerdo a sus prolongaciones citoplásmicas (la más ancha se denomina axón). A) Unipolares (poco frecuentes), si sólo tienen una prolongación. B) Bipolares, que cuentan con dos prolongaciones. C) Multipolares, las cuales tienen más de dos prolongaciones. Los cuerpos neuronales pueden ser esféricos, aplanados, ovoides o piramidales, con dimensiones de 4 - 135µm de diámetro [Cormack, 1988].

TESIS CON
FALLA DE CENSURAS

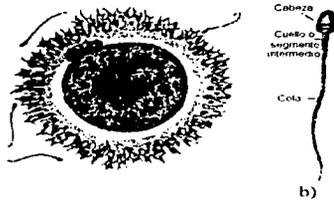


Fig. 2.4. Células reproductoras. a) Óvulo. b) Espermatozoide [Villegas, 1981]

- Cilíndrica.

Las células del epitelio cilíndrico y de transición que forman parte del tejido epitelial (figura 2.1d y 2.1e) podrían aproximarse a una geometría cilíndrica, o bien a un prisma cuadrangular, como ya se había visto antes. Se había visto también, que las células cebadas adoptan una forma cilíndrica cuando se encuentran en el tejido conectivo normal denso. Los fibroblastos (ver figura 2.2) que producen las fibras y la sustancia intersticial amorfa de los tejidos conectivos normales, pueden presentar forma cilíndrica durante la etapa en que producen activamente sustancias intercelulares. Las células osteógenas, que están presentes en toda la superficie del hueso vivo y también llenan las cavidades de los huesos, son cilíndricas y pequeñas. Las células endometriales también tienen forma cilíndrica, o cúbica, como ya se había visto. Se puede ver en la figura 2.5 que las fibras musculares del músculo estriado y cardíaco también adoptan geometrías cilíndricas.

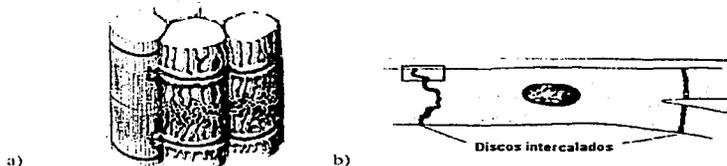


Fig. 2.5. Células del tejido muscular. a) Fibra muscular del músculo estriado [Cormack, 1988]. b) Célula del músculo cardíaco [Ganong, 1990].

TESIS CON
FALLA DE COPIEN

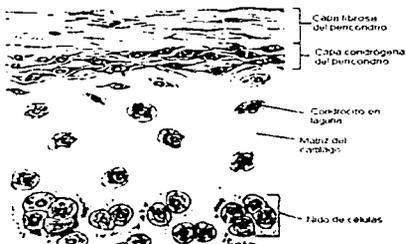
- Ovoide.

Las células cebadas (figura 2.2) y los óvulos (figura 2.4a) se aproximaron a una geometría esférica, sin embargo, en la mayoría de los casos bien pudieran representarse mejor por formas ovoideas.

- Ovoides aplastadas.

A esta forma se asemejan las células endoteliales (figura 2.2), que revisten todo el sistema circulatorio, formando un epitelio plano continuo denominado endotelio, teniendo como importante función la de facilitar el intercambio de sustancias a través de las paredes capilares y los condrocitos (figura 2.6a) que forman parte del llamado cartilago hialino.

a)



b)



Fig. 2.6. Células de los cartilagos. a) Hialino, b) Elástico [Cormack, 1988]

- De disco o redondas.

Las células del epitelio plano simple (figura 2.1a) recaen en este tipo de geometría, así como algunas del epitelio plano estratificado queratinizado (figuras 2.1f y 2.1g). Los eritrocitos o glóbulos rojos tienen forma de discos bicóncavos con un diámetro de

TESIS COT
FALLA DE ORENNEN

7.2 μ m (figura 2.7). También se aproximan a esta forma, otras células constituyentes de la sangre, como son los leucocitos o glóbulos blancos (basófilos, linfocitos, monocitos, ver figura 2.8) y las plaquetas (figura 2.9), y las precursoras de las células sanguíneas, como son las hematopoyéticas. Los osteoblastos (figura 2.10), pertenecientes al tejido óseo tienen formas que varían entre redondas y poligonales, su función principal es sintetizar y secretar las macromoléculas orgánicas de la matriz ósea. Los osteocitos, que son más pequeños que los osteoblastos y mantienen la matriz ósea, también asumen formas de disco. Los macrófagos, del tejido conectivo laxo van de una redonda a una ovalada o angular. Y, por último, ya se ha visto, que entre las geometrías que pueden adoptar los cuerpos neuronales (ver figura 2.3), también se halla la redonda plana.

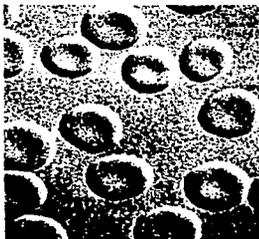


Fig. 2.7. Eritrocitos observados mediante el microscopio de interferencia [Cormack, 1988].

- Estrellada.
A este tipo de forma se ajustan dos tipos de células del sistema nervioso: las neuronas (ver figura 2.3c) y los astrocitos (figura 2.11), estos últimos forman parte de la neuroglia (sostén interno de la sustancia del encéfalo y médula espinal)
- De formas irregulares.
Entre las células que presentan formas geométricas no definidas, se encuentran los pericitos (células del tejido conectivo que poseen largas y delgadas extensiones del

citoplasma y se ubican en la parte inmediatamente exterior al endotelio, dispersas a lo largo del curso de los vasos), fibroblastos (ya se habfa visto que son células que producen las fibras y la sustancia intersticial amorfa de los tejidos conectivos normales, y sólo durante su etapa activa pueden presentar forma cilíndrica), eritrocitos poiquilocitos (un tipo de glóbulo rojo que adopta formas caprichosas), leucocitos neutrófilos (células del torrente sanguíneo que se muestran en la figura 2.8a, realizan una función clave en la reacción inflamatoria aguda, eliminando las bacterias infecciosas, mediando la inflamación y contribuyendo a formar pus), osteoclastos (células multinucleadas que forman parte del tejido óseo, de gran tamaño y forma variable a causa de su gran motilidad) y los espermatozoides (ver figura 2.4b).

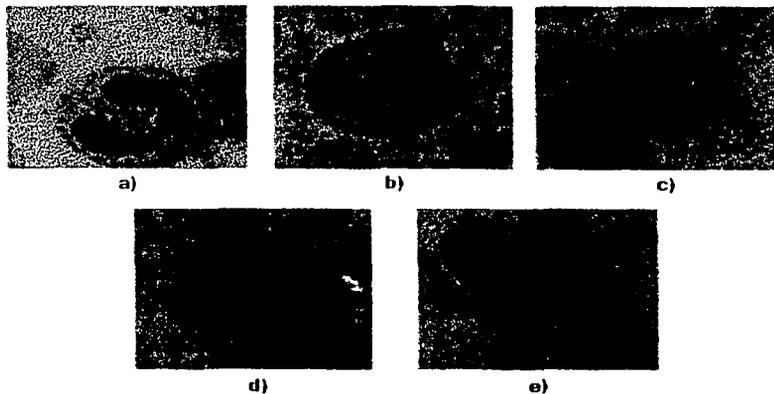
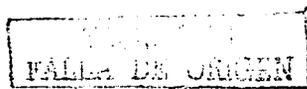


Fig. 2.8. Los 5 tipos de leucocitos o glóbulos blancos, según sus características de tinción específicas, su morfología nuclear y sus funciones respectivas. a) Neutrófilo. b) Eosinófilo. c) Basófilo. d) Monocito e) Linfocito (Cormack, 1988).



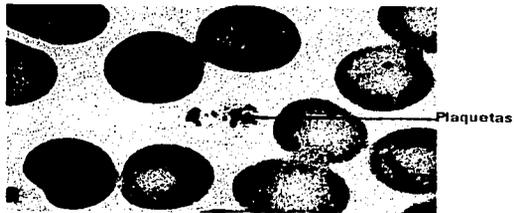


Fig. 2.9. Plaquetas sanguíneas en comparación con eritrocitos [Cormack, 1988].



Fig. 2.10. Microfotografía del perostio cerca de una fractura, en donde se muestran los osteoblastos [Cormack, 1988].

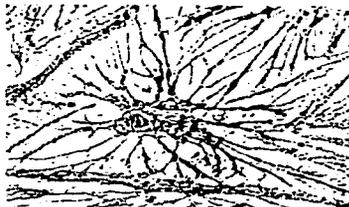
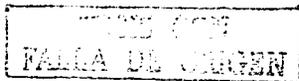


Fig. 2.11. Astrocito, célula que forma parte de la neuroglia, que es el sostén interno de la sustancia del encéfalo y médula espinal (sistema nervioso central) [Cormack, 1988].



En este trabajo sólo se escogieron las siguientes geometrías para estudiar la interacción entre radiación electromagnética y diferentes células:

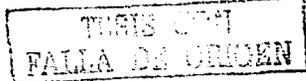
- Célula cúbica.- Que incluye las células de forma cúbica.
- Célula tipo prisma cuadrangular.- Que incluye las células tipo prisma alargadas o acortadas, ya sea con cara cuadrada o hexagonal y pudiera aproximarse a células con cara circular, y de formas de disco.
- Célula esférica.- Que incluye las células de forma esférica y pudiera aproximarse a células ovoides y a los cuerpos celulares de las de forma estrellada.
- Célula cilíndrica.- Que incluye las células cilíndricas y pudiera aproximarse a células con cara hexagonal, además de las células en forma de disco.

2.2 Modelo celular

En la literatura se reporta que los campos electromagnéticos pueden afectar a los sistemas biológicos [ver por ejemplo Liburdy 1995 y referencias incluidas]. Dado que los organismos vivos están formados por electrolitos que conducen las corrientes eléctricas, podría ser plausible que las fluctuaciones geomagnéticas puedan inducir corrientes en su interior, que de ser mayores o iguales a las existentes en el sistema biológico, podrían producir algún efecto perturbador. El modelo que a continuación se presenta, se basa en otro previamente desarrollado [Díaz-Sandoval 1999; Durand-Manterola, Mendoza y Díaz-Sandoval, 2003], en el que se considera una célula en contacto directo con el ambiente, y que mostró que dichos campos pudieran afectar la fisiología celular, por inducir corrientes mayores que las propias corrientes celulares.

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

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



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

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 (1) y (2) están dadas por [Reitz y Milford, 1981]:

$$\bar{B} = B_0 e^{i(\alpha z - \omega t)} e^{-\beta z} \hat{j} \quad (2.3)$$

$$\bar{E} = E_0 e^{i(\alpha z - \omega t)} e^{-\beta z} \hat{i} \quad (2.4)$$

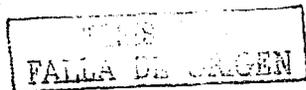
donde \bar{E} está en la dirección x , \bar{B} está en la dirección y , E_0 y B_0 son las amplitudes de los campos eléctrico y magnético fuera de la célula, $\omega = 2\pi\nu$ es la frecuencia angular, ν es la frecuencia de la onda y α y β están dados por:

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

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

Sin tomar en cuenta la dirección del vector, podemos reescribir a (4) como:

$$E = E_0 e^{-\beta z} [\cos(\alpha z - \omega t) + i \text{sen}(\alpha z - \omega t)] \quad (2.7)$$



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:

$$J = \sigma E_0 e^{-\beta z} \cos(\alpha z - \omega t) \quad (2.8)$$

2.3 Diferentes geometrías celulares: Desarrollo matemático

2.3.1 Célula cúbica

Si consideramos una célula cúbica de lado L (ver figura 2.12), 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:

$$I = \int_0^L L \sigma E_0 e^{-\beta z} \cos(\alpha z - \omega t) dz \quad (2.9)$$

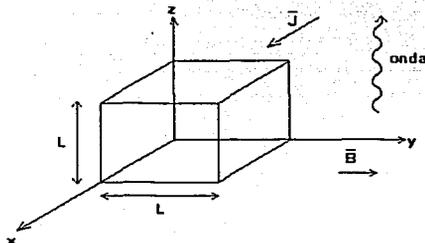


Fig. 2.12. Diagrama de la célula cúbica de lado L , en donde se muestra la onda electromagnética viajando en dirección z , la densidad de corriente en dirección x , y el campo magnético en dirección y .

TESIS FIN
FALLA DE ARGENT

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

$$I = \frac{L\sigma E_0}{\alpha^2 + \beta^2} \left\{ \cos\omega t \left[e^{-\beta t} (-\beta \cos(\alpha L) + \alpha \operatorname{sen}(\alpha L)) + \beta \right] + \operatorname{sen}\omega t \left[e^{-\beta t} (-\beta \operatorname{sen}(\alpha L) + \alpha \cos(\alpha L)) + \alpha \right] \right\} \quad (2.10)$$

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

$$I_{\max} = \frac{L\sigma E_0}{\alpha^2 + \beta^2} \cos \left(\arctan \frac{A}{B} \right) \left[B + \frac{A^2}{B} \right] \quad (2.11)$$

Donde A y B están dadas por:

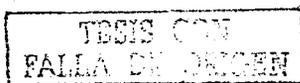
$$A = e^{-\beta L} (-\beta \operatorname{sen}(\alpha L) - \alpha \cos(\alpha L)) + \alpha \quad (2.12)$$

$$B = e^{-\beta L} (-\beta \cos(\alpha L) + \alpha \operatorname{sen}(\alpha L)) + \beta$$

Despejando E_0 de la ecuación (2.11), tenemos:

$$E_0 = \left[\frac{(\alpha^2 + \beta^2) I_{\max}}{L\sigma \cos \left(\arctan \frac{A}{B} \right)} \right] \left[\frac{B}{B^2 + A^2} \right] \quad (2.13)$$

Considerando una célula inmersa en una capa de material conductor. E_0 es el campo eléctrico en la frontera célula-conductor y sea E_e el campo eléctrico exterior al conductor, es decir, en la frontera conductor-aire (ver figura 2.13).



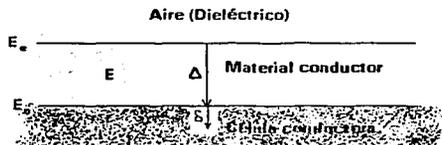


Fig. 2.13. Diagrama por capas de los campos eléctricos E_e (aire-conductor), E_c (conductor célula), en donde se indica el espesor del material conductor y la profundidad de penetración para la célula.

Para el campo eléctrico en el conductor, a una profundidad z de la superficie, se cumple [Reitz y Milford, 1981]:

$$E = E_e e^{-\beta z} \quad (2.14)$$

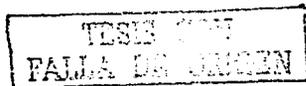
Para $z = \Delta$, donde Δ es la profundidad del conductor hasta llegar a la célula, tenemos:

$$E_c = E_e e^{-\beta \Delta} \quad (2.15)$$

O bien, dado que $\beta = 1/\delta$, donde δ es la profundidad de penetración y mide la profundidad a la cual el campo eléctrico decae a $1/e$ veces su valor en la superficie, podemos reescribir la ecuación (2.15) como:

$$E_c = E_e e^{-\frac{\Delta}{\delta}} \quad (2.16)$$

Como el aire es un dieléctrico, se tiene que la relación entre los campos eléctrico y magnético exteriores es:



$$E_r = \frac{B_r}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a}} \quad (2.17)$$

Donde ϵ_a y μ_a son la permitividad y permeabilidad del aire, respectivamente. Combinando las ecuaciones (2.17) y (2.16) se tiene que:

$$E_a = \frac{B_r}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a}} e^{-\frac{\Delta}{\delta}} \quad (2.18)$$

Combinando las ecuaciones (2.18) y (2.11) tenemos:

$$I_{\max} = \frac{L\sigma B_r e^{-\frac{\Delta}{\delta}}}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a} (\alpha^2 + \beta^2)} \cos\left(\arctan \frac{\Lambda}{B}\right) \left[B + \frac{\Lambda^2}{B}\right] \quad (2.19)$$

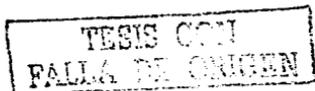
Despejando el campo magnético externo, tenemos:

$$B_r = \frac{\epsilon_a \mu_a (\alpha^2 + \beta^2) I_{\max} e^{-\frac{\Delta}{\delta}}}{L\sigma \cos\left(\arctan \frac{\Lambda}{B}\right)} \left[\frac{B}{B^2 + \Lambda^2}\right] \quad (2.20)$$

2.3.2 Célula tipo prisma cuadrangular

Consideremos, ahora, una célula con forma de prisma rectangular, de dimensiones L_1 , L_2 , y L_3 (ver figura 2.14), siendo una de los lados (L_2) paralelo al eje z , que, recordando, es la dirección en la que viaja la onda electromagnética. La corriente total se obtiene mediante la siguiente integral:

$$I = \int_0^{L_2} L_1 \sigma E_a e^{-\beta z} \cos(\alpha z - \omega t) dz \quad (2.21)$$



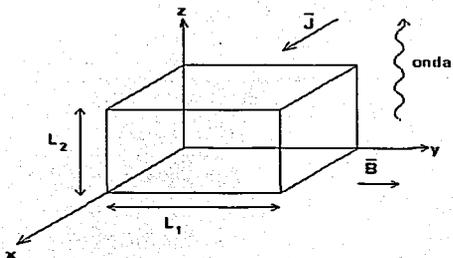


Fig. 2.14. Diagrama de la celda tipo prisma cuadrangular con dos de sus dimensiones: L_1 y L_2 , en donde se muestra la onda electromagnética viajando en dirección z , la densidad de corriente en dirección x , y el campo magnético en dirección y .

Resolviendo la integral y evaluando en los límites de integración se obtiene la expresión para la corriente:

$$I = \frac{L_1 \sigma E_0}{\alpha^2 + \beta^2} \left\{ \cos \omega t \left[e^{-\beta z} (-\beta \cos(\alpha L_2) + \alpha \sin(\alpha L_2)) + \beta \right] + \right. \\ \left. \sin \omega t \left[e^{-\beta z} (-\beta \sin(\alpha L_2) - \alpha \cos(\alpha L_2)) + \alpha \right] \right\} \quad (2.22)$$

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

$$I_{\text{máx}} = \frac{L_1 \sigma E_0}{\alpha^2 + \beta^2} \cos \left(\arctan \frac{C}{D} \right) \left[D + \frac{C^2}{D} \right] \quad (2.23)$$

TESIS CON
FALLA DE COPIEN

Donde C y D están dadas por:

$$C = e^{-\beta L_2} (-\beta \operatorname{sen}(\alpha L_2) - \alpha \operatorname{cos}(\alpha L_2)) + \alpha \quad (2.24)$$

$$D = e^{-\beta L_2} (-\beta \operatorname{cos}(\alpha L_2) + \alpha \operatorname{sen}(\alpha L_2)) + \beta$$

Despejando E_n de la ecuación (2.23), tenemos:

$$E_n = \left[\begin{array}{c} (\alpha^2 + \beta^2) I_{\max} \\ L_1 \sigma \operatorname{cos} \left(\arctan \frac{C}{D} \right) \end{array} \right] \left[\frac{D}{D^2 + C^2} \right] \quad (2.25)$$

Haciendo uso de los mismos criterios para la célula cúbica inmersa en un material conductor, podemos sustituir combinar las ecuaciones (2.18) y (2.23), de donde obtenemos:

$$I_{\max} = \frac{L_1 \sigma B_e e^{-\Delta}}{\epsilon_u \mu_u (\alpha^2 + \beta^2)} \operatorname{cos} \left(\arctan \frac{C}{D} \right) \left[D + \frac{C^2}{D} \right] \quad (2.26)$$

Despejando el campo magnético externo, tenemos:

$$B_e = \frac{\epsilon_u \mu_u (\alpha^2 + \beta^2) I_{\max} e^{\Delta}}{L_1 \sigma \operatorname{cos} \left(\arctan \frac{C}{D} \right)} \left[D + \frac{C^2}{D} \right] \quad (2.27)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3.3 Célula esférica

En la figura 2.15 se muestra el caso para un modelo esférico de célula de radio R . Para encontrar la corriente I , se consideran las coordenadas esféricas, por lo que la integral del producto punto de la densidad de corriente y la diferencial de área queda como:

$$I = \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \sigma E_n R^2 e^{-\beta R \cos \theta} \cos(\alpha R \cos \theta - \omega t) \sin^2 \theta \cos \phi \, d\theta \, d\phi \quad (2.28)$$

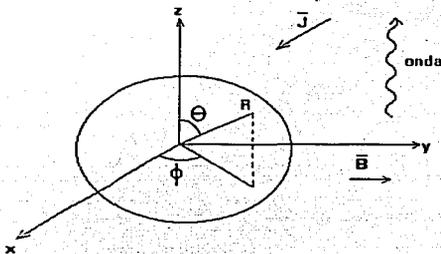
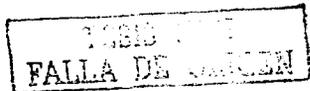


Fig. 2.15. Diagrama de la célula esférica de radio R , en donde se muestra la onda electromagnética viajando en dirección x , la densidad de corriente en dirección x , y el campo magnético en dirección y .

La integral no se puede resolver por los métodos comunes de integración y hasta hoy no se han reportado resultados para integrales parecidas [www.integral.com] por lo que se optó por resolverla mediante aproximación de series a 3er. Orden. Derivando con respecto al tiempo e igualando a cero, se obtiene que la corriente pico es:

$$I_{\text{máx}} = \frac{2\sigma E_n R}{3} \cos \left(\arctan \frac{F}{G} \right) \left[G + \frac{F^2}{G} \right] \quad (2.29)$$



Donde F y G están dadas por:

$$F = 2\alpha\beta R^3 \quad (2.30)$$

$$G = -7R - (\alpha^2 - \beta^2)R^3$$

Utilizando los criterios, ya vistos en las dos geometrías anteriores, para la célula inmersa en una capa de material conductor, podemos combinar las ecuaciones (2.18) y (2.29), de donde obtenemos:

$$I_{\max} = \frac{2R\sigma B_e e^{\delta}}{3 \cdot \epsilon_a \mu_a} \cos\left(\arctan \frac{F}{G}\right) \left[G + \frac{F^2}{G}\right] \quad (2.31)$$

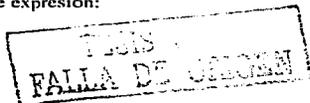
Despejando el campo magnético externo, tenemos:

$$B_e = \frac{3 \cdot \epsilon_a \mu_a I_{\max} e^{\delta}}{2R\sigma \cos\left(\arctan \frac{F}{G}\right)} \left[\frac{G}{F^2 + G^2}\right] \quad (2.32)$$

2.3.4 Célula cilíndrica

Para el caso de la célula cilíndrica se pueden considerar dos orientaciones para el cilindro a estudiar, de longitud L y radio R .

En la figura 2.16 se muestra un primer caso, en donde el eje del cilindro es paralelo al eje z , y también se dan a conocer las direcciones de los campos eléctricos y magnéticos, y la dirección en la que viaja la onda. Para el cálculo de la corriente I , se hace uso de las coordenadas cilíndricas, resultando la siguiente expresión:



$$I = \int_0^{L/2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} R \sigma E_0 e^{-\beta z} \cos(\alpha z - \omega t) \cos \phi \, d\phi \, dz \quad (2.33)$$

Utilizando la identidad trigonométrica:

$\cos(\alpha z - \omega t) = \cos \alpha z \cos \omega t - \sin \alpha z \sin \omega t$, se puede reescribir la ecuación (2.33), de manera que los resultados de las integrales indefinidas que se obtienen, se encuentran en tablas.

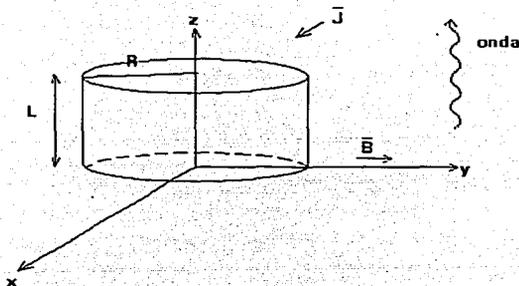


Fig. 2.16. Diagrama de la célula cilíndrica de radio R y longitud L, en donde se muestra la onda electromagnética viajando en dirección z, la densidad de corriente en dirección x, y el campo magnético en dirección y.

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$I_{\max} = \frac{2R\sigma E_0}{\alpha^2 + \beta^2} \cos\left(\arctan \frac{H}{K}\right) \left[\frac{H^2}{K} + K\right] \quad (2.34)$$

Donde H y K están dadas por:

$$H = -e^{-\beta L} (\alpha \cos \alpha L + \beta \operatorname{sen} \alpha L) + \alpha \quad (2.35)$$

$$K = e^{-\beta L} (\alpha \operatorname{sen} \alpha L - \beta \cos \alpha L) + \beta$$

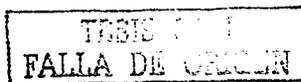
Haciendo uso de los mismos criterios que se han utilizado en las geometrías anteriores, para la célula inmersa en una capa de material conductor, combinamos las ecuaciones (2.18) y (2.29), de donde obtenemos:

$$I_{\max} = \frac{2R\sigma B_0 e^{\delta}}{(\alpha^2 + \beta^2) \sqrt{\epsilon_a \mu_a}} \cos\left(\arctan \frac{H}{K}\right) \left[\frac{H^2}{K} + K\right] \quad (2.36)$$

Despejando el campo magnético externo, tenemos:

$$B_0 = \frac{\epsilon_a \mu_a (\alpha^2 + \beta^2) I_{\max} e^{\delta}}{2R\sigma \cos\left(\arctan \frac{H}{K}\right)} \left[\frac{K}{H^2 + K^2}\right] \quad (2.37)$$

El segundo caso a tratar, se muestra en la figura 2.17, en la que para facilitar los cálculos se ha considerado una rotación de los ejes originales, en donde el eje del cilindro es paralelo al eje z , las direcciones del campo eléctrico y la densidad de corriente eléctrica están en el sentido positivo del eje z , la dirección en la que viaja la onda está en el sentido positivo del eje y , y el campo magnético está orientado en el sentido positivo del eje x . Para el cálculo de la corriente I , se hace uso de las coordenadas cilíndricas, resultando la siguiente expresión:



$$I = \int_0^{2\pi} \int_0^R \sigma E_{\theta} \rho e^{-j\alpha \rho \sin\phi} \cos(\alpha \rho \sin\phi - \omega t) d\rho d\phi \quad (2.38)$$

La integral no se puede resolver por los métodos comunes de integración y hasta hoy no se han reportado resultados para integrales parecidas [www.integral.com], así pues, se optó por resolverla mediante aproximación de series a 3er. Orden, como se hizo con la ecuación (2.28). Derivando la expresión obtenida con respecto al tiempo e igualando a cero, se obtiene que la corriente pico es:

$$I_{\text{máx}} = \frac{\sigma E_0}{6} \cos\left(\arctan \frac{M}{N}\right) \left[N + \frac{M^2}{N}\right] \quad (2.39)$$

Donde M y N están dadas por:

$$M = 2\alpha\beta R^4 \quad (2.40)$$

$$N = 14R^2 + (\beta^2 - \alpha^2)R^4$$

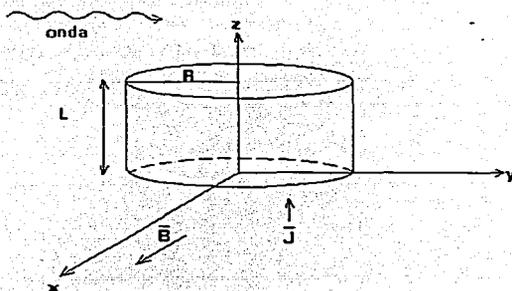


Fig. 2.17. Diagrama de la célula cilíndrica de radio R y longitud L , en donde se muestra la onda electromagnética viajando en dirección y , la densidad de corriente en dirección z , y el campo magnético en dirección x .

Una vez más se hace uso de los mismos criterios que se han utilizado, para la célula inmersa en una capa de material conductor, en las geometrías anteriores. Así pues, combinando las ecuaciones (2.18) y (2.40), se obtiene:

$$I_{\max} = \frac{\sigma B_r e^{-\Delta}}{6 \cdot \epsilon_u \mu_u} \cos \left(\arctan \frac{M}{N} \right) \left[N + \frac{M^2}{N} \right] \quad (2.41)$$

Despejando el campo magnético externo, tenemos:

$$B_r = \frac{6 \cdot \epsilon_u \mu_u I_{\max} e^{\Delta}}{\sigma \cos \left(\arctan \frac{M}{N} \right) \left[N + \frac{M^2}{N} \right]} \quad (2.42)$$

2.4 Diferentes geometrías celulares: Gráficas

El tamaño de una célula varía del orden 10^{-6} m a 10^{-4} m, siendo en promedio de 10^{-5} m [Salamanca, 1993]. Para la corriente máxima se reporta un valor no mayor a 30pA [Berne y Levy, 1990], aunque la magnitud de la corriente de un solo canal iónico es del orden de 5pA [Schwan y Takashima, 1991] y como la conductividad y la permitividad dependen de la frecuencia, de [Schwan y Takashima, 1991] se obtuvieron los valores a distintas frecuencias. Por último, la permeabilidad magnética de la célula y la del aire se consideran la del vacío [Bennet, 1994; Reitz y Milford, 1981] $\mu = \mu_0 = \mu_u$.

Para cada geometría celular se sustituyen los valores pertinentes, lo cual se va describiendo en cada caso particular y se obtienen las gráficas para el comportamiento del campo magnético en función de la frecuencia.

TESIS CON
FALLA DE CUBIEN

Para amplitudes de campo menores que las de las curvas obtenidas, 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 muestran las amplitudes y frecuencias de los campos magnéticos producidos por las siguientes fluctuaciones geomagnéticas: las micropulsaciones, los silbidos y las ondas generadas por los rayos tendrían la amplitud de campo magnético requerida. Estos datos también se usan para hacer comparaciones entre los campos magnéticos requeridos para poder afectar a la célula de una forma particular en cada una de las siguientes secciones.

Para el caso particular de los rayos, la amplitud promedio del campo magnético de las ondas generadas por éstos, se puede calcular mediante la siguiente expresión [Uman, 1987]:

$$B_{prom} = \frac{\mu_0 v}{2\pi cd} I_p \quad (2.43)$$

donde d es la distancia horizontal de la descarga a tierra, c es la velocidad de la luz, μ_0 es la permeabilidad del vacío, v es la velocidad de regreso del trazo (*return stroke speed*), e I_p es la corriente pico en el trazo del rayo. Los valores medios para la corriente y la velocidad del trazo son: $I_p = 40$ kA y $v = 1.2 \times 10^8$ m/s [Uman, 1987]. Sustituyendo estos valores en la ecuación (2.43), y suponiendo una distancia de 50 km, diámetro en la que la mayoría de las ciudades o poblaciones pueden circunscribirse, se tiene que:

$$B_{prom} = 6.4 \times 10^{-8} \text{ T}$$

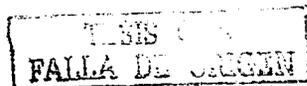


Tabla 2.1

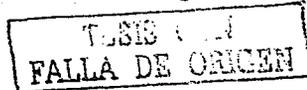
Frecuencias, periodos y amplitudes de las fluctuaciones del campo geomagnético

Variación	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)	Amplitud (T)
Secular del campo geomagnético	$\sim 10^{-9}$	$\sim 10^8$	$\sim 1 \times 10^{-8}$
Estacional del campo geomagnético	$\sim 10^{-8}$	$\sim 10^7$	$\sim 1 \times 10^{-8}$
Diarias del campo geomagnético	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^5$	5×10^{-8}
Tormentas geomagnéticas	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^5$	$\leq 1 \times 10^{-6}$
Diurna del campo geomagnético	1.16×10^{-5}	8.64×10^4	$\sim 2.5 \times 10^{-8}$
Perturbaciones ionosféricas	$\sim 10^{-3}$	$\sim 9 \times 10^2$	$\sim 1 \times 10^{-8}$
Micropulsaciones	$10^{-3} - 10^1$	$10^{-1} - 10^3$	$\sim 10^{-10}$ a 1Hz $\sim 3 \times 10^{-11}$ a 10Hz
Resonancias Schumann	$1 - 5 \times 10^1$	$2 \times 10^{-2} - 1$	10^{-12} a 8 Hz
Silbidos	$\sim 10^4$	$\sim 10^{-4}$	$2 \times 10^{-15} - 4 \times 10^{-14}$
Ondas electromagnéticas generadas por rayos	10^4	10^{-4}	3.2×10^{-8} a 100 km de distancia

2.4.1 Célula cúbica

Con las consideraciones mencionadas líneas arriba, se sustituyen los valores de 10^{-6} m, 10^{-5} m (célula promedio) y 10^{-4} m para la dimensión lateral del cubo L en la ecuación (2.20). Para la corriente y la profundidad Δ del conductor que rodea a la célula en los modelos estudiados, se consideran los valores de 30pA [Berne y Levy, 1990] y 10cm, respectivamente. En la gráfica de la figura 2.18 se muestran las curvas resultantes.

Se puede observar, en este modelo, que para células de dimensiones grandes ($L=10^4$ m), el campo magnético de los rayos, que se muestra en la gráfica, es mayor que los



generados por las propias células a 10^4 Hz, mientras que para el resto de los tamaños, los campos no son comparables. Se puede observar además que, para el resto de los fenómenos naturales que se presentaron en la tabla 2.1, el rango de frecuencias presentado no abarca algunos de dichos fenómenos (variaciones secular, estacional, diurna, diarias del campo geomagnético, tormentas geomagnéticas y perturbaciones ionosféricas), mientras que para el resto de los fenómenos naturales (silbidos, micropulsaciones y resonancias Schumann), es evidente que los campos producidos no son comparables con los de las células mismas.

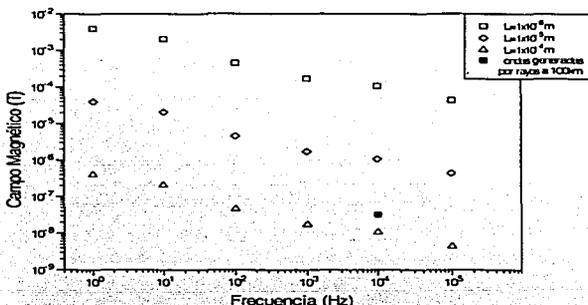


Fig. 2.18. Campo magnético en función de la frecuencia (escala logarítmica) a partir de la ecuación (2.20) para tres dimensiones celulares (L), según el modelo de célula cúbica, en comparación con campos magnéticos de las ondas electromagnéticas generadas por rayos.

2.4.2 Célula tipo prisma cuadrangular

Esta geometría es una generalización del caso anterior. De igual manera se consideraron los valores ya mencionados para los parámetros de la ecuación (2.27). Para las dimensiones de la célula tipo prisma cuadrangular se tomaron en cuenta las parejas de

TEBIS
FALLA DE ORCEN

números que se muestran en la gráfica de la figura 2.19, en donde se puede observar que se consideran proporciones de 1:2, y 1:10 para las longitudes de la célula de tamaño promedio (10^{-5} m) y para la célula pequeña (10^{-6} m). Se puede observar que en ningún caso, el campo magnético producido por los rayos es mayor que los campos propios de las células consideradas. Para el resto de los fenómenos naturales de la tabla 2.1, en esta geometría y en las subsiguientes, los campos magnéticos no son comparables a los celulares por no encontrarse dentro del intervalo de frecuencias estudiado, o bien por ser mucho menores.

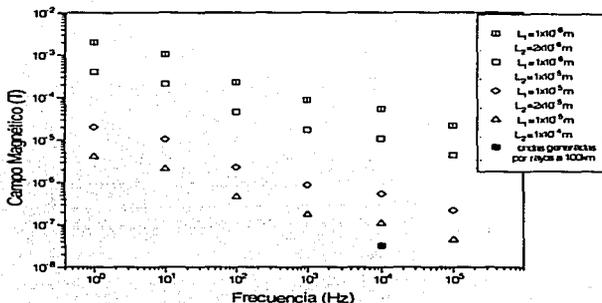


Fig. 2.19. Campo magnético en función de la frecuencia (escala logarítmica) a partir de la ecuación (2.27) para tres pares de dimensiones celulares (L_1 y L_2), según el modelo de célula tipo prisma cuadrangular, en comparación con campos magnéticos de las ondas electromagnéticas generadas por rayos.

2.4.3 Célula esférica

Sustituyendo los valores considerados en el modelo de la célula esférica, es decir en la ecuación (2.32), se obtiene la gráfica de la figura 2.20. En esta gráfica se puede apreciar

que el campo magnético de los rayos es mayor que los de las células grandes (10^{-4} m), mientras que para los demás tamaños, el campo magnético está por debajo de los campos propios celulares.

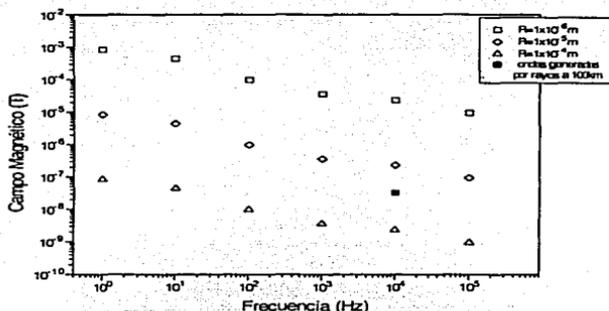


Fig. 2.20. Campo magnético en función de la frecuencia (escala logarítmica) a partir de la ecuación (2.32) para dimensiones celulares (R), según el modelo de célula esférica, en comparación con campos magnéticos de las ondas electromagnéticas generadas por rayos.

2.4.4 Célula cilíndrica

Para el caso de corriente perpendicular a la cara lateral del cilindro, se sustituyen los valores ya mencionados para los parámetros involucrados en la ecuación (2.37) y se obtiene la gráfica de la figura 2.21. Para este caso, se encontró que, a $\sim 10^4$ Hz, los rayos tienen campos mayores que los de las propias células para las de gran tamaño (10^{-4} m) y comparables a los de las células promedio (10^{-5} m) en el caso en que el largo del cilindro es 10 o más veces el diámetro de la cara circular.

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

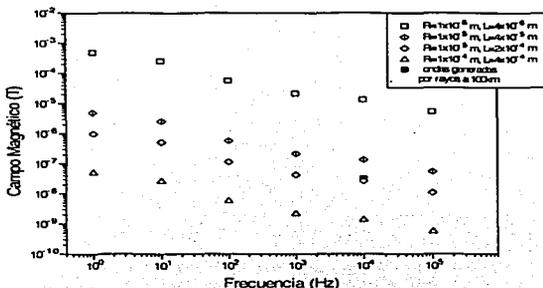


Fig. 2.21. Campo magnético en función de la frecuencia (escala logarítmica) a partir de la ecuación (2.37) para dimensiones celulares (R y L), según el modelo de célula cilíndrica, en comparación con campos magnéticos de las ondas electromagnéticas generadas por rayos.

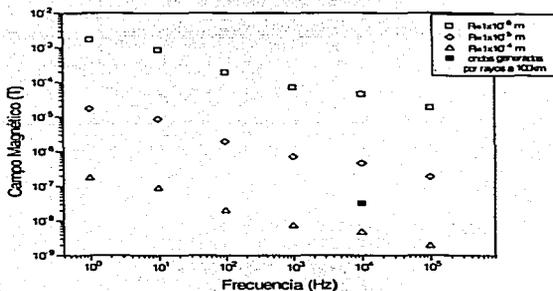


Fig. 2.22. Campo magnético en función de la frecuencia (escala logarítmica) a partir de la ecuación (2.37) para dimensiones celulares (R), según el modelo de célula cilíndrica, en comparación con campos magnéticos de las ondas electromagnéticas generadas por rayos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para el segundo caso, en el que la corriente es perpendicular a la cara circular del cilindro, se utiliza la ecuación (2.42), obteniendo la gráfica de la figura 2.22. Se puede ver que sólo para las células grandes (10^{-4} m), los campos de los rayos son mayores que los de las células mismas a $\sim 10^4$ Hz.

2.5 Relación entre tormentas eléctricas e infartos al miocardio

Algunos autores [Villoresi, 1994a, 1994b; Mendoza y Díaz-Sandoval, 2000] han reportado que para decrementos Forbush en rayos cósmicos, existe un incremento en los infartos al miocardio. Además, se ha explorado [Lethbridge, 1981, 1990] la posibilidad de que dichos decrementos Forbush pueden estar relacionados con la ocurrencia de rayos, mostrando un máximo en la frecuencia de tormentas en comparación con un mínimo del flujo de rayos cósmicos y viceversa.

Por otro lado, el problema de si los campos electromagnéticos pueden influir en la salud humana, ocasionando enfermedades como el cáncer ha sido bastante estudiado [Liburdy, 1995; Milham, 1998; Milham y Ossiander, 2001]. Estos estudios se han enfocado en la frecuencia del cableado de corriente (50 y 60 Hz). En particular, un estudio reciente sobre mortalidad en la población de niños estadounidenses de 1920 a 1960 [Milham y Ossiander, 2001] sugiere que la leucemia infantil está asociada con niveles altos de electrificación residencial.

En el modelo de interacción entre campos electromagnéticos y células analizado en el presente capítulo, no se consideraron efectos resonantes de los campos electromagnéticos, aunque en la literatura se ha mostrado que dichos efectos de campos magnéticos externos interaccionan con los flujos iónicos de calcio y el comportamiento cerebral [Adey, 1980; Blackman et al., 1988], dependiendo de la frecuencia de modulación y no de la intensidad de la señal. Así pues, otros fenómenos naturales además de los rayos podrían ocasionar campos magnéticos que pudieran interactuar con la célula si se tomaran

en cuenta interacciones más complejas que las que aquí se han considerado. En este modelo también se ignoró la estructura celular (membrana, receptores, organelos, canales iónicos, etc.) por lo que otras características además del campo interno, tamaño y geometría celulares, podrían jugar un papel importante en la interacción entre campos magnéticos externos y las células.

Con las suposiciones y limitaciones del modelo estudiado, se ha visto que los rayos pueden producir campos magnéticos mayores o comparables con los de las propias células, dependiendo del tamaño y la geometría de las mismas. En particular, encontramos que las células de mayores dimensiones y de geometrías cúbicas, esféricas y cilíndricas son las más afectadas. En el tema de estudio del presente trabajo, las células musculares, quizá los miocitos, cuya forma es aproximadamente cilíndrica, podrían ser sensibles a la radiación electromagnética. Por último, no se propone que todos los seres vivos que residen en el área de acción de la radiación electromagnética producida por los rayos pueden desarrollar alteraciones en el funcionamiento celular, ya que las células tienen sus propios mecanismos de defensa y reparación, pero si éstos llegaran a fallar o bien estuvieran debilitados, la radiación electromagnética podría dar origen a alteraciones en el funcionamiento celular que puedan repercutir en la salud de las personas.

2.6 Resumen del capítulo

En este capítulo se propuso un modelo de interacción entre las células y la radiación electromagnética en el rango de 10^0 - 10^5 Hz.

Al inicio del capítulo se revisaron brevemente, diferentes formas celulares existentes en el cuerpo humano, las cuales se resumen en la tabla 2.2. Para el estudio del modelo de interacción, sólo se tomaron en cuenta las siguientes aproximaciones geométricas: células cúbica, tipo prisma cuadrangular, esférica y cilíndrica.

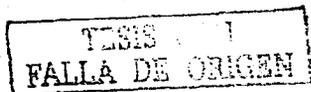


Tabla 2.2
Algunas geometrías celulares de células del cuerpo humano

Geometría	Células	Ubicación	Figuras
Cúbica	Del epitelio cúbico simple y de transición Ependimarias	Tejido epitelial Sistema nervioso	2.1b y 2.1e
Prisma cuadrangular	Del epitelio no plano ni cúbico	Tejido epitelial	2.1a, 2.1d, 2.1f y 2.1g
Esférica	Plasmáticas	Tejido conectivo laxo y linfático	2.2
	Cebadas y adipositos	Tejido conectivo laxo y adiposo	2.2
	Cuerpos neuronales Óvulos	Sistema nervioso Sistema reproductor	2.3 2.4a
Cilíndrica	Del epitelio cilíndrico y de transición	Tejido epitelial	2.1d y 2.1e
	Cebadas	Tejido conectivo denso	2.2
	Fibroblastos (durante su etapa activa)	Tejido conectivo laxo	2.2
	Osteógenas Ependimarias Fibras musculares	Tejido óseo Sistema nervioso Tejido muscular (estriado y cardíaco)	2.5
Ovoide	Cebadas Óvulos	Tejido conectivo laxo Sistema reproductor	2.2 2.4a
	Endoteliales	Tejido conectivo laxo	2.2
Ovoide aplastado	Condrocitos	Cartilago hialino	2.6a
	Del epitelio plano simple y del plano estratificado queratinizado	Tejido epitelial	2.1a, 2.1f y 2.1g
De disco	Eritrocitos, Leucocitos, plaquetas y hematopoyéticas	Sangre	2.7, 2.8, 2.9
	Osteoblastos y osteocitos	Tejido óseo	2.10
	Macrófagos Cuerpos neuronales	Tejido conectivo laxo Sistema nervioso	2.3
	Neuronas Astrocitos	Sistema nervioso Sistema nervioso	2.3c 2.11
De formas irregulares	Pericitos	Tejido conectivo	
	Fibroblastos (excepto durante su etapa activa)	Tejido conectivo laxo	2.2
	Eritrocitos poiquilocitos, leucocitos neutrófilos	Sangre	2.8
	Osteoclastos	Tejido óseo	
	Espermatozoides		2.4b

PALESTRA

La idea básica del modelo considera una onda electromagnética que pasa a través de una célula rodeada de material conductor (como una primera aproximación del cuerpo humano).

Mediante el desarrollo matemático planteado a lo largo del capítulo, se obtuvieron cuatro expresiones para el mínimo campo magnético externo (B_e), requerido para poder afectar a la célula. Para cada uno de los tipos celulares, se tienen las siguientes ecuaciones:

Célula cúbica

$$B_e = \frac{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} (\alpha^2 + \beta^2) I_{\max} e^{\beta L}}{L \sigma \cos\left(\arctan \frac{A}{B}\right)} \left[\frac{B}{B^2 + A^2} \right]$$

con: $A = e^{-\beta L} (-\beta \operatorname{sen}(\alpha L) - \alpha \cos(\alpha L)) + \alpha$

$B = e^{-\beta L} (-\beta \cos(\alpha L) + \alpha \operatorname{sen}(\alpha L)) + \beta$

Célula tipo prisma cuadrangular

$$B_e = \frac{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0} (\alpha^2 + \beta^2) I_{\max} e^{\beta L}}{L_1 \sigma \cos\left(\arctan \frac{D}{C}\right)} \left[\frac{D}{D^2 + C^2} \right]$$

con: $C = e^{-\beta L/2} (-\beta \operatorname{sen}(\alpha L_2) - \alpha \cos(\alpha L_2)) + \alpha$

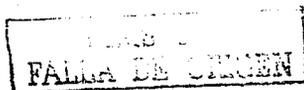
$D = e^{-\beta L/2} (-\beta \cos(\alpha L_2) + \alpha \operatorname{sen}(\alpha L_2)) + \beta$

Célula esférica

$$B_e = \frac{3 \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} I_{\max} e^{\beta R}}{2R \sigma \cos\left(\arctan \frac{F}{G}\right)} \left[\frac{G}{F^2 + G^2} \right]$$

con: $F = 2\alpha\beta R^3$

$G = -7R - (\alpha^2 - \beta^2)R^3$



Célula cilíndrica (Orientación del eje del cilindro paralela a la dirección de la onda)

$$B_v = \frac{\sqrt{\epsilon_a \mu_a} (\alpha^2 + \beta^2) I_{\max} e^{\delta \Delta}}{2R\sigma \cos\left(\arctan \frac{H}{K}\right)} \left[\frac{K}{H^2 + K^2} \right]$$

$$\text{con:} \quad H = -e^{-\beta L} (\alpha \cos \alpha L + \beta \sin \alpha L) + \alpha$$

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

Célula cilíndrica (Orientación del eje del cilindro perpendicular a la dirección de la onda)

$$B_v = \frac{6 \sqrt{\epsilon_a \mu_a} I_{\max} e^{\delta \Delta}}{\sigma \cos\left(\arctan \frac{M}{N}\right)} \left[\frac{N}{N^2 + M^2} \right]$$

$$\text{con:} \quad M = 2\alpha\beta R^4$$

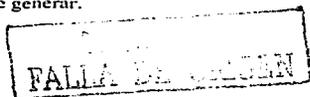
$$N = 14R^2 + (\beta^2 - \alpha^2)R^4$$

En donde, para todas las ecuaciones, α y β están dadas por las siguientes ecuaciones:

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

$$\beta = \frac{\omega \sigma \mu}{2\alpha}$$

Además μ , ϵ y σ son la permeabilidad, la permitividad y la conductividad del citoplasma, respectivamente; L es la dimensión lateral de la célula para las geometrías cúbica, prisma cuadrangular y cilíndrica (con orientación del eje del cilindro paralela a la dirección de la onda); R es el radio de la célula para las geometrías esférica y cilíndrica (con orientación del eje del cilindro perpendicular a la dirección de la onda); μ_a es la permeabilidad del aire; $\omega = 2\pi\nu$ es la frecuencia angular; ν es la frecuencia de la onda; Δ es el espesor del material conductor que rodea a la célula; δ es la profundidad de penetración del campo eléctrico; e I_{\max} es la corriente máxima que una célula puede generar.



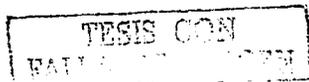
Con las ecuaciones anteriores se pudieron analizar los campos magnéticos externos obtenidos para cada una de las geometrías celulares en comparación con las amplitudes y frecuencias de los campos magnéticos de fenómenos naturales. Cuando el campo magnético del fenómeno natural era menor que los obtenidos teóricamente para las geometrías celulares (o bien la frecuencia del fenómeno no se encontraba dentro del intervalo estudiado), se consideró que las células no eran afectadas por dicho fenómeno (o bien que no podía decirse nada sobre él). Así pues, se encontró que para las geometrías cúbica, esférica y cilíndrica con ambas orientaciones, el campo magnético de los rayos es mayor que los generados por las propias células, para las de gran tamaño (10^{-4} m). a 10^4 Hz. Mientras que sólo para la geometría cilíndrica con orientación del eje paralela a la dirección de la onda (y en el caso en que la longitud es 10 o más veces el diámetro de la cara circular) los rayos tienen campos comparables a los de las células promedio (10^{-5} m). Para la geometría de prisma cuadrangular, ningún fenómeno tiene la amplitud de campo magnético, requerida para alterarla. Y para el resto de los fenómenos naturales, las amplitudes de campo magnético eran mucho menores que las requeridas, o sus frecuencias se encontraron fuera del intervalo estudiado. Al final del análisis de gráficas para las distintas geometrías celulares, se hizo una revisión de los resultados que apoyan la interacción entre la actividad solar y los infartos al miocardio mediante la radiación electromagnética de las tormentas eléctricas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3

Metodología de análisis

En este capítulo se describe la metodología para analizar las series utilizadas en este estudio que son datos de origen médico, solar y geomagnético. Como se ha explicado en los capítulos anteriores, se pretende investigar la relación entre la actividad solar y la salud humana, tomando como parámetros de medición de la primera, fenómenos heliogeofísicos que han mostrado tener importancia en estudios anteriores, y para los datos médicos, series de mortalidad diaria por infartos al miocardio registrados en todo México por un período de 4 años. En la siguiente sección se describe de forma general la organización de las bases de datos proporcionadas por la Secretaría de Salud de México, para poder analizarlas estadísticamente. Mientras que en las siguientes secciones se describe el método de superposición de épocas para analizar en una escala de tiempo pequeña (del orden de días, para las series estudiadas) el comportamiento de las series de tiempo y los métodos utilizados para el análisis de frecuencias inherentes a las series (análisis espectral). Dicha metodología será utilizada en el siguiente capítulo para investigar detalladamente la relación entre actividad solar e infartos al miocardio.



ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA 79

3.1 Organización de las bases de datos

En esta tesis se trabajó con las bases de datos de la Secretaría de Salud de México, en donde se tienen registros de muertes de todo el país debidas a toda clase de enfermedades y accidentes. Las series originales se encuentran clasificadas según varios criterios, cuya notación cambia año con año, así pues, se tiene la información de la fecha de defunción, la causa según la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE IX y X en los datos estudiados), la edad, el sexo del individuo, el lugar de residencia, el lugar de defunción, la ocupación, etc. Para este trabajo sólo serán tomados los primeros cuatro criterios, debido a que ésta es una investigación preliminar cuyos resultados servirán para otros proyectos en el futuro.

Las bases originales de datos desordenados eran matrices del orden de: 27 criterios x 45 088 datos (correspondientes a 1996), 27 x 46 798 (1997), 32 x 45 117 (1998) y 35 x 39 087 (1999). Es decir, un total de 176 090 datos distribuidos en 27-32 criterios no siempre iguales en todos los años. En esta tesis no se presenta el trabajo de ordenamiento y clasificación de dichas series, pero se decidió comentarlo en esta sección con el objetivo de dar a conocer que las series de datos tuvieron que trabajarse bastante, previamente al análisis de resultados que se presentará en el siguiente Capítulo y cuya metodología se describe a partir de la siguiente sección.

Las series originales fueron procesadas para tener series de tiempo, ordenadas a lo largo de los años de estudio, con una frecuencia diaria de muestreo, en donde los criterios homogéneos de todas las series se refieren a la fecha de defunción (año, mes, día) y número de casos totales, y por edad y sexo, considerando sólo aquellos referentes a la causa de muerte estudiada en este trabajo, los infartos al miocardio (ver Capítulo 4 para más detalles). La longitud final de las series fue de 1461 días (correspondiente al número de días existentes en los años de 1996-1999).

La sección final del Capítulo 4, muestra además una comparación entre las muertes por infarto al miocardio y las muertes por cualquier otra causa bajo el criterio de los

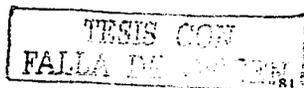
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

fenómenos heliogeofísicos, con objeto de establecer la importancia de la actividad solar como factor de riesgo para la patología estudiada, con relación a todo el universo de muertes en el periodo de análisis. Las bases originales de las muertes totales consistían en una matriz total de 27 - 35 criterios x 1 628 344 datos (correspondientes a 1996-1999). Para este segundo depuramiento, en esta tesis tampoco se presenta el trabajo de ordenamiento y clasificación de dicha serie, aunque se comenta para apreciar la magnitud de los datos analizados y dar una idea del trabajo realizado para poder analizarla y compararla con las series de fallecimientos por infartos al miocardio. La longitud final de la serie de muertes por cualquier causa, con excepción de infartos al miocardio, fue también de 1461 días (correspondiente al número de días existentes en los años de 1996-1999).

3.2 Estudio de series de tiempo

Como ya se vio en la sección anterior se trabajó con series de tiempo diarias por un intervalo de cuatro años. En el espacio temporal, el análisis se hace de manera cualitativa, graficando el número de muertes totales o por sexo o edad contra el tiempo y observando su comportamiento. Un método muy útil y ampliamente utilizado es el de Superposición de Épocas (ver Sección 3.2.1), que se utiliza para observar el comportamiento de las series en un intervalo de tiempo definido: a un año, una semana, o cualquier periodo de días elegido.

Por otro lado, las series de tiempo también se analizaron en el espacio de frecuencias, en donde se observa el comportamiento de las series a distintas frecuencias, es decir, se puede determinar las periodicidades intrínsecas de cada serie. En la Sección 3.2.2 se revisan los aspectos generales de los métodos de análisis espectral utilizados, Transformada Rápida de Fourier y Método de Máxima Entropía, haciendo énfasis en este último, así como en el criterio utilizado para determinar la significancia de las frecuencias encontradas.

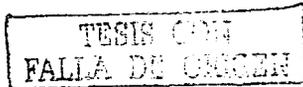


3.2.1 Superposición de épocas

Las series de tiempo pueden tener épocas especiales alrededor de las cuales se quiera ver el comportamiento de los datos, según criterios del propio estudio, por ejemplo los días de ocurrencia de algún fenómeno geomagnético. El método de superposición de épocas [Chapman y Bartels, 1962] consiste en seleccionar días con un mismo criterio a lo largo de la serie y obtener el promedio para cada uno de ellos, teniendo así el comportamiento dentro de un intervalo de tiempo dado. Por ejemplo, se puede elegir observar el comportamiento semanal de la serie de tiempo, para lo cual se sacan promedios para los lunes, martes ... hasta el domingo y obtener una gráfica de dicho comportamiento promedio (ver por ejemplo, la figura 4.8), o bien el comportamiento anual de una serie de tiempo cuya extensión sea del orden de años, sacando el promedio para cada uno de los días del año, es decir, para el 1º. de enero, 2 de enero ... hasta el 31 de diciembre y obtener una gráfica del comportamiento anual promedio (ver por ejemplo, la figura 4.2). También puede analizarse el comportamiento alrededor de días específicos que cumplan con cierto criterio, como puede ser los días que registraron un cierto nivel de actividad geomagnética, que generalmente se denomina como día "0" y los días anteriores y posteriores a éste que se denotan con signos negativos y positivos, respectivamente. Este último tipo de superposición de épocas se aplica en el análisis del comportamiento de las muertes por infarto al miocardio que se verá con detalle en la Sección 4.3.

3.2.2 Análisis espectral

Un proceso físico puede describirse en el dominio de tiempo, mediante los valores de una función en el tiempo, o bien, en el dominio de frecuencias, donde el proceso se especifica por medio de su amplitud como función de la frecuencia. Este segundo punto de vista se conoce como análisis espectral. Los métodos de análisis que se utilizan en esta tesis son la Transformada Rápida de Fourier (FFT) y el Método de Máxima Entropía (MEM). Los análisis hechos con el primer método, aunque se realizaron, no se mostrarán en los resultados del Capítulo 4, ya que el espectro es bastante ruidoso y sólo se utilizaron como



comparación con los resultados del MEM cuyo espectro resultante muestra una mejor resolución en los picos obtenidos. No obstante, a continuación se describen las características generales de ambos métodos y para ver un análisis más detallado puede consultarse el trabajo de maestría que antecede a esta tesis [Díaz Sandoval, 1999].

Transformada Rápida de Fourier (FFT)

La transformada de Fourier aplica una función en el espacio de tiempos al de frecuencias. Cuando se tiene una serie de datos correspondiente a intervalos iguales de tiempo, la transformada discreta de Fourier requiere del orden de N^2 operaciones, en donde N es el número total de datos de la serie. Por razones de tiempo en cómputo, se desarrolló la Transformada Rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés), [Cooley y Turkey, 1965], que consiste en un algoritmo eficiente que reduce el orden de las operaciones a un orden de $N \log_2 N$. Con procesos que involucran N muy grandes, la diferencia en tiempo de cómputo se hace evidente, por ejemplo, para $N=10^6$, la transformada de Fourier involucra 2 semanas de CPU en una computadora de alta velocidad, mientras que FFT toma sólo 30 segundos de CPU.

El principio básico del FFT es considerar a N como potencia entera de 2, y para que todas las series sean de ese tipo, los datos se completan con ceros hasta obtener dicha longitud, teniendo cuidado, al final, en la interpretación de las frecuencias [Press, 1992].

Método de Máxima Entropía

Este método, diseñado por Burg [Burg, 1967] está basado también en la transformada de Fourier, como el caso del FFT, pero supera el problema de resolución en el espacio de frecuencias que tienen la mayoría de los métodos espectrales, entre ellos, el FFT.

El concepto de entropía que se maneja en el MEM, se refiere a la cantidad de aleatoriedad en un sistema y se define como:

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

donde p es la probabilidad de ocurrencia de x . La entropía es una medida de la incertidumbre de que el sistema pueda estar en un estado particular, o, en otras palabras, es una medida de nuestra ignorancia de un sistema. Al maximizar esta función se obtiene la mayor cantidad de información del sistema [Jaynes, 1957].

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 [Press, 1992]:

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

en donde $f_c = 1/2\Delta t$ es la frecuencia de corte (de Nyquist), y Δt es el intervalo de muestreo en el dominio temporal. La sumatoria considera los N términos de la serie de tiempo, pero se ha sugerido que la estimación se haga con un número M de coeficientes que, en general, sea del orden de $N/2$ (50% de los coeficientes) [Press, 1992], aunque en la práctica, este número resulta mucho menor siendo del orden del 25% de los coeficientes [Caballero, 2001] o del 16%, como fue calculado en un trabajo anterior a éste [Díaz Sandoval, 1999].

Para establecer los niveles de confianza [Jenkins y Watts, 1968] de las periodicidades obtenidas, se hizo lo siguiente:

Se obtuvo una serie de ruido blanco de los picos del MEM, mezclando 100 veces el orden de los datos de cada una de las series de tiempo originales (descritas al final de la Sección 3.1), y aplicando a cada una el análisis MEM. Los espectros de potencia obtenidos se promediaron, con el objetivo de tener al final una serie formada únicamente por el ruido

blanco que sigue una distribución normal y cuyo intervalo de confianza para la media puede ser obtenido mediante la distribución T de Student con N-1 grados de libertad:

$$X - \frac{st_{N-1, \alpha}}{\sqrt{N}} \leq \mu \leq X + \frac{st_{N-1, \alpha}}{\sqrt{N}}$$

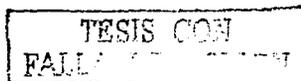
donde μ es la media teórica, N es el tamaño de la muestra (en este caso el tamaño de la serie de ruido), X es el promedio de los datos, s es la desviación estándar de la muestra, $t_{N-1, \alpha}$ es la distribución T de Student con N-1 grados de libertad, y $1-\alpha$ es el nivel de confianza [Bendat y Piersol, 1971], expresado en porcentaje.

3.2.3 Prueba T de Student

Esta prueba se utiliza en el análisis de los resultados por superposición de épocas para saber si, encontrado cierto día en el que se presenta un cambio en las muertes por infarto al miocardio, con respecto al resto de los días, relacionado presumiblemente con algún fenómeno heliogeofísico, dicho resultado tiene un cierto nivel de credibilidad. Por lo tanto, se considera la media muestral de las muertes en el día señalado por los resultados y la media muestral del resto de los días, en el que se piensa que las muertes no están asociadas con los fenómenos heliogeofísicos, sino con cualquier otra causa. Así pues, suponiendo que se tienen dos muestras de tamaños N_1 y N_2 , con medias muestrales X_1 y X_2 y desviaciones típicas s_1 y s_2 , respectivamente, se tiene que decidir entre las siguientes dos hipótesis:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$



Para H_0 , se supone que no hay diferencia entre las medias muestrales, por lo que el cambio observado no sería significativo, mientras que para H_1 se piensa que si hay diferencia significativa entre ambas medias, por lo que el cambio observado sería significativo a cierto nivel de significación estadística.

Para contrastar la hipótesis H_0 , de que las medias muestrales son iguales, tenemos que la distribución t de Student está dada por:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sigma \sqrt{1/N_1 + 1/N_2}}$$

Donde la desviación típica para ambas muestras está dada por:

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 s_1^2 + N_2 s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

Podemos ver que es una distribución con $N_1 + N_2 - 2$ grados de libertad. Si el valor absoluto de t, calculada a partir de los datos muestrales es mayor que el valor absoluto dado por la tabla de la distribución [ver, por ejemplo Spiegel, 1999] con un cierto nivel de significación α , H_0 es rechazada y las medias son diferentes; pero si, por el contrario, el valor absoluto muestral de t es menor que el valor absoluto teórico, no se puede rechazar H_0 , con dicho nivel de significación. Para el primer caso, en el presente estudio, el cambio observado sería significativo, mientras que en el segundo caso, el cambio no sería significativo. Los niveles que se reportan en el Capítulo 4, corresponden a $1 - \alpha$, expresado en porcentaje.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3 Resumen del capítulo

En este capítulo se revisó la metodología para el análisis de las series de datos heliogeofísicas y médicas. Se describió la organización de las bases de datos que proporcionó la Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud de México. Se vio lo que es una serie de tiempo, el análisis en el espacio temporal, mediante el método de superposición de épocas, y el análisis espectral mediante la Transformada Rápida de Fourier y el Método de Máxima Entropía. Finalmente, se revisó la prueba T de Student para evaluar, con una confianza dada, si dos medias son iguales o diferentes, prueba que se utilizará en el siguiente capítulo para evaluar los resultados obtenidos por el análisis de superposición de épocas.

TESIS CON
FALLA DE TIEMPO 87

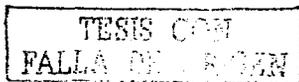
Capítulo 4

Resultados y Discusión

4.1 Muertes por infarto al miocardio en México

Cada diez años se hace una reunión mundial de la comunidad epidemiológica, en donde se deciden la clasificación, los términos a utilizar en la denominación de enfermedades, las claves de asignación, etc., para obtener el volumen correspondiente de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE), el cual es utilizado en las instituciones epidemiológicas de todo el mundo. En México, los datos son proporcionados por los médicos de los hospitales y clínicas de todo el país, y ordenados en la base de datos de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, por personas especialmente capacitadas para ello.

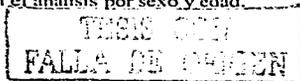
En este trabajo se manejaron las bases de datos de isquemias cardíacas (ver Apéndice C), correspondientes a las causas: 410, según la *CIE IX*, para 1996 y 1997, e 121, según la *CIE X*, para 1998 y 1999, que se refieren al infarto al miocardio. Se estudió el número diario de muertes por infarto al miocardio en México, proporcionados por la Dirección General de Epidemiología, de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, durante el periodo del 1º. de enero de 1996 al 31 de diciembre de 1999. Después de ordenar las bases originales de datos para obtener concordancia entre los diferentes campos registrados en



todos los años, se obtuvo una serie de 129 917 casos durante el periodo mencionado que consta de 1461 días. En la figura 4.1 se muestra el comportamiento general de los datos a lo largo del tiempo, en donde se señala el día 29 de febrero de 1996, que registró una ausencia de muertes, y que probablemente sólo sea un error del registro; el 31 de diciembre de 1998 con 22 muertes, muy por debajo del promedio de muertes para toda la serie (89 ± 18); y el 1º. de enero de 1998, día en el que se registraron 177 muertes, el máximo número de muertes en toda la serie, también muy superior al promedio total. Además, en la misma gráfica, también se observa que los datos muestran una tendencia a decrecer de principios a mediados de año y a aumentar suavemente hacia un máximo a finales del año en curso y principios del siguiente año. Esto puede verse con mayor claridad en la figura 4.2 en donde se hace una superposición de épocas para mostrar el comportamiento anual, con la precaución de que todas las series anuales tuvieran la misma longitud, por lo cual se omitió el 29 de febrero del año bisiesto (1996). En esta figura se observa con mayor claridad el comportamiento promedio de los datos a lo largo de año en donde pudiera superponerse una curva con dos máximos a principios y finales del año, y un mínimo a mediados del mismo. Este comportamiento estacional ya ha sido bien identificado, relacionándolo con los contaminantes en el medio ambiente [Pope et al., 1999; Rosales-Castillo et al., 2001] y con el comportamiento de la temperatura [Díaz et al., 2002], sobretudo para las personas mayores de 65 años.

4.1.1 Series de tiempo, división por sexo y edad

Para realizar un estudio más detallado del comportamiento de la serie de muertes por infarto al miocardio en México, con relación a la actividad solar, los datos se clasificaron por sexo y edad. Para la división por grupos de edad, se siguieron criterios de estudios epidemiológicos [Fernández, 1997] que resultan en la división de los siguientes grupos: 15-24 años, 25-44 años, 45-64 años y mayores o iguales a 65 años. En la tabla 4.1 se muestra el número de casos por cada división (sexo y edad). En la tabla también se dan a conocer los casos para datos de sexo y edad desconocidos, los cuales sólo fueron considerados para la serie total, y no son incluidos en el análisis por sexo y edad.



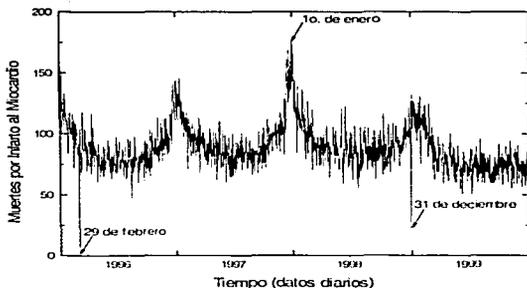


Fig. 4.1. Comportamiento diario de muertes por infartos al miocardio en México, para el período de 1996 a 1999 (CIE IX, causa 410, para 1996, 1997; y CIE X, causa I21, para 1998, 1999). Se señalan los días correspondientes a los mínimos valores (29 de febrero de 1996 y 31 de diciembre de 1998), así como el que corresponde al máximo valor (10 de enero de 1997) de muertes por infarto al miocardio.

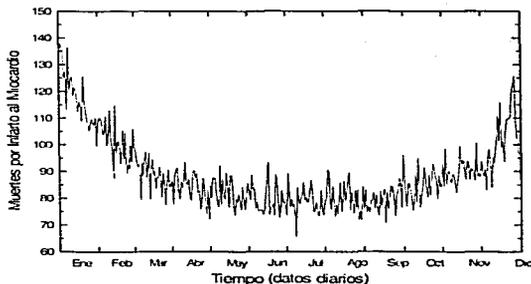


Fig. 4.2. Superposición de épocas a un año, con excepción del día 29 de febrero de 1996, para observar el comportamiento anual de la serie de la figura 1.

TESIS CONT
 FAU
 90

En la figura 4.3 se muestra el comportamiento de los datos a lo largo del tiempo, para cada grupo: T (Todos), F (Femenino), M (Masculino), y los grupos de edad (en años). Se puede notar que el máximo para todas las gráficas ocurre entre finales de 1997 y principios de 1998. Para los grupos T, F y M se observa claramente una onda anual cuya tendencia es a decrecer de principios a mediados de año y a aumentar hacia finales de año. Para el grupo de edad de 45-64 años, la curva que se puede superponer ya no es marcada, ya que los datos muestran una tendencia más constante a lo largo de cada año, con mayor número de casos hacia principios y finales del mismo, pero con un mínimo muy poco pronunciado a mediados de año. Para el grupo de ≥ 65 años la onda anual parece alternarse año con año entre mayor y menor cantidad de casos en las series de datos. Para los grupos de edad de 15-24 y 25-44 años, el comportamiento de los datos es muy ruidoso. De la tabla 4.1 vemos que el grupo de 15 a 24 años cuenta sólo con 517 casos y es muy probable que a esto se deba su comportamiento; dado lo ruidoso de su señal, no es posible tratar este grupo adecuadamente, por lo que se eliminará de los análisis subsecuentes.

Para ver el comportamiento anual de todas estas series con mayor claridad, se hizo también una superposición de épocas, omitiendo el día 29 de febrero del año bisiesto (1996) para tener el mismo número de días en todos los años. Las gráficas para cada uno de los grupos se muestran en la figura 4.4, confirmando lo anteriormente dicho. Para la figura 4.4 la excepción es el grupo de 25-44 años que ahora presenta un comportamiento más o menos constante.

Tabla 4.1. Número de muertes, por sexo y edad, debidas a infarto al miocardio en México, durante el periodo del 1º. de enero de 1996 al 31 de diciembre de 1999

Todos	Femenino	Masculino	Sexo no conocido*	15-24	25-44	45-64	≥ 65 años	Edad no conocida*
129 917	55 237	74 635	45	517	6 023	26 148	69 557	27 672

* Datos desconocidos en la base de datos



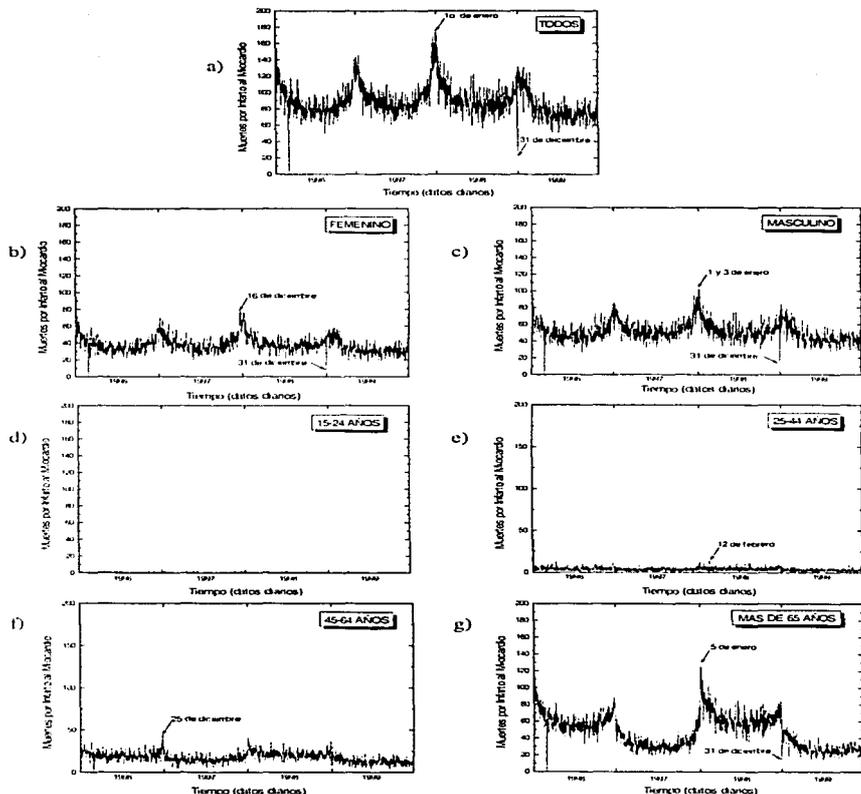


Fig. 4.3. Comportamiento diario de muertes por infarto al miocardio en México (1996-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 15-24 años, e) 25-34 años, f) 45-64 años, g) ≥ 65 años. Se señalan los máximos y mínimos en la mayoría de las gráficas.

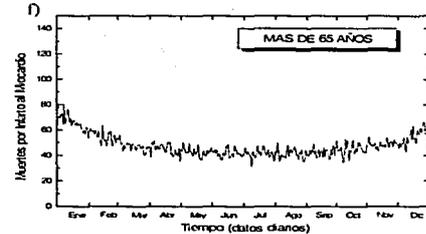
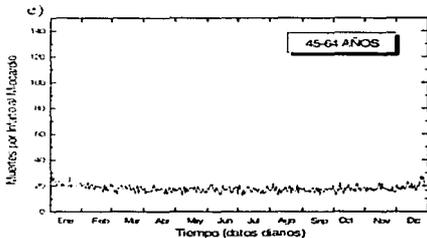
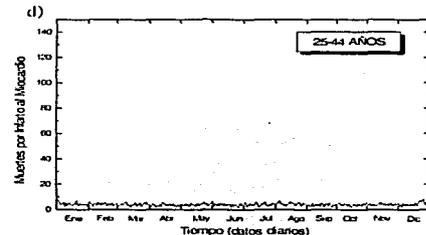
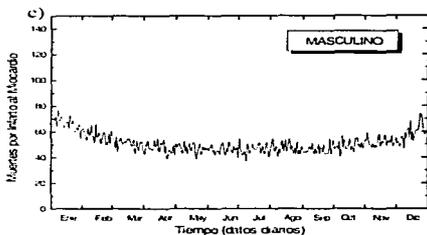
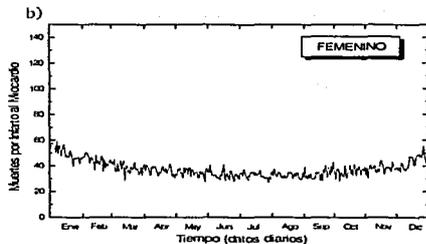
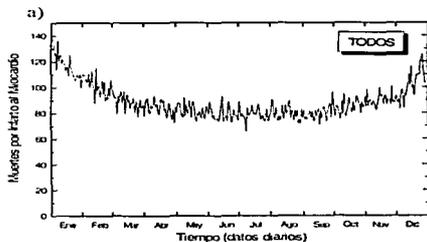


Fig. 4.4. Superposición de épocas a un año, con excepción del día 29 de febrero de 1996, para observar el comportamiento anual de las series de la figura 3. a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

TESIS CON
FALLA EN COPIEN

4.2 Análisis espectral

Para estudiar las periodicidades de cada una de las series, se utilizaron el Método de Máxima Entropía (MEM) y la Transformada Rápida de Fourier (FFT) [Press, 1992 y ver Sección 3.2.2]. En la figura 4.5 se muestran los espectros resultantes para cada uno de los grupos de estudio. La línea horizontal nos indica un nivel de confianza del 90% y sólo los picos por arriba de este nivel serán considerados. La figura 4.5a presenta los resultados para el grupo T, en donde se pueden observar picos a bajas frecuencias correspondientes a 333, 200, 125, 91 y 71 días, mientras que, a altas frecuencias, destacan las periodicidades correspondientes a 7 y 2.07 días. En la figura 4.5b, para el grupo F, se observan los picos a bajas frecuencias correspondientes a 500, 200 y 333 días, y a altas frecuencias, destacan las periodicidades de 7, 3.8 y 2.1 días. La figura 4.5c muestra los resultados obtenidos para el grupo M, en donde aparecen los picos de 200 y 333 días, y a altas frecuencias se señalan los correspondientes a 7, 9.6 y 4.5 días. En la figura 4.5d se puede observar el espectro del grupo de 25-44 años, que, a bajas frecuencias muestra un pico de 250 días, mientras que, a altas frecuencias destacan los picos de 7, 6.7 y 2.4 días. La figura 4.5e presenta los resultados para el grupo de 45-64 años, en donde las periodicidades a bajas frecuencias son de 167 y 83 días, mientras que a altas frecuencias, aparecen picos correspondientes a 11.9, 7.9 y 7 días. Finalmente, para el grupo de ≥ 65 años, en la figura 4.5f sólo aparecen picos a bajas frecuencias de 333 y 167 días. En la tabla 4.2 se resumen todos los resultados anteriores. A bajas frecuencias, la resolución del programa para calcular el MEM es menor, por lo que las periodicidades obtenidas del orden de 333 días pueden considerarse cercanas al año. Los picos prominentes de bajas frecuencias, cuasi-anual y sus armónicos (~ 200 , 125, 91 y 71 días), podrían relacionarse con variaciones naturales y ambientales de tipo estacional [Pope et al., 1999; Rosales-Castillo et al., 2001] o de carácter social [Villoresi et al., 1994a] que claramente aparecen en las figuras 4.3 y 4.4. Mientras que a altas frecuencias, cabe destacar que la periodicidad más persistente es a ~ 7 días; lo que ya se había encontrado en un estudio previo con la morbilidad por infartos al miocardio [Díaz Sandoval, 1999].

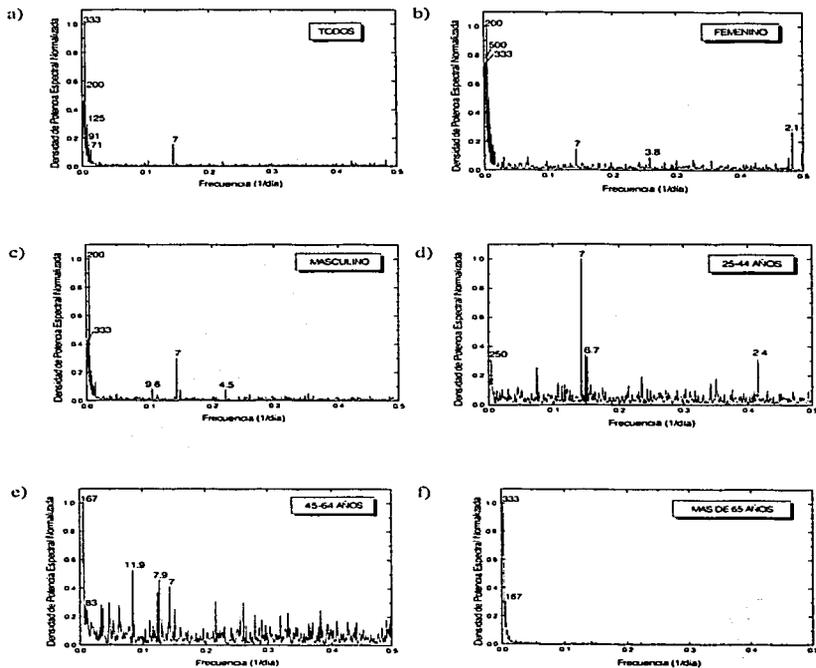


Fig. 4.5. Análisis espectral para todos los grupos de estudio para todo el periodo (1996-1999). a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años. Las líneas horizontales indican el 90% de nivel de confianza.

Tabla 4.2. Periodicidades destacadas para los grupos en estudio (1996-1999).

Grupos	Picos a bajas frecuencias (días)	Picos a altas Frecuencias (días)
T	333	7, 2.07
F	200, 500, 333	2.1, 7, 3.8
M	200, 333	7, 9.6, 4.5
25-44 años	250	7, 6.7, 2.4
45-64 años	167, 83	11.9, 7.9, 7
≥ 65 años	333, 167	

Comparando todos los casos anteriores, podemos observar que los grupos T, F, M, de 25-44 años y 45-64 años muestran varios picos tanto a bajas como a altas frecuencias y el grupo de ≥ 65 años presenta unos cuantos picos a bajas frecuencias.

4.2.1 Periodicidades y fases del ciclo solar

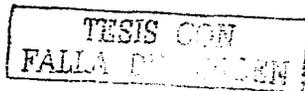
Con objeto de analizar el comportamiento de las periodicidades en diferentes fases del ciclo solar, se dividieron los datos en dos periodos: uno para los años de 1998-1999,

que están cercanos al máximo solar del ciclo solar 23 (el máximo ocurrió en los años 2000 y 2001) y el otro para 1996, que fue el año del mínimo del ciclo solar 23.

La figura 4.6 muestra los resultados del análisis para los años de 1998 a 1999. En la figura 4.6a, se pueden ver los resultados para el grupo T, en donde se puede notar un pico prominente a bajas frecuencias correspondiente a 333 días, y otro a altas frecuencias que corresponde a 7 días. La figura 4.6b presenta el espectro para el grupo F que tiene dos picos a bajas frecuencias de 333 y 143 días, mientras que, a altas frecuencias, sobresalen las periodicidades de 17.2, 14.5 y 3.1 días y también aparece un pico correspondiente a 6.9 días. La figura 4.6c muestra el análisis para el grupo M, cuyos picos a bajas frecuencias corresponden a 333 y 167 días, y a altas frecuencias a 7, 2.4 y 4.5 días. La figura 4.6d muestra un espectro ruidoso para el grupo de 25-44 años en donde las frecuencias más prominentes se encuentran entre las frecuencias altas, destacando los picos de 4.3, 2.9 y 3.3, no obstante también se señala el pico de 333 días a bajas frecuencias. La figura 4.6e presenta los resultados para el grupo de 45-64 años, con un pico significativo a bajas frecuencias de 333 días, mientras que a altas frecuencias, destacan los de 2.5, 16.1 y 12.8 días, además de que un pico de -7 también está presente. Finalmente, el espectro del grupo de ≥ 65 años aparece en la figura 4.6f y presenta un pico significativo a bajas frecuencias de 333 días y otro, a altas frecuencias de 7 días. En la tabla 4.3 se resumen todos los resultados anteriores.

La figura 4.6 (tabla 4.3) presenta el mismo comportamiento que la figura 4.5 (tabla 4.2), con la diferencia de que el grupo de ≥ 65 años también tiene picos significativos a altas frecuencias.

La figura 4.7 presenta los resultados para el año de 1996 que corresponde al mínimo del ciclo solar 23. La figura 4.7a muestra los resultados para el grupo T en la que sólo destaca un pico a bajas frecuencias correspondiente a 250 días. En la figura 4.7b se muestra el espectro obtenido para el grupo F, en donde destacan los picos de altas frecuencias,



correspondientes a 7.7, 5.6 y 6.7 dfas. En la figura 4.7c se presentan los resultados para el grupo M que muestra una periodicidad importante sólo a bajas frecuencias y que es de 250 días. La figura 4.7d corresponde al grupo de 25-44 años, en donde las periodicidades más importantes se encuentran a frecuencias altas, destacando las correspondientes a 7, 2.4 y 5.1 dfas. En la figura 4.7e se observan los resultados para el grupo de 45-64 años, en donde el pico más importante es el de 250 dfas, a bajas frecuencias, mientras que, a altas frecuencias, destacan los correspondientes a 3, 2.3 y 7.1 dfas. Finalmente, la figura 4.7f presenta la gráfica para el grupo de ≥ 65 años, en donde se puede observar que la periodicidad más importante sólo se encuentra a bajas frecuencias y corresponde a 250 días. En la tabla 4.4 se resumen todos estos resultados.

Las periodicidades a bajas frecuencias, cuasi-anual y sus armónicos, pueden relacionarse con variaciones estacionales o sociales [Villoresi et al., 1994a], como ya se ha mencionado. Y de nueva cuenta, a altas frecuencias, la señal más persistente es la de ~ 7 días (ver tablas 4.2 a 4.4). Este pico puede atribuirse a la organización social de la vida [Villoresi et al., 1994a] o a los ritmos biológicos de carácter multiseptano [Halberg et al., 1991; Breus et al., 1995], que como se vio en el Capítulo 1, es una hipótesis que esta cobrando una gran importancia. En la tabla 4.4 (figura 4.7), podemos notar la ausencia de varias frecuencias en comparación con la tabla 4.3 (figura 4.6). El grupo T presenta sólo picos a bajas frecuencias, el grupo F presenta picos sólo a altas frecuencias, mientras que el grupo M presenta picos significativos sólo en el rango de bajas frecuencias. El grupo de 25-44 años sólo presenta picos importantes a altas frecuencias, mientras que el grupo de ≥ 65 años presenta sólo unos pocos picos a bajas frecuencias. Las frecuencias ausentes se encuentran principalmente en el rango de altas frecuencias, particularmente el ritmo circaseptano. Este resultado concuerda con un estudio de mortalidad por infartos al miocardio llevado a cabo en Tbilisi, República de Georgia [Khomeriki et al., 1998], que cubrió un periodo de 13 años (1980-1992) y encontró que la componente circaseptana aparece durante periodos de alta actividad solar y está ausente en tiempos de mínimo solar; esto podría tener relación con las periodicidades de alrededor de siete días del campo

magnético interplanetario que están ausentes en periodos de baja actividad solar [Khomeriki et al., 1998].

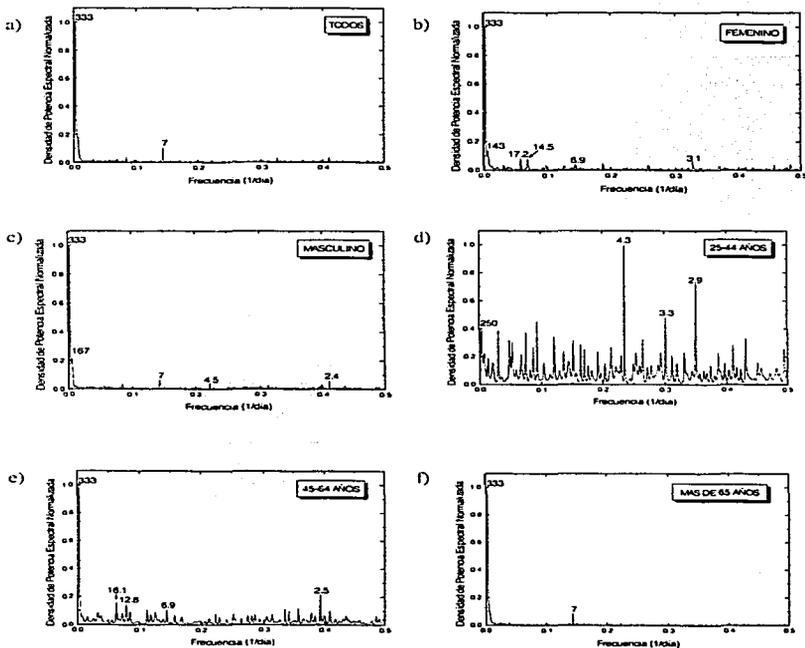


Fig. 4.6. Análisis espectral para todos los grupos de estudio para el periodo cercano al máximo solar (1998-1999). a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años. Las líneas horizontales indican el 90% de nivel de confianza.

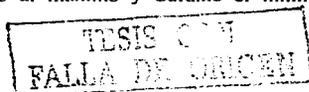
Tabla 4.3. Periodicidades destacadas para los grupos en estudio (1998-1999).

Grupos	Picos a bajas frecuencias (dfas)	Picos a altas Frecuencias (dfas)
T	333	7
F	333, 143	17.2, 14.5, 3.1 6.9*
M	333, 167	7, 2.4, 4.5
25-44 años	250	4.3, 2.9, 3.3
45-64 años	333	2.5, 16.1, 12.8, 6.9*
≥ 65 años	333	7

* Pico significativo, pero no está entre los más destacados.

4.2.2 Análisis de épocas superpuestas

Para analizar con mayor detalle los picos de alrededor de 7 dfas, se hizo un análisis de épocas superpuestas pero sólo para las gráficas que previamente presentaron esta periodicidad durante todo el periodo, cercano al máximo y durante el mínimo. Los



resultados se presentan en las gráficas de las figuras 4.8, 4.9 y 4.10, respectivamente. Se puede observar que para la mayoría de los casos durante los fines de semana la tasa de infarctos tiende a ser ligeramente mayor en comparación con los días de entre semana. Para evaluar cuantitativamente esta diferencia, se aplicó a los datos la prueba T de Student (ver Capítulo 3).

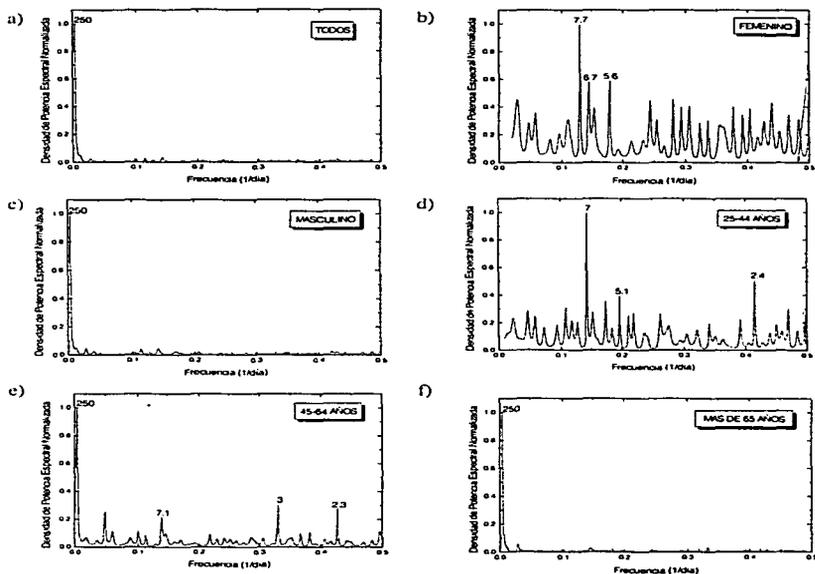


Fig. 4.7. Análisis espectral para todos los grupos de estudio para el mínimo solar (1996). a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años. Las líneas horizontales indican el 90% de nivel de confianza.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN 101

Tabla 4.4. Periodicidades destacadas para los grupos en estudio (1996).

Grupos	Picos a bajas frecuencias (días)	Picos a altas Frecuencias (días)
T	250	
F		7.7, 5.6, 6.7
M	250	
25-44 años		7, 2.4, 5.1
45-64 años	250	3, 2.3, 7.1
≥ 65 años	250	

En la tabla 4.5 se puede ver que, aunque los factores de aumento son pequeños, son significativos a los niveles de confianza indicados. En un estudio previo [Díaz Sandoval, 1999] se encontró que durante los días de entre semana, la tasa de morbilidad por infartos al miocardio era mayor que en los fines de semana por un factor de 1.42 con un nivel de confianza del 99% bajo la prueba T de Student. Este comportamiento opuesto entre el presente trabajo y el anterior [Díaz Sandoval, 1999] puede radicar en la naturaleza de los datos, ya que en el trabajo anterior se refiere a la morbilidad por infartos al miocardio en la Ciudad de México, y en la presente tesis, se analizan los datos de mortalidad por infartos al miocardio en todo el país. Se ha reportado para otros países [Bell y Redelmeier, 2001;

Marques-Vidal et al., 2001] que existe una diferencia entre la atención médica durante los fines de semana en comparación con los días de entre semana, siendo más eficiente durante estos últimos. En la Ciudad de México podría haber mayores facilidades médicas y la atención resultaría, en general, más oportuna durante los fines de semana que en el resto del país.

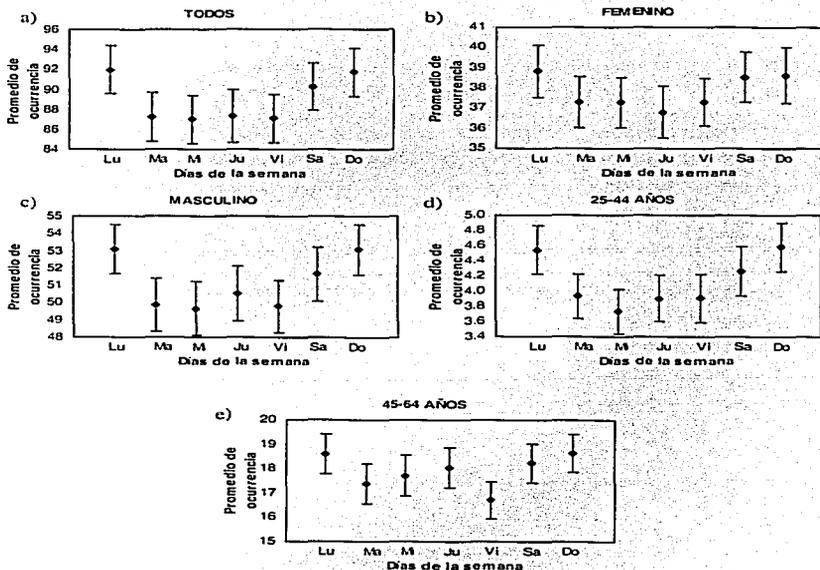


Fig. 4.8. Superposición de épocas a 7 días para observar el comportamiento semanal de los siguientes grupos de estudio durante todo el periodo estudiado (1996-1999): a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años.

TESIS CON
FALTA DE PAGINAS

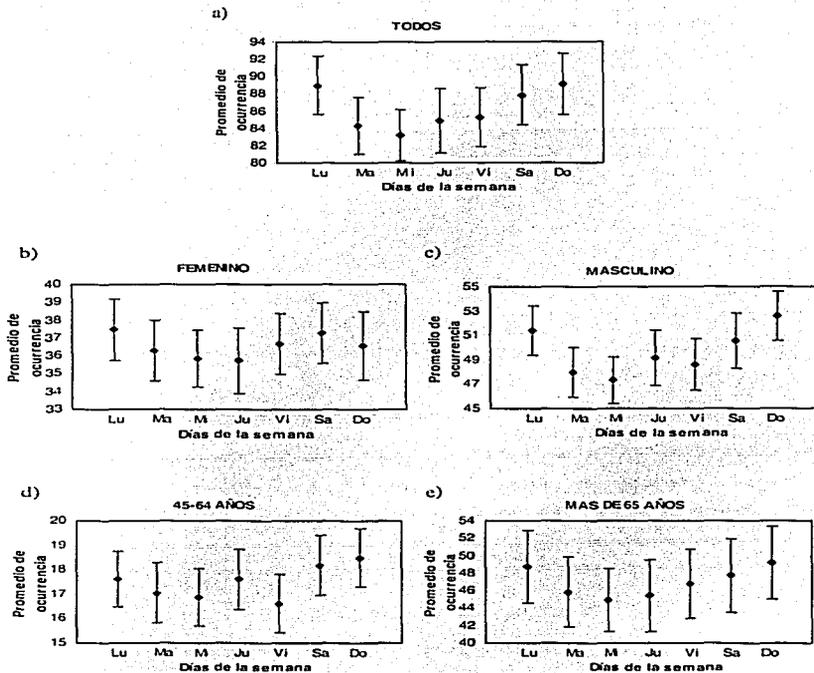


Fig. 4.9. Superposición de épocas a 7 días para observar el comportamiento semanal de los siguientes grupos de estudio durante el período cercano al máximo solar (1998-1999): a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 45-64 años, e) ≥ 65 años.

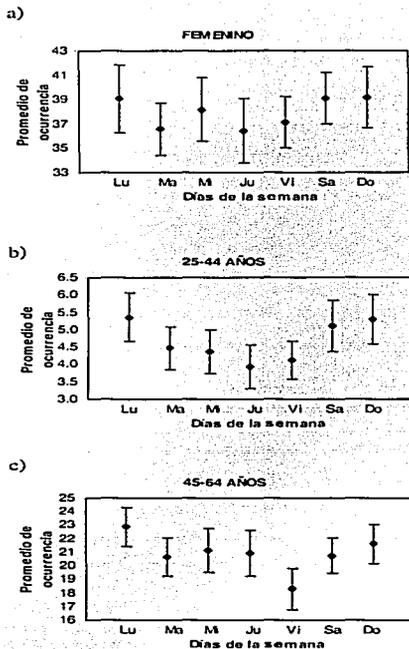


Fig. 4.10. Superposición de épocas a 7 días para observar el comportamiento semanal de los siguientes grupos de estudio durante el mínimo solar (1996): a) F (femenino), b) 25-44 años, c) 45-64 años.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

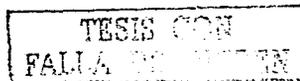
Tabla 4.5. Tasas promedio de muertes por infarto al miocardio en fines de semana con respecto a días de entre semana.

Periodo	T	F	M	25-44	45-64	≥65
1996-1999	1.03	1.03	1.04	1.1	1.04	
Prueba T*	99%	97%	99%	99%	97%	
1998-1999	1.04	1.01	1.06		1.07	1.05
Prueba T*	97%	75%	99%		97%	80%
1996		1.04		1.17	1.02	
Prueba T*		90%		99%	70%	

* = Nivel de confianza

4.3 Relación entre muertes por infarto al miocardio y variaciones heliogeofísicas

Para comparar las series de datos con fenómenos relacionados con la actividad solar, se filtraron (ver Apéndice B) todas las series que mostraban una periodicidad cuasi-anual, o periodicidades sobresalientes a bajas frecuencias es decir, los grupos T, F y M y los grupos de edad de 45-64 y ≥ 65 años (figuras 4.5, 4.6 y 4.7). Esto se hizo con el objetivo de eliminar las tendencias a largo plazo, y analizar únicamente el comportamiento de las muertes alrededor de los días en que tuvo lugar el fenómeno heliogeofísico de interés. En este estudio se consideraron dos clases de fenómenos relacionados con la actividad solar que, según estudios antecedentes [Villoresi et al., 1994a; Díaz Sandoval, 1999; Mendoza y Díaz Sandoval, 2000], han mostrado ser relevantes en relación con la



patología de infartos al miocardio: los decrementos Forbush en rayos cósmicos y la actividad geomagnética medida a través del índice Ap [Mayaud, 1980 y ver Apéndice E de esta tesis]. Para el caso de los decrementos Forbush (ver Apéndice D), se utilizaron decrementos en las cuentas de neutrones mayores o iguales al 1.5% observados en la Estación de Rayos Cósmicos de la UNAM [Hurtado, Valdés-Galicia y Musalem, 1996-1999], mientras que para la actividad geomagnética, se consideraron tres niveles de perturbación geomagnética.

4.3.1 Relación entre muertes por infarto al miocardio y decrementos Forbush

Para observar el comportamiento de las muertes por infartos al miocardio en México, se realizó un análisis de épocas superpuestas alrededor de los días en que se registraron decrementos Forbush (FD). Se tomó como día "0", el que corresponde al inicio del FD, considerándose sólo disminuciones repentinas (un día o menos) en las cuentas de neutrones, y cuyo comportamiento hubiera sido constante o creciente en los tres días previos (-3, -2, -1) y constante o en ascenso después de la caída más baja, en los tres días posteriores (1, 2, 3). Para una explicación más detallada, ver el Apéndice D. En la figura 4.11 se muestran los resultados de este análisis para todos los grupos en todo el periodo estudiado (1996-1999). En las figuras 4.11a, c y f, se puede notar un incremento en la ocurrencia de muertes, 1 día después del FD. Las figuras 4.11b y e muestran un incremento 1 y 2 días antes del FD, respectivamente. Mientras que la figura 4.11d presenta un incremento en las muertes por infarto al miocardio 2 días después del FD. Este análisis también se hizo tomando en cuenta las fases del ciclo solar, pero aquí cabe mencionar que durante 1996 no se registro ningún FD en la estación de rayos cósmicos, por lo que solo se presentan los resultados para el periodo cercano al máximo solar (1998-1999) en las gráficas de la figura 4.12. Las gráficas siguen el mismo comportamiento que en el caso anterior (ver figura 4.11).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

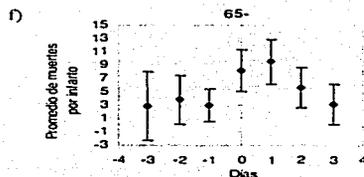
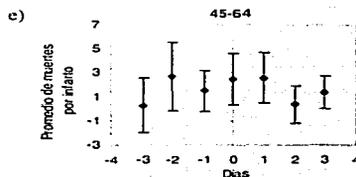
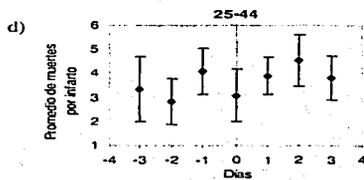
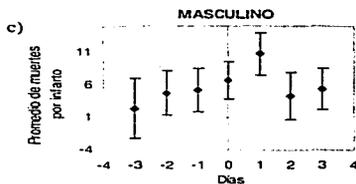
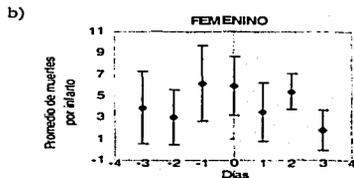
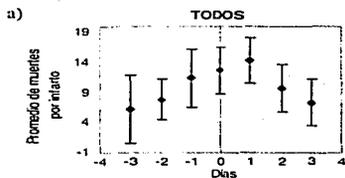


Fig. 4.11. Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas alrededor de los días de inicio ("0") del decremento Forbush durante el periodo completo (1996-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

TESIS CON
FALLA DE CUBIERTA

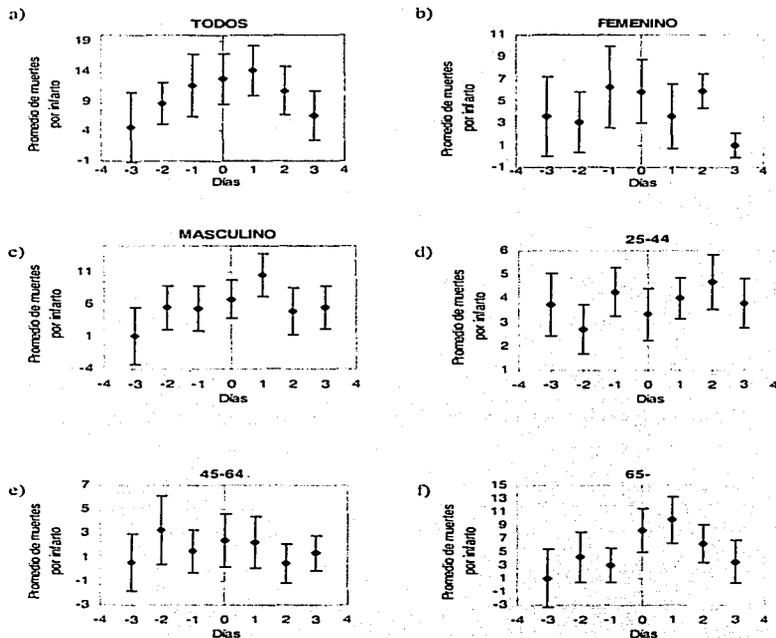


Fig. 4.12 Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas alrededor de los días de inicio ("0") del decremento Forbush durante el periodo cercano al máximo solar (1998-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

4.3.2 Relación entre muertes por infarto al miocardio y el nivel de perturbación geomagnética

Para la actividad geomagnética se escogieron 3 niveles de perturbación, cuantificados mediante el índice Ap [Mayaud, 1980 y ver Apéndice E de esta tesis]: $Ap > 20\gamma$ (ligero nivel de perturbación geomagnética); $Ap > 49\gamma$ (tormentas geomagnéticas moderadas); y $Ap \geq 100\gamma$ (tormentas geomagnéticas severas). Se hizo también un análisis de épocas superpuestas, tomando como día "0" el correspondiente a $Ap > 20\gamma$, $Ap > 49\gamma$ ó $Ap \geq 100\gamma$ y los días previos (-3, -2, -1) y posteriores (1, 2, 3) a éste. Para días consecutivos que cumplan con dicho criterio, se tomó al del máximo valor.

Perturbación ligera ($Ap > 20 \gamma$)

En la figura 4.13 se presentan los resultados para todo el periodo estudiado (1996-1999). En las figuras 4.13a, b y c, las muertes por infarto al miocardio se incrementan 3 días después de la perturbación. Para la gráfica de la figura 4.3e hay un incremento 2 días después de la perturbación. En la figura 4.3d, el decremento ocurre 1 día después de la perturbación.

Por otro lado, en la figura 4.14 se presenta el análisis hecho para el periodo cercano al máximo de actividad solar (1998-1999). Las figuras 4.14a, b, c, e y f muestran un incremento en las muertes 3 días después de la perturbación, mientras que en la figura 4.14d empieza una disminución el mismo día de la perturbación y llega a un mínimo 2 días después.

La figura 4.15 corresponde a los resultados para el mínimo solar (1996). Las figuras 4.15a y c muestran una disminución de las muertes 1 día después de la perturbación. En la figura 4.15b, hay un incremento el día de la perturbación. La figura 4.15e muestra una disminución 3 días antes y mientras que en la figura 4.15d ocurre un aumento 1 día antes. En la figura 4.15f no se observa algún cambio evidente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

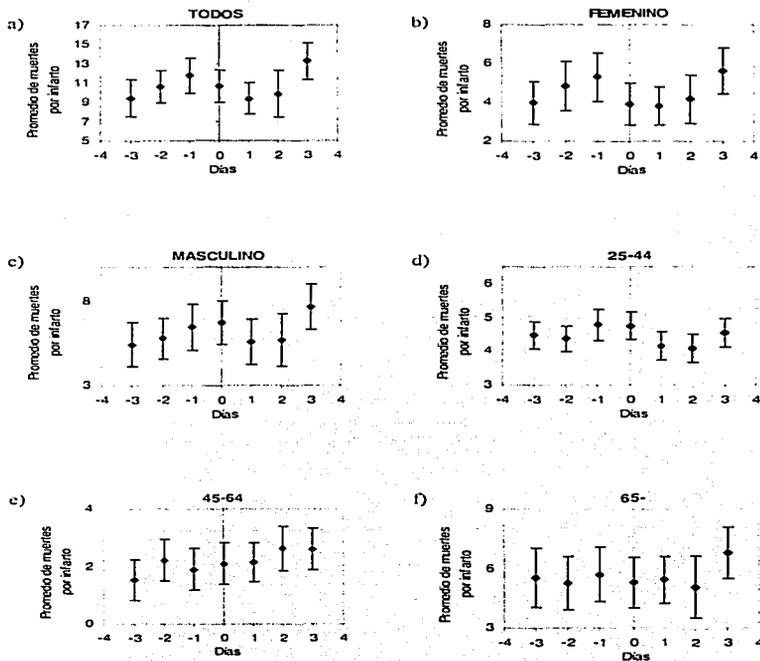


Fig. 4.13 Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas, alrededor de los días de Ap > 20 y (día "0") durante el periodo completo (1996-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

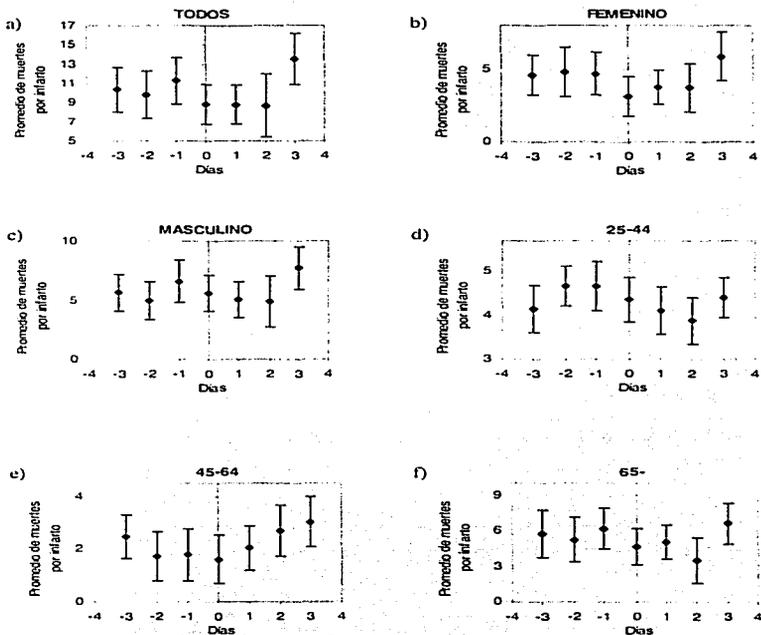


Fig. 4.14 Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas alrededor de los días de $A_p > 20$ y (día "0") durante el período cercano al máximo solar (1998-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

TESIS CON
FALLA DE CALIFICACION

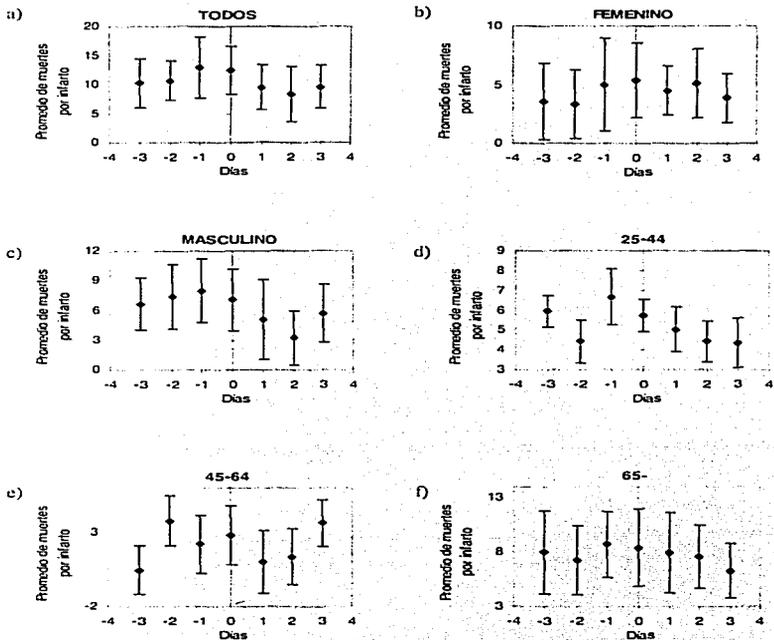


Fig. 4.15 Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas alrededor de los días de $Ap > 20$ y (día "0") en el mínimo solar (1996) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

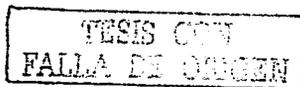
Tormentas geomagnéticas moderadas ($A_p > 49 \gamma$)

En la figura 4.16 se muestran los resultados obtenidos para el periodo completo (1996-1999). Las figura 4.16a muestra un decremento de las muertes 1 día después de la perturbación, mientras que la figura 4.16b lo presenta el mismo día. En las figuras 4.16c y e se observa un incremento el mismo día de la perturbación. La figura 4.16f presenta un incremento 3 días antes de la perturbación y la figura 4.16d presenta una disminución de las muertes 3 días antes de la perturbación.

Para el caso de las tormentas geomagnéticas moderadas también se hizo un análisis considerando las fases del ciclo solar, pero no se presentó ningún día con $A_p > 49 \gamma$ en el año del mínimo solar, por lo que sólo se presentan los resultados para el periodo cercano al máximo de actividad solar (1998-1999) en la figura 4.17. Las gráficas de las figuras 4.17a y f muestran un incremento en las muertes por infarto al miocardio, 3 días antes de la perturbación. La figura 4.17b muestra una disminución el mismo día de la perturbación. La figura 4.17e muestra un incremento 3 días después de la perturbación. En la figura 4.17d se observa una disminución 3 días antes de la perturbación, y finalmente, en la figura 4.17c no se nota un cambio claro.

Tormentas geomagnéticas severas ($A_p \geq 100 \gamma$)

Para este tipo de actividad, únicamente se registraron días con $A_p \geq 100 \gamma$ durante el periodo cercano al máximo solar, por lo que sólo se presentan estos resultados en las gráficas de la figura 4.18. Las figuras 4.18a, c, e y f muestran un incremento en las muertes el mismo día de la perturbación. La figura 4.18b presenta un decremento 2 días después de la perturbación. La figura 4.18d muestra un decremento 3 días antes de la perturbación.



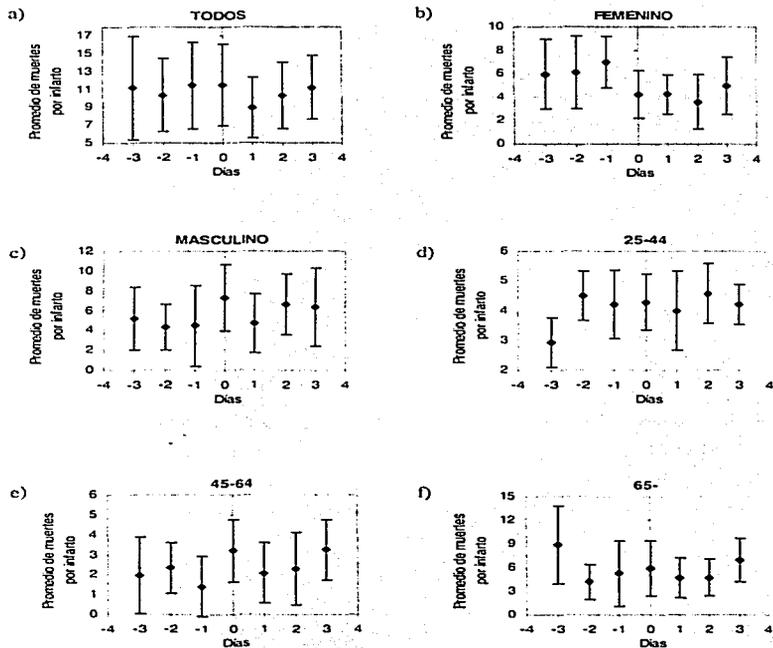


Fig. 4.16 Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas alrededor de los días de $Ap > 49$ y (día "0") durante el periodo completo (1996-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

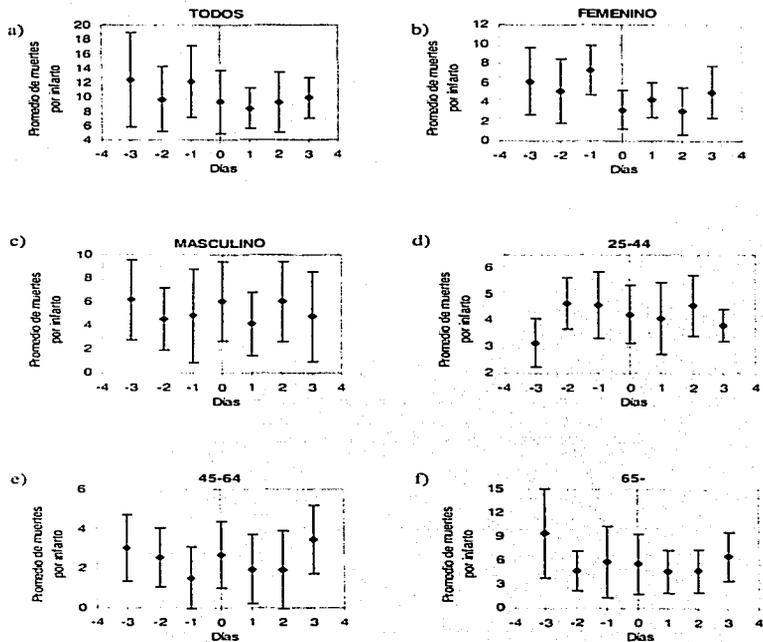


Fig. 4.17 Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas alrededor de los días de $\Delta p > 49$ y (día "0") durante el período cercano al máximo solar (1998-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

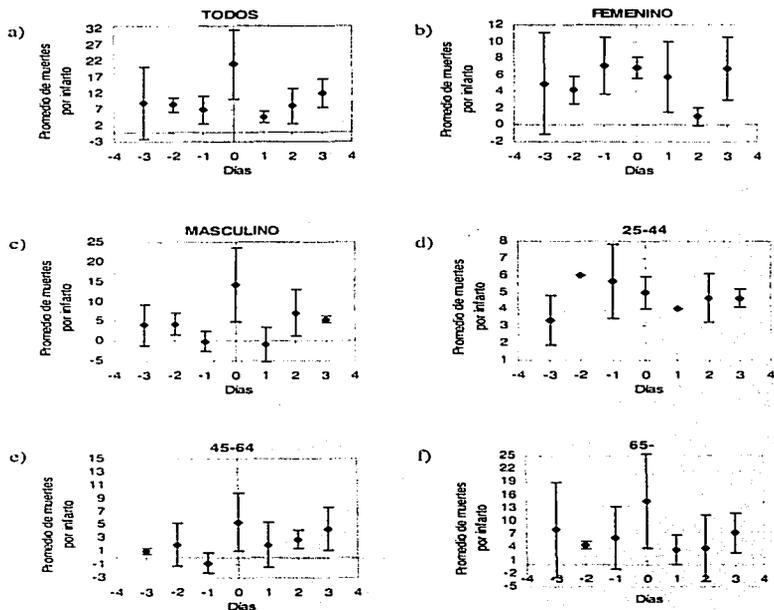
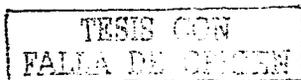


Fig. 4.18 Comportamiento de las muertes por infartos al miocardio mediante análisis de épocas superpuestas alrededor de los días de $A_p \geq 100$ y (día "0") durante el periodo cercano al máximo solar (1998-1999) para todos los grupos de estudio: a) T (todos), b) F (femenino), c) M (masculino), d) 25-44 años, e) 45-64 años, f) ≥ 65 años.

4.3.3 Análisis de resultados por nivel de confianza, sexo y edad

Debido a las altas incertidumbres que se observaron en todas las gráficas, es difícil detectar mínimos o máximos claros en el comportamiento de las muertes por infarto al miocardio (ver figuras 4.11 a 4.18). Por esto, se decidió evaluar los resultados mediante la prueba T de Student aplicada al incremento o decremento en el promedio de muertes en los días asociados a los eventos heliogeofísicos (según el análisis de épocas superpuestas) en comparación con el resto de los días que no se encuentran dentro de la ventana estudiada en el análisis de superposición de épocas. En las tablas 4.6 (1996-1999), 4.7 (1998-1999) y 4.8 (1996) se presenta el resumen de todos estos resultados. Las flechas \uparrow y \downarrow representan un incremento o decremento en el número de muertes en uno de los días alrededor del fenómeno heliogeofísico. El número que les sigue, indica la razón entre el número de muertes en el día de incremento o disminución, en comparación con el resto de los días durante el periodo estudiado. Entre paréntesis se señalan dos números: el primero corresponde al día en el que se dio el incremento o disminución de las muertes, según el análisis de superposición de épocas y el segundo número indica el nivel de confianza, según la prueba T de Student con el que se obtuvo dicho resultado. Además, los resultados con un alto nivel de confianza ($\geq 80\%$) son señalados con números subrayados, mientras que para resultados con bajo nivel de confianza ($\leq 60\%$), los números aparecen en cursivas. La ausencia de números en las tablas 4.6 a 4.8 indica que no se encontró un máximo o mínimo aparente en la ocurrencia de muertes. Podemos observar que en la mayoría de los casos, el fenómeno heliogeofísico está asociado con un aumento en las muertes por infarto al miocardio después o el mismo día en que ocurrió el fenómeno. Tomando sólo en cuenta las razones con un alto nivel de confianza ($\geq 80\%$), se puede ver que hay 21 resultados, de los cuales 16 indican un aumento en las muertes por infarto con relación a los fenómenos heliogeofísicos. Además, se puede ver que el cambio es más frecuente durante o después del día de ocurrencia del fenómeno (15 casos) que antes del mismo (6 casos). Para todo el periodo estudiado (1996-1999), el día más frecuente es el +1; para el periodo cercano al máximo solar (1998-1999), son los +3 y 0; y para el mínimo (1996) ambos casos ocurrieron en días diferentes. Si tomamos en cuenta los 21 casos, el día más frecuente es el +3 con un



total de 6 casos, de los cuales, sólo uno se refiere a una disminución en las muertes (Grupo F, 1998-1999 bajo el criterio de Fd).

Tabla 4.6. Razones entre muertes por infarto al miocardio en el día señalado (primer número entre paréntesis) y el resto de los días, según el análisis de superposición de épocas presentado en las figuras 4.11, 4.13 y 4.16 para todo el periodo (1996-1999). El nivel de confianza es el segundo número entre paréntesis.

Grupos	Fd	Ap>20y	Ap>49y
T	<u>↑ 1.28</u> <i>(+1, ≤50%)</i>	<u>↑ 1.17</u> <i>(+3, 80%)</i>	<u>↓ 0.8</u> <i>(+1, ≤50%)</i>
F	<u>↑ 1.31</u> <i>(-1, ≤50%)</i>	<u>↑ 1.15</u> <i>(+3, 60%)</i>	<u>↓ 0.9</u> <i>(0, ≤50%)</i>
M	<u>↑ 1.67</u> <i>(+1, 90%)</i>	<u>↑ 1.18</u> <i>(+3, 60%)</i>	<u>↑ 1.14</u> <i>(0, ≤50%)</i>
25-44	<u>↑ 1.10</u> <i>(+2, ≤50%)</i>	<u>↓ 0.86</u> <i>(+1, 95%)</i>	<u>↓ 0.71</u> <i>(-3, 90%)</i>
45-64	<u>↑ 1.18</u> <i>(-2, ≤50%)</i>	<u>↑ 1.14</u> <i>(+2, ≤50%)</i>	<u>↑ 1.43</u> <i>(0, 60%)</i>
≥ 65	<u>↑ 1.59</u> <i>(+1, 80%)</i>	<u>↑ 1.11</u> <i>(+3, ≤50%)</i>	<u>↑ 1.49</u> <i>(-3, 80%)</i>

Para una referencia rápida: Los números subrayados corresponden a un nivel de confianza $\geq 80\%$ de la prueba T de Student, mientras que los números en cursivas corresponden a un nivel de confianza de $\leq 60\%$.

Tabla 4.7. Razones entre muertes por infarto al miocardio en el día señalado (primer número entre paréntesis) y el resto de los días, según el análisis de superposición de épocas presentado en las figuras 4.12, 4.14, 4.17 y 4.18 para el periodo cercano al máximo solar (1998-1999). El nivel de confianza es el segundo número entre paréntesis.

Grupos	Fd	Ap>20y	Ap>49y	Ap≥100y
T	$\uparrow 1.28$ (+1, 60%)	$\uparrow 1.24$ (+3, 90%)	$\uparrow 1.13$ (-3, ≤50%)	$\uparrow 1.93$ (0, 90%)
F	$\downarrow 0.21$ (+3, 90%)	$\uparrow 1.27$ (+3, 80%)	$\downarrow 0.72$ (0, ≤50%)	$\downarrow 0.22$ (+2, 60%)
M	$\uparrow 1.65$ (+1, 90%)	$\uparrow 1.22$ (+3, 80%)		$\uparrow 2.24$ (0, 90%)
25-44	$\uparrow 1.15$ (+2, ≤50%)	$\downarrow 0.91$ (0, 60%)	$\downarrow 0.78$ (-3, 80%)	$\downarrow 0.82$ (-3, 50%)
45-64	$\uparrow 1.43$ (-2, ≤50%)	$\uparrow 1.38$ (+3, 80%)	$\uparrow 1.56$ (+3, 60%)	$\uparrow 2.42$ (0, 80%)
≥ 65	$\uparrow 1.61$ (+1, 80%)	$\uparrow 1.12$ (+3, ≤50%)	$\uparrow 1.58$ (-3, 80%)	$\uparrow 2.45$ (0, 90%)

Para una referencia rápida: Los números subrayados corresponden a un nivel de confianza $\geq 80\%$ de la prueba T de Student, mientras que los números en cursivas corresponden a un nivel de confianza de $\leq 60\%$.

Tabla 4.8. Razones entre muertes por infarto al miocardio en el día señalado (primer número entre paréntesis) y el resto de los días, según el análisis de superposición de épocas presentado en la figura 4.15 para el mínimo solar (1996). El nivel de confianza es el segundo número entre paréntesis.

Grupos	$\Delta p > 20\%$
T	$\downarrow 0.87$ (+1, $\leq 50\%$)
F	$\uparrow 1.12$ (0, $\leq 50\%$)
M	$\downarrow 0.82$ (+1, $\leq 50\%$)
25-44	$\uparrow 1.32$ (-1, 95%)
45-64	$\downarrow 0.17$ (-3, 80%)
≥ 65	

Para una referencia rápida: Los números subrayados corresponden a un nivel de confianza $\geq 80\%$ de la prueba T de Student, mientras que los números en cursivas corresponden a un nivel de confianza de $\leq 60\%$.

Con relación al fenómeno heliogeofísico que parece tener más repercusión sobre el comportamiento de las muertes por infarto al miocardio, se tienen los siguientes resultados:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Para todo el periodo estudiado, $A_p > 49\gamma$ es el más frecuente. Cabe notar, que si se tomaran en cuenta los casos para $A_p \geq 100\gamma$, que no fue considerado más que en la tabla del máximo, ya que no se registraron fenómenos de este tipo durante 1996-1997, éste sería el más frecuente.
- Para el periodo cercano al máximo de actividad solar (1998-1999), $A_p \geq 100\gamma$ es el más frecuente, seguido por $A_p > 20\gamma$
- Para el mínimo solar, sólo hubo registros para $A_p > 20\gamma$, ya que no se registraron fenómenos de alta actividad solar.

Con respecto a los resultados por sexo, en la mayoría de los casos, el grupo M (masculino) tiene mayores incrementos que el grupo F (femenino). Los mayores valores, en este estudio son:

- 2.24 para el grupo M con relación a $A_p \geq 100\gamma$, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta el mismo día del fenómeno (ver figura 4.18c).
- 1.67 para el grupo M con relación a los decrementos Forbush, para todo el periodo estudiado, y cuyo cambio se presenta un día después del fenómeno (ver figura 4.11c).
- 1.65 para el grupo M con relación a los decrementos Forbush, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta un día después del fenómeno (ver figura 4.12c).

Analizando la cuestión de las edades, los grupos que parecen ser más afectados por los fenómenos heliogeofísicos son los mayores de 45 años, siendo los mayores valores de:

- 2.45 para el grupo de ≥ 65 años con relación a $A_p \geq 100\gamma$, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta el mismo día de ocurrencia del fenómeno (ver figura 4.18f).
- 2.42 para el grupo de 45-64 años con relación a $A_p \geq 100\gamma$, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta el mismo día de ocurrencia del fenómeno (ver figura 4.18e).

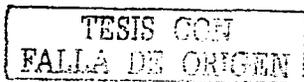
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como podemos ver, los resultados indican que entre mayor sea el nivel de perturbación geomagnética, el incremento en las muertes parece ser mayor, en cuanto a los casos que presentan un cambio antes del fenómeno, quizás pudiera estar relacionado con ciertas manifestaciones que preceden dicho fenómeno, como los rayos x o las emisiones ultravioleta [Tascione, 1994].

4.4 Relación entre muertes por infarto al miocardio y el resto de las muertes por cualquier otra causa, bajo el criterio de los fenómenos heliogeofísicos

En esta sección se efectúa un análisis con objeto de comenzar a establecer la importancia de la actividad solar como factor de influencia en la mortalidad por infartos al miocardio en la población mexicana, comparando esta patología con todo el resto de las defunciones ocurridas por cualquier otra causa. En dicho análisis, específicamente, se compara el número de muertes por infarto al miocardio en el día en el que se detectó un evento de actividad heliogeofísica, es decir, un máximo o mínimo según los resultados del análisis de superposición de épocas con respecto a los fenómenos heliogeofísicos (ver Sección 4.3 y para mayor detalle, las tablas 4.6, 4.7 y 4.8) con relación al resto de las muertes registradas en México por cualquier otra causa (ver Apéndice F para observar el comportamiento de todas las muertes en México).

La Dirección General de Epidemiología proporcionó una base de datos con un total de 1 628 344 muertes por cualquier causa (excepto infartos al miocardio), registradas en todo México durante el periodo del 1º de enero de 1996 al 31 de diciembre de 1999. La base original de datos se depuró de tal manera que pudiera compararse con la serie de fallecimientos por infarto al miocardio. Para todas las muertes registradas en el país, se consideraron todos los datos de fallecimiento por cualquier causa para el periodo de 1996 a



1999, con excepción de las muertes por infarto al miocardio y se hizo la división por sexo y edad siguiendo el mismo criterio de división de la Sección 4.1.1. En la tabla 4.9 se muestra el número de casos totales considerados y su división por sexo y edad.

Tabla 4.9. Número de muertes totales y por sexo y edad, en México, debidas a todas las causas posibles con excepción de infarto al miocardio, durante el periodo del 1°. de enero de 1996 al 31 de diciembre de 1999

Todos	Femenino	Masculino	Sexo no conocido*	15 - 24 años	25 - 44 años	45 - 64 años	≥ 65 años	Edad no conocida*
1 438 193	626 324	790 096	11 773	74 715	202 257	328 593	737 552	95 076

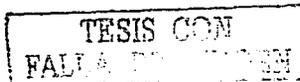
* Datos desconocidos en la base de datos

De igual manera, para la división por fases del ciclo solar, se tomó el mismo criterio analizado en la Sección 4.2.1 (Periodo total: 1996-1999, cercano al máximo: 1998-1999, y mínimo solar: 1996).

En las tablas 4.10 (Clasificación por sexo) y 4.11 (Clasificación por edad) se presentan todos los resultados que correspondieron a un nivel de confianza $\geq 80\%$, según el análisis presentado en la Sección 4.3.3. En la última columna de cada tabla se presenta la siguiente razón:

$$\frac{P_{inf}}{T_{inf}} \quad \frac{P_{muertes}}{T_{muertes}}$$

donde P_{inf} es el promedio de muertes por infarto al miocardio en el día en que se produce un cambio (máximo o mínimo, obtenido por el análisis de superposición de épocas) mientras que $P_{muertes}$ es el promedio de muertes por el resto de las causas en el mismo día.



T_{inf} es el número total de muertes por infarto al miocardio para el grupo de estudio; y $T_{muertes}$ es el número total de muertes por el resto de las causas para el grupo de estudio. De hecho, la comparación que se realiza es entre el número normalizado de muertes por infarto al miocardio $\frac{P_{inf}}{T_{inf}}$ y el número normalizado de muertes debido al resto de las causas $\frac{P_{muertes}}{T_{muertes}}$ en el día en el que los infartos al miocardio son afectados por alguno de los factores heliogeofísicos estudiados.

Se puede observar que para la mayoría de los casos, los resultados obtenidos en la sección anterior se corroboran por este análisis de comparación, con excepción de dos: el grupo M y el grupo de edad de 45-64 años con el criterio de $Ap > 20\gamma$ para el período cercano al máximo (1998-1999), que habfan mostrado máximos de muertes en los días +3 después del día "0" en el análisis de superposición de épocas.

Para el caso de la división por sexos, los primeros cuatro datos de la tabla 4.10, que mostraron un incremento en el número de muertes por infarto al miocardio, en los días señalados respectivamente, muestran una razón mayor que uno con respecto al promedio normalizado de muertes por cualquier otra causa, es decir, el incremento en las muertes por infarto al miocardio en el día señalado es mayor que el promedio de muertes por cualquier otra causa en el mismo día. El último dato habfa mostrado un decremento en el número de muertes por infarto al miocardio, en el día +3, y, en la comparación con el promedio normalizado de muertes por cualquier otra causa, muestra una razón menor a uno, es decir, la disminución en las muertes por infarto al miocardio en el día señalado es menor que el promedio de muertes por cualquier otra causa en el mismo día.

En la tabla 4.11 se observa una razón mayor que uno para los datos 1-9 y 11, que son los grupos de edad que previamente habfan mostrado un incremento en el número de muertes por infarto al miocardio, en los días señalados respectivamente, por lo que se puede apreciar que el incremento en las muertes por infarto al miocardio en el día señalado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

es mayor que el promedio normalizado de muertes por cualquier otra causa en el mismo día. Para los últimos cuatro datos, se obtuvieron razones menores a uno, y estos mismos eran los grupos de edad que habían mostrado una disminución en el número de muertes por infarto al miocardio, en los días señalados respectivamente, así pues, se tiene como resultado que la disminución en las muertes por infarto al miocardio en el día señalado es menor que el promedio normalizado de muertes por cualquier otra causa en el mismo día.

Tabla 4.10. Razón de comparación entre el número normalizado de muertes por infarto al miocardio y el número normalizado de muertes debido al resto de las causas en el día señalado en la cuarta columna para los grupos de sexo con nivel de confianza mayor o igual al 80% en el análisis de superposición de épocas (ver tablas 4.6, 4.7 y 4.8).

Sexo	Fenómeno heliogeofísico	Período	Día de máximo ↑ o mínimo ↓	Razón de Aumento o disminución	Razón: $\frac{P_{int}}{T_{int}} / \frac{P_{muertes}}{T_{muertes}}$
M	Ap≥100γ	1998-99	0↑	2.24	<u>1.13</u>
M	Fd	1996-99	+1↑	1.67	<u>1.07</u>
M	Fd	1998-99	+1↑	1.65	<u>1.07</u>
F	Ap>20γ	1998-99	+3↑	1.27	<u>1.01</u>
M	Ap>20γ	1998-99	+3↑	1.22	<i>0.99</i>
F	Fd	1998-99	+3↓	0.21	<u>0.88</u>

Para una referencia rápida: Los números subrayados corresponden a una confirmación de los resultados obtenidos por el análisis de superposición de épocas, mientras que los números en cursivas corresponden a un resultado contrario a lo obtenido anteriormente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.11. Razón de comparación entre el número normalizado de muertes por infarto al miocardio y el número normalizado de muertes debido al resto de las causas en el día señalado en la cuarta columna para los grupos de edad con nivel de confianza mayor o igual al 80% en el análisis de superposición de épocas (ver tablas 4.6, 4.7 y 4.8).

Edad	Fenómeno heliogeofísico	Período	Día de máximo ↑ o mínimo ↓	Razón de Aumento o disminución	Razón: $\frac{P_{inf.}}{T_{inf.}} / \frac{P_{muertes}}{T_{muertes}}$
65	Ap≥100γ	1998-99	0↑	2.45	<u>1.52</u>
45-64	Ap≥100γ	1998-99	0↑	2.42	<u>1.36</u>
65	Fd	1998-99	+1↑	1.61	<u>1.10</u>
65	Fd	1996-99	+1↑	1.59	<u>1.07</u>
65	Ap>49γ	1998-99	-3↑	1.58	<u>1.15</u>
65	Ap>49γ	1996-99	-3↑	1.49	<u>1.09</u>
45-64	Ap>20γ	1998-99	+3↑	1.38	<i>0.99</i>
25-44	Ap>20γ	1996	-1↑	1.32	<u>1.35</u>
25-44	Ap>20γ	1996-99	+1↓	0.86	<u>0.91</u>
25-44	Ap>49γ	1998-99	-3↓	0.78	<u>0.81</u>
25-44	Ap>49γ	1996-99	-3↓	0.71	<u>0.74</u>
45-64	Ap>20γ	1996	-3↓	0.17	<u>0.87</u>

Para una referencia rápida: Los números subrayados corresponden a una confirmación de los resultados obtenidos por el análisis de superposición de épocas, mientras que los números en cursivas corresponden a un resultado contrario a lo obtenido anteriormente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

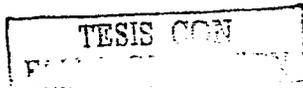
Así pues, con el análisis presentado en esta última sección, se apoyan los resultados obtenidos en el análisis de superposición de épocas, mostrando además, que cuando se compara lo ocurrido con las muertes por infarto al miocardio con relación a cualquier otro tipo de causa, los fenómenos heliogeofísicos parecen ser un factor de importancia para la patología estudiada.

4.5 Resumen del capítulo

En este capítulo se presentaron los resultados de los análisis realizados con las series de tiempo de mortalidad diaria por infartos al miocardio en México de 1996 a 1999 (129 917 casos), su división por sexo y edad, por fase de actividad solar y la comparación con fenómenos heliogeofísicos que han mostrado ser relevantes en este tipo de estudios, es decir, los decrementos Forbush en rayos cósmicos y varios niveles de actividad geomagnética medidos por el índice geomagnético A_p ($A_p > 20\gamma$, $A_p > 49\gamma$ y $A_p \geq 100\gamma$).

A partir de las gráficas en el espacio temporal, se vio que los infartos al miocardio siguen un comportamiento anual bastante pronunciado, con excepción de los grupos de edad de 15 a 24 años y de 25 a 44 años. Para el grupo de 15 a 24 años de edad, las gráficas en el espacio temporal son bastante ruidosas, y dado que tiene muy pocos datos (517), en comparación con el resto de las series de tiempo, este grupo se desechó de los demás análisis.

En el análisis espectral se observó que para todas las gráficas, la frecuencia anual o sus armónicos, estaban presentes, mientras que, a altas frecuencias, destacó la periodicidad correspondiente a 7 días para todos los grupos con excepción del de ≥ 65 años. Cuando este análisis se hizo considerando las fases del ciclo de actividad solar, se observó que para todos los grupos excepto el de 25-44 años, el pico de 7 días está presente en épocas

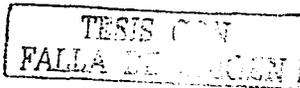


cercanas al máximo solar y ausente durante el mínimo solar. Para el caso del grupo femenino, la periodicidad aparece en 7.7 días en el mínimo solar, y para el grupo de 25-44 años, durante el mínimo sí aparece el pico de 7 días.

La periodicidad de 7 días fue analizada con mayor detalle para los grupos que la mostraron y se observó que los infartos aumentaban durante los fines de semana en comparación con el resto de los días, lo cual pudiera deberse a la accesibilidad de atención médica en toda la República Mexicana, la cual puede ser escasa durante los fines de semana.

Se analizó el comportamiento de las muertes alrededor de los días en que tuvo lugar el fenómeno heliogeofísico de interés (decrementos Forbush o nivel de perturbación geomagnética medida por A_p) y se evaluaron los resultados mediante la prueba T de Student. Se encontró que el fenómeno heliogeofísico que parece tener más repercusión sobre el comportamiento en las muertes por infarto al miocardio, es $A_p > 49\gamma$ para todo el periodo estudiado, y que para el periodo cercano al máximo de actividad solar (1998-1999), $A_p \geq 100\gamma$ es el más frecuente, seguido por $A_p > 20\gamma$.

En los resultados por sexo, en la mayoría de los casos, el grupo masculino tiene mayores incrementos que el femenino, con relación al fenómeno heliogeofísico estudiado. Se encuentra que para el grupo masculino, las muertes por infarto al miocardio se incrementan por un factor de 2.24 (poco más del doble) el mismo día del fenómeno ($A_p \geq 100\gamma$) con respecto al promedio del resto de los días, durante épocas de máximo solar. Los otros valores que le siguen son incrementos de 1.67 (masculino, con relación a los decrementos Forbush, para todo el periodo estudiado, y cuyo cambio se presenta un día después del fenómeno) y 1.65 (masculino, decrementos Forbush, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta un día después del fenómeno). Con relación a los resultados por edad, los grupos más afectados por los fenómenos heliogeofísicos son los mayores de 45 años, siendo los mayores valores de los factores de incremento, el de 2.45



(grupo de ≥ 65 años, con relación a $A_p \geq 100\gamma$, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta el mismo día de ocurrencia del fenómeno) y el de 2.42 (grupo de 45-64 años, con relación a $A_p \geq 100\gamma$, durante épocas de máximo solar, y cuyo cambio se presenta el mismo día de ocurrencia del fenómeno).

Haciendo un análisis de comparación del comportamiento de muertes por infarto al miocardio en el día en el que se observó un cambio repentino (incremento o decremento) debido a alguno de los fenómenos heliogeofísicos con respecto al resto de las muertes registradas en México por cualquier otra causa, se encontró que los fenómenos heliogeofísicos parecen ser un factor de riesgo para la patología estudiada y se confirmaron los resultados obtenidos por el análisis de superposición de épocas.

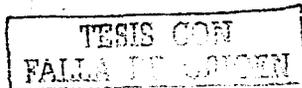
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conclusiones

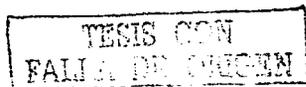
A lo largo de la tesis se planteó la cuestión de la relación entre la Salud humana y la Actividad Solar, para apoyar esta hipótesis se analizó la interacción entre un modelo celular y la radiación electromagnética producida por tormentas eléctricas (que han sido relacionadas con la actividad solar) llegando a las siguientes conclusiones:

- Para células con geometrías cúbica, esférica y cilíndrica, los rayos pueden afectar a las células de gran tamaño (10^{-4} m), a 10^4 Hz. Una célula que cumple con la geometría y tamaño es el óvulo femenino.
- Para la geometría cilíndrica con orientación del eje paralela a la dirección de la onda (y en el caso en que la longitud es 10 o más veces el diámetro de la cara circular) los rayos también pueden afectar a las células promedio (10^{-5} m). Las células que recaen en estas geometrías y tamaño son, por ejemplo, los axones de las células nerviosas y las fibras musculares. Cabe notar que los miocitos, en conjunto, que constituyen el músculo cardíaco, podrían ser parte de estas células afectadas por la radiación electromagnética de los rayos, lo que precisamente apoya aún más la hipótesis planteada en esta tesis.
- Para células con geometría de prisma cuadrangular, ningún fenómeno natural puede afectarlas en el intervalo de frecuencias estudiado.

Se analizaron las muertes por infarto al miocardio durante un periodo de 4 años en un amplio contexto de actividad solar, concluyendo, al final del trabajo lo siguiente:

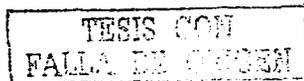


- Las series de tiempo de los infartos al miocardio muestran una clara periodicidad de tipo anual, que es corroborada mediante el análisis espectral (el programa computacional utilizado para el análisis espectral tiene una baja resolución en el intervalo de bajas frecuencias por lo que la frecuencia es de 333 días, en lugar de 365 días). Esta periodicidad y el resto, que corresponden a las bajas frecuencias, pueden relacionarse con variaciones estacionales o de carácter social.
- A frecuencias altas, la periodicidad que destaca en la mayoría de las series, es la correspondiente a 7 días. Esta periodicidad ha sido atribuida a la organización social de la vida. No obstante, otro punto de vista propone que la señal refleja un ritmo biológico circaseptano, y quizás las costumbres sociales pueden atribuirse a un origen biológico. Con un mayor análisis, se pudo observar que la periodicidad de 7 días muestra, para la mayoría de los grupos, un incremento en la muerte por infarto al miocardio, en los fines de semana, en comparación con los días de entre semana, lo cual puede atribuirse a una disminución en la calidad de la atención médica durante los fines de semana.
- Estudiando el comportamiento de las periodicidades con relación a diferentes fases del ciclo solar, se pudo observar que durante el mínimo solar (1996), la periodicidad circaseptana está ausente en comparación con épocas próximas al máximo de actividad solar (1998-1999), lo cual es consistente reportes previos en la literatura y pudiera deberse a una resonancia entre fenómenos heliogeofísicos que, según se ha estudiado, también presentan periodicidades del orden de 7 días.
- En el análisis de épocas superpuestas, con relación a los decrementos Forbush y a varios niveles del índice Ap, se observó que hay un incremento en las muertes por infarto al miocardio en la mayoría de los casos analizados, y que conforme la intensidad de la perturbación geomagnética se incrementa, la razón entre muertes en periodos activos, en comparación con las de periodos de calma, también se incrementa. Esto se corrobora al considerar las fases del ciclo solar, pudiéndose observar que los periodos cercanos al máximo solar representan el mayor riesgo para la ocurrencia de muertes por infarto al miocardio.



- Con respecto a la división por sexo, se pudo ver que, en la mayoría de los casos, las muertes por infarto al miocardio son mayores para el sexo masculino que para el femenino, además de que dicha diferencia se incrementa conforme aumenta el nivel de actividad geomagnética.
- Para la división por edad, el grupo que es más afectado por los fenómenos heliogéofísicos es el de personas mayores de 65 años, además de que, durante periodos cercanos al máximo solar, el grupo de 45 a 64 años de edad también resulta ser vulnerable.
- Los resultados mencionados tienen un alto grado de confiabilidad según las pruebas estadísticas utilizadas, por lo que los resultados aquí mostrados presentan un argumento a favor de la relación entre la patología de infartos al miocardio y la actividad solar, que debe tomarse en cuenta seriamente para futuros estudios en el área de la Física de la Relaciones Sol-Salud Humana.
- Además de lo anterior, el análisis de superposición de épocas se pudo corroborar mediante la comparación de los promedios normalizados de los casos de muertes por infarto al miocardio y de los casos de muertes por cualquier otra causa, encontrando consistencia para la mayoría de los resultados (con excepción del grupo M y el grupo de edad de 45-64 años con el criterio de $A_p > 20\gamma$ para el período cercano al máximo). Este análisis nos da una evaluación epidemiológica del riesgo que presenta la actividad solar, en relación con la patología estudiada aquí, y que indica que esta actividad solar sí influye en la incidencia de muertes por infarto al miocardio.

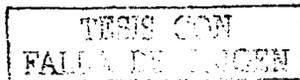
Como se pudo en el desarrollo de la tesis, la tarea de investigar la relación entre la actividad solar y la salud humana es un trabajo sumamente arduo y multidisciplinario. En este trabajo se contó con la ayuda y el punto de vista de la comunidad médica en el área de cronobiología, epidemiología y estudios ambientales, así como de la comunidad de físicos espaciales, por lo que, aunado a la calidad de las bases de datos proporcionados, dan como



resultado conclusiones muy interesantes que pueden tomarse seriamente en cuenta para investigaciones futuras, como las que a continuación se proponen:

- Aprovechando la relación de trabajo entre las comunidades médica y física espacial, como se está dando actualmente en México, y ya se ha dado ampliamente en países como Rusia y Cuba, y en menor medida en Italia y Estados Unidos, se pretende estudiar la relación entre la actividad solar y la patología de infartos al miocardio para periodos mayores de tiempo que cubran, por lo menos, un ciclo solar y observar si los resultados presentados vuelven a mostrar un comportamiento similar como el que aquí se obtuvo. Además, se pretende investigar otro tipo enfermedades que se han relacionado con la actividad solar, como son las enfermedades relacionadas al sistema nervioso y otro tipo de patologías cardíacas y de muerte súbita.
- También se desea continuar la investigación sobre el mecanismo físico que podría explicar la relación entre la actividad solar y la salud humana, tomando en cuenta, tanto los resultados obtenidos en mi tesis de maestría, como en el presente trabajo doctoral, que ha mostrado que la radiación electromagnética a 10^3 Hz puede afectar a nivel celular, según el modelo presentado, el comportamiento de los sistemas biológicos. Por lo que, en lo futuro, se podrían ir complicando los modelos con objeto de aproximarlos cada vez más a las células reales, e incrementar las variables del sistema para aproximarlos también a sistemas biológicos más complicados.

Por último, cabe mencionar que los resultados obtenidos han sido reportados en 5 trabajos de investigación, 4 de ellos son artículos publicados y/o aceptados para publicación en revistas internacionales arbitradas (aparecen subrayados en la lista de referencias). El objetivo es dar a conocer las investigaciones científicas realizadas en México sobre este tema tan interesante y todavía sumamente controversial, que podría tener una gran trascendencia en la medicina del futuro y en la concepción física de nuestro medio ambiente.



Apéndice A

Clasificación de los ritmos biológicos

De acuerdo a su frecuencia, los ritmos biológicos se pueden clasificar en [Halberg et al., 1991]:

1. Circadianos.- Que corresponden a variaciones biológicas con frecuencia de 1 ciclo en 24 ± 4 horas. La palabra fue acuñada por Franz Halberg et al. [1959] y viene de *circa*=aproximadamente y de *dfa*, que equivale a 24 horas.
2. Ultradianos.- Variaciones biológicas con frecuencias mayores que la circadiana, es decir, con periodos menores de 20 horas. Entre estos ritmos se encuentran los siguientes:
 - Circasemidiano: Que corresponde a 1 ciclo en alrededor de 12 horas
 - Entre los ritmos ultradianos que se observan en el ser humano, se encuentran, por ejemplo, los ritmos cardíacos, electroencefalográficos, mitóticos y enzimáticos.
3. Infradianos.- Variaciones biológicas con frecuencias menores que la circadiana, es decir, con periodos mayores de 28 horas. Ejemplos de esta clase de ritmos son:
 - Circasemiseptano: Que corresponde a 1 ciclo en alrededor de 3.5 días
 - Circaseptano: Que corresponde a 1 ciclo en alrededor de 7 días
 - Circatrigintano: Que corresponde a 1 ciclo en alrededor de 30 días
 - Circasemianual: Que corresponde a 1 ciclo en alrededor de 6 meses
 - Circannual: Que corresponde a 1 ciclo en alrededor de 1 año
 - También se han encontrado ritmos con periodos mayores a un año, algunos de los cuales se han relacionado con la actividad solar (Ver Capítulo 1, Sección 1.6).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Apéndice B

Filtración digital de Series de tiempo

La filtración de una serie de tiempo tiene como objetivo la separación de componentes de frecuencia, ya sea permitiendo sólo el paso de frecuencias bajas (filtro pasa-bajos), frecuencias altas (filtro pasa-altos), frecuencias en un intervalo determinado (filtro pasa-banda), o bien, impedir el paso de alguna frecuencia determinada (filtro supresor de banda). En la figura B.1 se muestra el filtrado para bajas y altas frecuencias que componen una onda sinusoidal ruidosa.

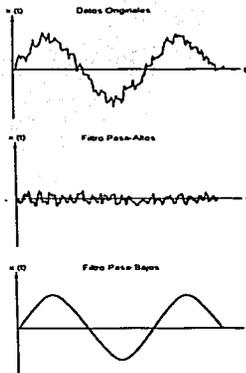


Figura B.1. Ejemplo de filtrados pasa-altos y pasa-bajos para una onda sinusoidal ruidosa. En el primero sólo sobreviven frecuencias altas (ruido), mientras que en el segundo, sólo quedan las bajas frecuencias, en este caso, la forma sinusoidal de la señal.

Los filtros digitales [Bendat y Piersol, 1971] consideran series de tiempo discretas muestreadas a intervalos iguales de tiempo. La relación entre las señales de entrada $x(t)$ y la de salida $y(t)$ en un filtro lineal está dada por la llamada integral de convolución:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

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:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) e^{-j2\pi f \tau} d\tau \quad (2)$$

En la figura B.2 se muestran los filtros pasa-bajos, pasa-altos y pasa-bandas para el caso ideal y los que se usan en la práctica, los cuales tratan de aproximarse lo más que se pueda a los filtros ideales.

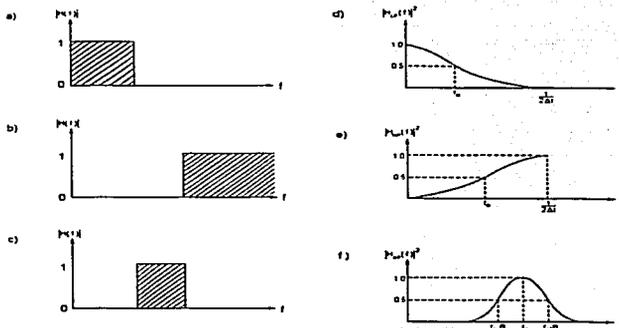


Figura B.2 Características de los filtros digitales ideales. a) Pasa-bajos, b) Pasa-altos c) Pasa-bandas; y filtros reales d) Pasa-bajos, e) Pasa-altos f) Pasa-bandas

La función que se usa en el filtro digital real depende de los valores mínimo y máximo de la frecuencia del filtro, para establecer su función pasa-bajos, pasa-bandas o supresor de bandas; del parámetro de Gibbs, que depende de las 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 [Help PV-Wave CL Versión 6.10].

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Apéndice C

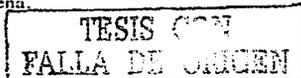
Isquemias cardíacas [Esper y Suárez, 1992]

El corazón

El corazón y los vasos sanguíneos proporcionan al cuerpo una bomba y un sistema de conducción de 96000 km de tubería, por la que circulan unos 5.7 litros de sangre. La sangre alcanza todos los tejidos del cuerpo, llevando oxígeno y sustancias nutritivas de los pulmones y aparato digestivo, respectivamente, y retirando desechos que eliminan los pulmones y los riñones.

El corazón se aloja en la cavidad torácica en la región izquierda del tórax anterior (frente), entre las costillas 2 y 6, y está formado por el músculo cardíaco (miocardio), envuelto por el tejido del pericardio. Este órgano funciona como dos bombas conectadas, separadas por la pared septal, que es un tabique muscular interpuesto entre los lados izquierdo y derecho. Las bombas se activan mediante estímulos nerviosos eléctricos y sus contracciones rítmicas hacen circular la sangre por las arterias y venas. Cada lado del corazón contiene una cámara superior (aurícula), que recibe sangre de las venas y otra inferior (ventrículo), que bombea la sangre a las arterias, con la ayuda de válvulas de sentido único, que controlan el flujo sanguíneo a través del corazón (Ver figura C.1).

El corazón recibe sangre desoxigenada o venosa, procedente de los tejidos del cuerpo, por medio de la vena cava a la aurícula derecha, que al contraerse, la inyecta, a través de la válvula tricúspide, en el ventrículo derecho. La contracción del ventrículo derecho, cierra la válvula tricúspide, expulsando la sangre por la válvula pulmonar a las arterias pulmonares y los pulmones donde se oxigena.



La sangre oxigenada o arterial, que procede de los pulmones, regresa por las venas pulmonares a la aurícula izquierda, que al contraerse, la inyecta a través de la válvula mitral al ventrículo izquierdo. Al contraerse el ventrículo izquierdo, se cierra la válvula mitral, expulsando la sangre a través de la válvula aórtica, a la arteria aorta que lleva sangre oxigenada a todo el cuerpo. La fase de relajación simultánea de las dos mitades del corazón se conoce como diástole, en la cual se irriga todo el órgano, mientras que la fase de contracción, denominada sístole, se manifiesta en un latido, y en ella se vacía la sangre hacia afuera del corazón.

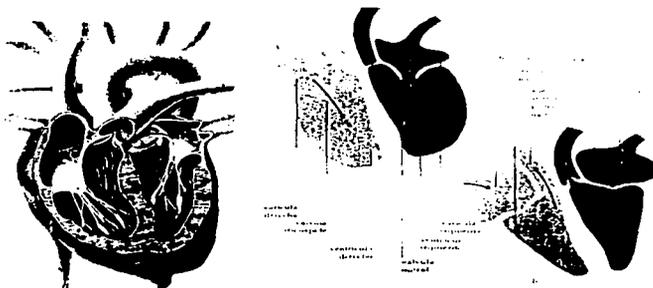


Fig. C.1. El corazón visto en un diagrama tridimensional y en otro bidimensional.

- a) Diagrama del corazón en tercera dimensión, en donde se muestra la vena cava (A), la aurícula derecha (B), la válvula tricúspide (C), el ventrículo derecho (D), la válvula pulmonar (E), las arterias pulmonares (F), las venas pulmonares (G), la aurícula izquierda (H), la válvula mitral (I), el ventrículo izquierdo (J), la válvula aórtica (K) el arco aórtico (L) y la aorta.
- b) Diagrama del corazón en dos dimensiones. Al contraerse, las aurículas (A) inyectan sangre a los ventrículos, que están relajados. Después los ventrículos derecho e izquierdo se contraen (B) bombeando sangre a la arteria pulmonar y la aorta respectivamente. Entretanto, las aurículas se relajan y se llenan de sangre para volver a iniciar el ciclo.

Cardiopatía isquémica

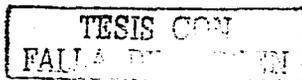
La cardiopatía isquémica, que engloba a todas las isquemias cardíacas, constituye una de las principales causas de morbimortalidad de la población mundial. A partir de la década de los 60's se lograron grandes avances en el conocimiento de esta enfermedad, sus mecanismos de producción, las formas de presentación y los esquemas terapéuticos, sin embargo, aún existen muchas interrogantes sobre este tema.

En la literatura se pueden encontrar distintas denominaciones para esta patología, entre las que se encuentran: enfermedad coronaria, cardiopatía hipóxica y cardiopatía isquémica, siendo este último, el término más aceptado. La cardiopatía isquémica es una enfermedad causada por la falta de oxigenación al miocardio. A nivel celular, esta isquemia se define como la reducción de los fosfatos de alta energía, conversión del metabolismo aeróbico en anaeróbico (es decir, ya no interviene el oxígeno en el metabolismo celular) y compromiso de la función contráctil del corazón (es decir, esta función se altera).

Frecuentemente, también se emplea la denominación de enfermedad coronaria que se está relacionada con padecimientos de aterosclerosis, lo cual no es correcto, pues si bien la mayoría de los pacientes la padecen, existen otras causas que pueden obstruir la circulación de la sangre oxigenada que entra al corazón mediante las arterias coronarias. El curso teórico que puede seguir un enfermo de cardiopatía isquémica, y que cabe recalcar, no es un modelo rígido, puede dividirse en dos etapas: la preclínica y la clínica. En la primera de ellas, puede existir lesión aterosclerótica de las arterias coronarias, pero aún sin exteriorización clínica. La etapa clínica se caracteriza por la presencia de síntomas en todos los pacientes. Esta etapa se puede dividir y subdividir como sigue:

- **Síndromes anginosos**

En el sentido literal, la angina de pecho significa sensación de constricción en el pecho y se la define por los siguientes factores: localización, calidad, duración y las maniobras que la atenúan, incluyendo la respuesta a la administración de medicamentos.



- **Angina estable**

Es la angina que no presentó variaciones en su frecuencia e intensidad durante los últimos tres meses. Los pacientes de este grupo pueden revelar o no infarto previo. Puede presentarse en varios grados de afectación; en primer lugar, puede ser sólo desencadenada por esfuerzos considerables, después, hasta por esfuerzos habituales, en un siguiente grado, por esfuerzos mínimos y por último, presentarse inclusive durante el reposo.

- **Angina inestable**

En este tipo de angina, se comprueba dolor prolongado, casi siempre en reposo, con escasa o ninguna respuesta a los medicamentos (nitritos), además de ciertos perfiles en el electrocardiograma que no reúnen los criterios para el diagnóstico de infarto agudo de miocardio. Esta angina abarca cuadros clínicos con características propias:

- **Angina de reciente comienzo**

Aquí hay una aparición clínica de la angina de pecho en los tres últimos meses. De acuerdo al grado de afectación, los pacientes pueden conservar una capacidad para desempeñar tareas habituales o deben deducirlas mucho.

- **Angina progresiva**

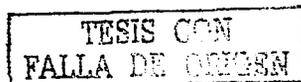
El enfermo sufrió un incremento en el número e intensidad de las crisis durante los últimos tres meses, así como la disminución de la tolerancia al esfuerzo, pero sin reunir los criterios del síndrome intermedio.

- **Síndrome intermedio**

Este cuadro se asocia a dolor anginoso intenso, prolongado, recurrente y que no se relaciona con el esfuerzo. Tiene un cierto perfil en el electrocardiograma o bien, presentar arritmias transitorias. El tiempo de evolución es menor de un mes.

- **Angina de Prinzmetal**

Esta variante se presenta en reposo, de acuerdo con un horario, que generalmente es de noche. Tiene un perfil específico en el electrocardiograma.



- Angina posinfarto agudo de miocardio

Se refiere a las crisis anginosas que se manifiestan en el período de convalecencia del infarto agudo de miocardio.

- Isquemia aguda persistente

Esta isquemia se caracteriza por dolor anginoso prolongado, no recurrente, con modificaciones en el electrocardiograma (inversión de la onda T). El cuadro clínico se asemeja al del infarto agudo de miocardio, pero sin cumplir todos los requisitos de este último. Las alteraciones electrocardiográficas persisten varios días, y pueden normalizarse durante la evolución.

- Infarto de miocardio

La clasificación del infarto de miocardio puede hacerse de acuerdo a los siguientes factores: examen del paciente (agudo o crónico), forma de su presentación (transmural, no transmural o indeterminado), o bien por la existencia o ausencia de complicaciones.

- Infarto agudo de miocardio

Comprende los primeros 30 días de evolución, y de acuerdo a su exteriorización clínica, puede ser:

- Transmural

Este infarto incluye dolor torácico opresivo por más de 10 minutos y un perfil determinado en el electrocardiograma.

- No transmural

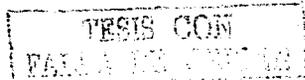
Se registran dos formas. El de tipo T y el de tipo subendocárdico, los cuales se distinguen por distintos perfiles en las ondas del electrocardiograma.

- Indeterminado

Este infarto presenta dolor prolongado, pero no hay cambios en el electrocardiograma atribuibles a los dos anteriores.

- Miocardiopatía isquémica

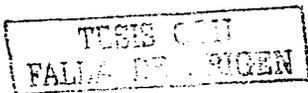
En esta etapa, los pacientes revelan antecedentes de episodios repetidos y/o extensos de necrosis (muerte de tejido). Pueden presentarse síntomas de insuficiencia cardíaca, que en algunos sujetos puede afectar el pulmón y arritmias.



- Muerte súbita

Es la muerte natural, de causa cardíaca, que sobreviene de manera instantánea o en la primera hora posterior a la iniciación de los síntomas, sin que medie tratamiento específico en ese lapso, en pacientes con patología cardíaca, conocida o no, y en quienes el momento de presentación es inesperado.

Al paso del tiempo, el paciente presenta síntomas que se manifiestan, en la gran mayoría de los casos, por angina de pecho (dolor de pecho, ya que como el corazón está inervado por fibras sensitivas, al faltarle oxígeno, esto se manifiesta en forma de dolor), estable o inestable. Estas crisis de isquemia transitoria reiteradas, pueden ocasionar un infarto agudo de miocardio, que tiene una gran influencia sobre el futuro del paciente. La repetición de los episodios de muerte celular en regiones del músculo cardíaco, provoca alteración funcional permanente de un sector importante, cuya expresión clínica más grave es la miocardiopatía isquémica, en la cual, el daño miocárdico es extenso. El modelo teórico que se presenta, culmina en la muerte, que muchas veces, es súbita. Esta secuencia no es rígida, y en muchos casos, el enfermo no sigue estos pasos, y gozando de aparente salud (etapa preclínica), sufre muerte súbita o muere de un infarto en la fase sobreguada.

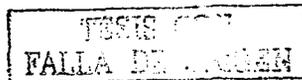


Apéndice D

Clasificación de Decrementos Forbush

Los decrementos Forbush (FDs) ocurridos durante el periodo de estudio (1996-1999) fueron clasificados a partir de los datos del monitor de neutrones (Modelo 6-NM-64) de la Estación de Rayos Cósmicos de la UNAM [Hurtado et al., 1996-1999]. Se consideraron las caídas en la cuenta horaria de neutrones, mayores o iguales al 1.5% de los registros, las cuales, generalmente, tienen lugar en menos de 24 horas [Wibberenz et al., 1977].

Con relación al análisis de superposición de épocas (Ver Secciones 3.2.1 y 4.3.1), se decidió tener un criterio de selección para decremento Forbush (FD), sobre todo porque se tenían problemas en aquellos casos donde se presentaban decrementos consecutivos. Así pues, para homogeneizar todos los decrementos considerados, después de un análisis no presentado aquí, se decidió considerar sólo decrementos con comportamiento promedio constante, creciente o lentamente decreciente (Ver figura D.1) en, al menos, el día previo a la disminución repentina y comportamiento constante o en ascenso después de la caída más baja, en al menos un día después de la disminución repentina. Así pues, se considera como día "0" al correspondiente al inicio del FD, tres días anteriores (-3, -2, -1) y tres días posteriores (1, 2, 3). Cabe mencionar que las series no siempre están completas (con un total de 7 días), debido a que en los días extremos pudieran no cumplirse los comportamientos requeridos, por lo que sólo se considera la parte de los días anteriores y posteriores que sí los cumplan.



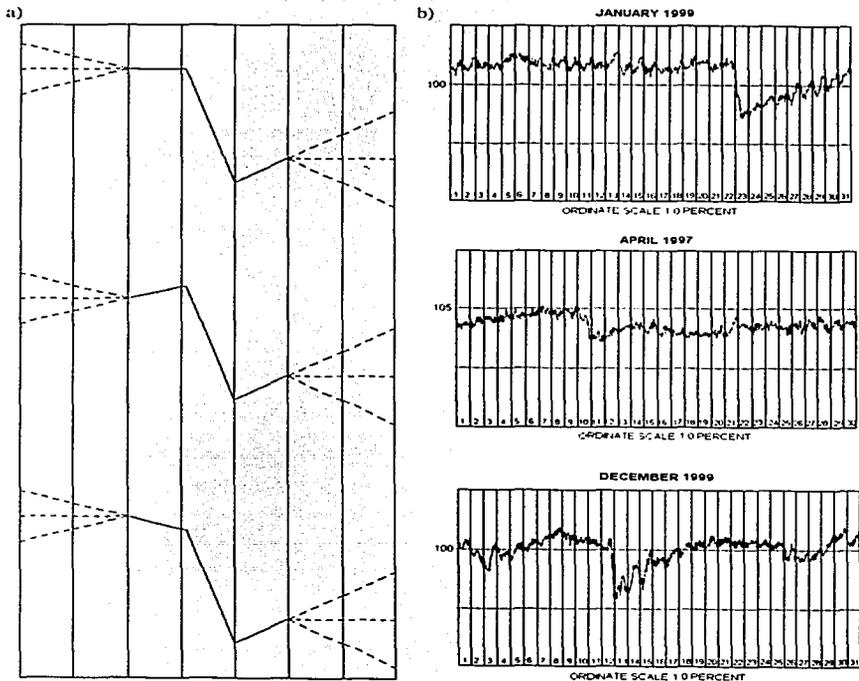


Fig. D.1. Gráficas que ilustran los criterios para la consideración de FDs en el análisis de superposición de épocas. a) Diagramas que muestran los comportamientos de los decrementos considerados, en donde las líneas punteadas indican posibles comportamientos el resto de los días. b) Algunos ejemplos de FD que se relacionan con los diagramas de la izquierda, en donde, para cada uno (de arriba a abajo), la caída repentina ocurre los días 22 de enero de 1999, 10 de abril de 1997 y 12 de diciembre de 1999, respectivamente.

Apéndice E

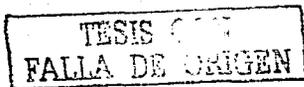
Índice geomagnético A_p

La intensidad de las perturbaciones magnéticas durante el día se especifica por una variedad de índices. Las diferencias en el carácter e intensidad de las variaciones magnéticas con la latitud influencia la elección y derivación de los índices de actividad magnética.

El índice K es una medida por cada 3 horas de las variaciones en las mediciones estándar del campo magnético. Se usa en general como un indicador del nivel general de actividad magnética ocasionada por viento solar. Su escala se reporta como enteros del 0 al 9.

El índice K_p ("p" para planetario) se basa en los índices K de 12 estaciones preseleccionadas entre las latitudes geomagnéticas entre los 48° y 63° . El valor de K para cada estación dada, se usa para derivar el índice K_s ("s" para estandarizado) que filtra las variaciones locales y estacionales. El índice K_s también se da de 0 a 9, pero en sub-escalas de 3, utilizando los símbolos -, 0, y + (teniendo en total 28 valores). Finalmente, el valor K_p para cada intervalo de 3 horas se deriva de los valores K_s de las 12 estaciones preseleccionadas. Dado que K , K_s y K_p se definen con una escala cuasilogarítmica, no son buenos para promedios diarios, por lo cual se convierten a los índices a_k y a_p que tienen una escala lineal, y los promedios diarios se representan por los índices A_k y A_p .

Así pues, el índice A_p representa la variabilidad diaria global ocasionada por el viento solar, y asociada con las tormentas geomagnéticas [Solar Geophysical Data, 1996-1999].



Apéndice F

Muertes en México

Aquí se muestra el comportamiento de las muertes por cualquier causa en México (incluyendo infartos al miocardio). En las figuras F.1 y F.2 se pueden apreciar las gráficas de las series en el espacio temporal y en el espacio de frecuencias, respectivamente.

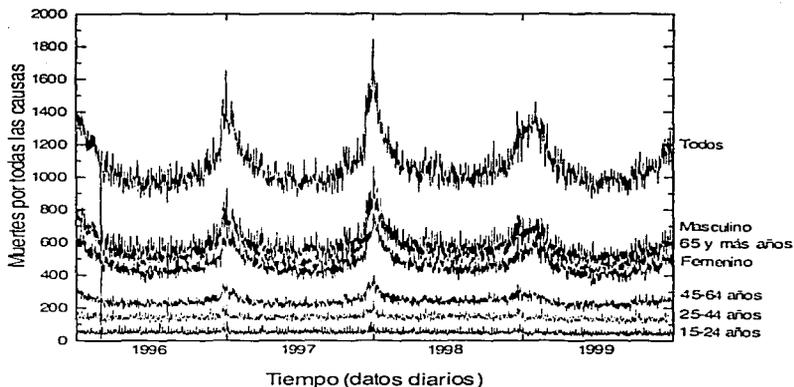


Figura F.1. Comportamiento diario de muertes por cualquier causa en México, para el período de 1996 a 1999.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

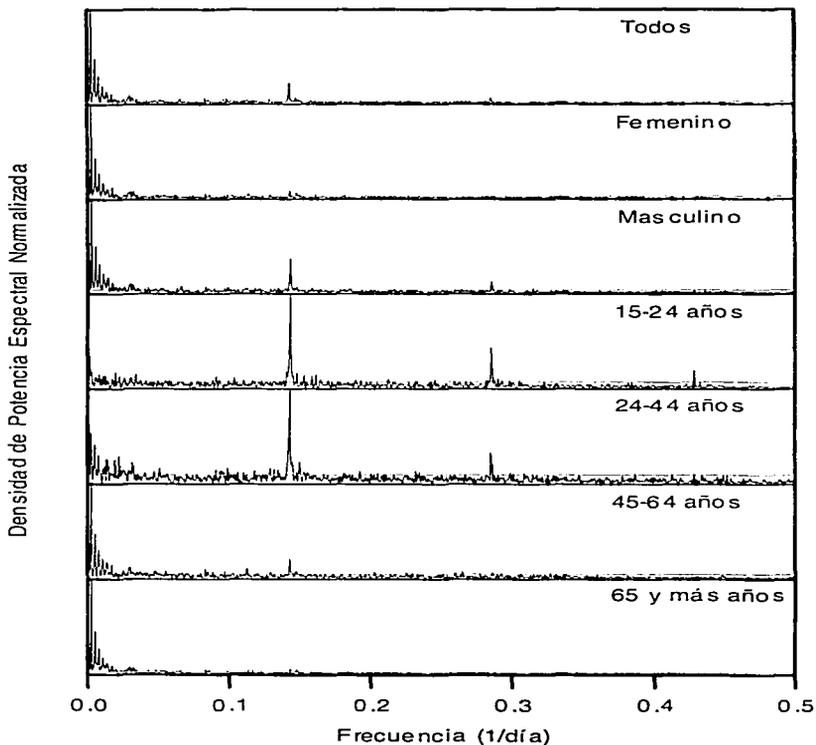
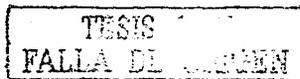


Figura F.2. Comportamiento espectral de muertes por cualquier causa en México, para el período de 1996 a 1999. Las líneas horizontales indican el 90% de nivel de confianza.

TESIS DE
FALLA DE ORIGEN

REFERENCIAS

- Adey W. R. Frequency and power windowing in tissue interactions with weak electromagnetic fields, *Proc. IEEE* 68 (1), 119-125 (1980)
- Baevsky R. M., Petrov V. M., Cornélissen G., Halberg F., Orth-Gomér K., Akerstedt T., Otsuka K., Breus T., Siegelova J., Dusek J., Fiser B. Meta-analyzed heart rate variability, exposure to geomagnetic storms, and the risk of ischemic heart disease, *Scripta medica (Brno)* 70, 199-204 (1997)
- Beason R. C., Nichols J. E. Magnetic orientation and magnetically sensitive material in a transequatorial migratory bird, *Nature* 309, 151-153 (1984)
- Bell C. M., Redelmeier D. A. Mortality among patients admitted to hospitals on weekends as compared with weekdays, *N. Engl. J. Med.* 345 (9), 663-668 (2001)
- Bendat J. S., Piersol A. G., *Random data: Analysis and measurement procedures*, Wiley-Interscience, New York, USA 1971
- Bennet W. R., Cancer and power lines, *Physics Today*, April 23 (1994)
- Berne R., Levy M. *Fisiología*, Edit Mosby Year Book, España 1990
- Blackman C. F., Benane S. G., Elliot D. J., Pollock M. M. Influence of electromagnetic fields on the efflux of calcium ions from brain tissue in vitro: A three-model analysis consistent with the frequency response up to 510 Hz, *Bioelectromagnetics* 9, 215-227 (1988)
- Breus T. K., Cornélissen G., Halberg F., Levitin A. E. Temporal associations of life with solar and geophysical activity, *Ann. Geophysicae* 13, 1211-1222 (1995)



Brown F. A. Response to pervasive geophysical factors and the biological clock problem, *Cold Spring Harbor Sympos. Quant. Biol.*, 25, 57-71 (1960)

Burg J. P. *Maximum entropy spectral analysis*, Presentado en 37th Annual Int SEG Meeting, Oklahoma, Oct 31, 1967, Preprint Texas Instruments, Dallas

Caballero R. *Estudio de las fluctuaciones de la radiación cósmica detectadas en la superficie terrestre durante los ciclos solares 22 y 23*, Tesis de Doctorado, Instituto de Geofísica, UNAM, México 2001

Campbell W. H. *Introduction to Geomagnetic Fields*, Cambridge University Press, USA 1997

Curey C. F. *Manual de Washington de terapéutica médica*, Mason S. A., España, 2000

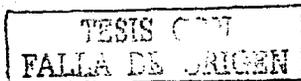
Clasificación Internacional de Enfermedades IX Vol. 1, Sector de Salud, Subsecretaría de Servicios de Salud, Dirección General de Epidemiología, México 1986

Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud X, Vol. 1 & Vol. 2, Organización Panamericana de la Salud 1995

Cooley J. S., Turkey J. W. An algorithm for the calculation of complex Fourier series, *Math. Comp.* 19 297-301 (1965)

Cormack D. H. *Histología de Ham*, Edit. Harla, México 1988

Cornélissen G., Breus T. K., Bingham C., Zaslavskaya R., Varshitsky M., Mirsky B., Teibloom M., Tarquini B., Bakken E., Halberg F. Beyond circadian chronorisk: worldwide circaseptan-circasemiseptan patterns of myocardial infarctions, other vascular events and emergencies, *Chronobiologia*, 20, 87-115 (1993)



Cornéllissen G., Halberg F., Tarquini B., Mainardi G., Panero C., Cariddi A., Sorice V., Cagnoni M. Blood pressure rhythmometry during the first week of human life, in: *Proc. III Int. Sympos Social Diseases and Chronobiology*, Florence Nov 29, 1986, Ed B Tarquini, 1987

Cornéllissen G., Halberg F., Schwartzkopff O., Delmore P., Katinas G., Hunter D., Tarquini B., Tarquini R., Perfetto F., Watanabe Y., Otsuka K. C. Cronomes, time structures for cronobioengineering for "a full life", *Biomed. Inst. Tech.* 33, 152-187 (1999)

Cornéllissen G., Broda H., Halberg F. Does Gonyaulax polyedra measure a week?, *Cell Biophys.* 8, 69-85 (1986)

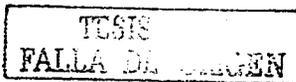
Cowley S. H. The Earth's Magnetosphere: A brief beginner's guide. *EOS* 76 [51], 525 (1995)

Criddle N. The correlation of the sunspot periodicity with grasshopper fluctuations in Manitoba, *Canadian Field Nat.*, 46, 195-199 (1932)

Chapman S., Bartels J. *Geomagnetism Vol. 1*, Oxford Press, Great Britain 1962, p 382-384 y 396-400

De Vecchi A., Halberg F., Sothorn R. B., Cantaluppi A., Ponticelli C. Circaseptan rhythmic aspects of rejection in treated patients with kidney transplant, in: *Chronopharmacology and Chronotherapeutics* Ed By C A Walker, Winget C M, Soliman K F A, Florida A & M University Foundation, Tallahassee, Florida 1981

Díaz J., García R., Velásquez de Castro F. Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *Int. J. Biometeorol* 46, 145-149 (2002)



Díaz-Sandoval R. E. Estudio de la posible influencia de la actividad solar sobre el número de infartos al miocardio en la Ciudad de México. Tesis de Maestría, Instituto de Geofísica, UNAM, México 1999

Díaz-Sandoval R., Mendoza B. Study of the interaction between biological cells of different shapes and sizes and electromagnetic fields produced by natural phenomena. Nat. Hazards, in press. (2003)

Dorman L. I. *Cosmic rays*, North-Holland Publishing Company, Holanda 1974

Dubrov A. P. *The geomagnetic field and life: geomagnetobiology*, trad. por Sinclair F. L., edit. por Brown F. A., Plenum Press, New York, 1978, 318 p

Düll T., Düll B. Zusammenhänge zwischen Störungen des Erdmagnetismus und Häufungen von Todesfällen. *Deutsh med. Wschr.* **61**, 95-97 (1935)

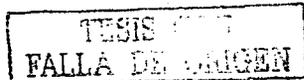
Durand-Manterola H. J., Mendoza B., Díaz-Sandoval R., Electric currents induced inside biological cells by geomagnetic and atmospheric phenomena. *Adv. Space. Res.* **28** (4), 679-684 (2001)

Eddy J. A. The Maunder minimum, *Science* **192**, 1189-1202 (1976)

Engfer D. W., Tinsley B. A. An investigation of short-term solar wind modulation of atmospheric electricity at Mauna Loa Observatory, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **61**, 943-953 (1999)

Esper R. J., Suárez L. D. *Biblioteca de Medicina Vol. II: Cardiología*, Edit. El Atenco, Argentina 1992

Feinleb M., Rogot E., Sturrock P. A. Solar activity and mortality in the United States, *Int J Epidemiol* **4**, 227-229 (1975)



Fernández S. B. (editora). *Mortalidad 1996*, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estadística e Informática, México 1997

Fitzpatrick T. B., Eisen A. Z., Wolff A., Fredberg I. M., Austen K. F. *Dermatología en medicina general*, Edit. Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina 1997

Friedman H., Becker R. O., Bachman C. H. Geomagnetic parameters and psychiatric hospital admissions. *Nature*, 200 626-628 (1963)

Friedman H., Becker R. O., Bachman C. H. Psychiatric ward behaviour and geophysical parameters. *Nature*, 205 1050-1052 (1965)

Ganong W. F. *Fisiología Médica*, Edit. El Manual Moderno, México 1990

Gauquelin M. *Los relojes cósmicos*, Plaza y Janés, Barcelona 1976

Gnevyshev M. N., Novikova K. F. The influence of solar activity on the Earth's biosphere. *J Interdiscipl. Cycle Res.*, 3 99-104 (1972)

Gonzales W. D., Joselyn J. A., Kamide Y., Kroehl H. W., Rostoker G., Tsurutani B. T., Vasyliunas V. M. What is a geomagnetic storm?. *J. Geophys. Res.* 99, 5771-5792 (1994)

Gosling J. T., McComas D. J., Phillips J. L., Bame S. J. Geomagnetic activity associated with Earth passage of interplanetary shock disturbances and coronal mass ejections. *J. Geophys. Res.*, 96, 7831-7839 (1991)

Haigh J. D. The impact of solar variability on climate. *Science* 272 (5264), 981-984 (1996)

Halberg F., Breus T. K., Cornélissen G., Bingham C., Hillman D. C., Rigatuso J., Delmore P., Bakken E. 1991 Chronobiology in space Univ. de Minessota/Medtronic Chronobiology Seminar Series 1

Halberg F., Cornélissen G., Otsuka K., Watanabe Y., Katinas G. S., Burioka N., Delyukov A., Gorgo Y., Zhao Z.Y., Weydahl A., Sothorn R.B., Siegelova J., Fiser B., Dusek J., Syutkina E.V., Perfetto F., Tarquini R., Singh R.B., Rhees B., Lofstrom D., Lofstrom P., Johnson P.W.C., Schwartzkopff O., International BIOCOS Study Group. Cross-spectrally coherent and 21-year biological and physical cycles, magnetic storms and myocardial infarctions, *Neuroend. Lett.*, 21 233-258 (2000)

Halberg F., Cornélissen G., Sonkowsky R. P., Lanzoni C., Galvagno A., Montalbini M., Schwartzkopff O. Chrononursing (chronutrics), psychiatry and language, *New Trends Esp. Clin. Psychiatry* 14, 15-26 (1998)

Halberg F., Halberg E., Barnum C. P., Bittner J. J. Physiologic 24-hour periodicity in human beings and mice, the lighting regimen and daily routine, *Am. Assoc. Advance Soc. Publ.*, 55, 803-878 (1959)

Halberg F., Cornélissen G., Otsuka K. Physiological monitoring from bacteria and eukaryotic unicells to humans for chronoastrobiology and chronomedicine, *Pro. 1st Int. Symp. Workshop on Chronoastrobiology and Chronotherapy*, Tokyo, Nov 11, 2000

Halberg F., Breus T. K., Cornélissen G., Bingham C., Hillman D. C., Rigatuso J., Delmore P., Bakken E. Chronome Initiative Group. Chronobiology in space, *University of Minnesota / Medtronic Chronobiology Seminar Series 1* 1991

Hargreaves J. K. *The upper atmosphere and solar-terrestrial relations*, Van Nostrand Reinhold Company, USA 1979



Hayes D. K., Halberg F., Cornélissen G., Shankaraiah K. Frequency responses of the face fly, *Musca autumnalis*, to lighting schedule shifts at varied intervals, *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 79, 317-323 (1986)

Headlee T. J. *Solar relations to weather and climate*, Clayton Weather Service, Mass USA 1943

Help PV-Wave CL Versión 610, Visual Numerics Inc 1997

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/GLOSSARY/glossary.html#ApINDEX>

<http://www.integral.com>

Hurtado A., Otaola J. A. *Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, January-December 1990*, Instituto de Geofísica, UNAM, México

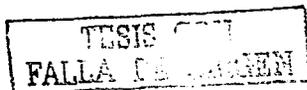
Hurtado A., Otaola J. A. *Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, January-December 1991*, Instituto de Geofísica, UNAM, México

Hurtado A., Otaola J. A. *Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, January-December 1992*, Instituto de Geofísica, UNAM, México 1993

Hurtado A., Otaola J. A. *Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, January-December 1993*, Instituto de Geofísica, UNAM, México 1994

Hurtado A., Valdés-Galicia J. F., Musalem O. *Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, January-December 1997*, Instituto de Geofísica, UNAM, México 1998

Hurtado A., Valdés-Galicia J. F., Musalem O. *Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, January-December 1998*, Instituto de Geofísica, UNAM, México 1999



Hurtado A., Valdés-Galicia J. F., Musalem O. *Cosmic Ray NM-64 Neutron Monitor Data, January-December 1999*, Instituto de Geofísica, UNAM, México 2000

Jacobs J. A. *Geomagnetic Micropulsations*, Springer-Verlag, New York 1970

Jaynes E. T. Information Theory and Statistical Mechanics, *Phys. Rev.* **106**, 620-630 (1957)

Jenkins G. M., Watts D. G. *Spectral analysis*, Holden-Day Inc, San Francisco, California, USA 1968

Joselyn J. A. The impact of solar flares and magnetic storms on humans. *EOS* **73** [7], 81 (1992)

Kay R. W. Geomagnetic storms: association with incidence of depression as measured by hospital admission, *Br. J. Psychiatry* **164**, 403-409 (1994)

Khomeriki O., Paatashvili T., Gheonjian L., Kapanadze N. *Bull. Georgian Acad. Sci.* **158**, 123-126 (1998)

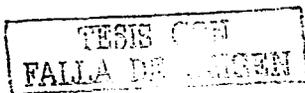
Knecht D. J., Shuman B. M. *Handbook of Geophysics and The Space Environment, Chapter 4: The Geomagnetic Field*, Ed By Jursa A S, Air Force Geophysics Laboratory, USA 1985

Knox E. G., Armstrong E., Lancashire R., Wall M., Haynes R. Heart attacks and geomagnetic activity. *Nature (London)* **281**, 564-565 (1979)

Kundt W., Thuma G. Goelectricity: atmospheric charging and thunderstorms, *J. Atmos. Terr. Phys.* **61**, 955-963 (1999)

Lean J., Rind D. Solar variability: Implications for global change, *EOS* **75** [1], 1 (1994)

Legrand J. P., Simon P. A. Some solar cycle phenomena related to the geomagnetic activity from 1868 to 1980 Part I, *Astron. and Astrophys.* **152**, 199-204 (1985a)



Legrand J. P., Simon P. A. Some solar cycle phenomena related to the geomagnetic activity from 1868 to 1980 Part II, *Astron. and Astrophys.* **155**, 227-236 (1985b)

Lethbridge M. Cosmic rays and thunderstorm frequency, *Geophys. Res. Lett.* **8**, 521-522 (1981)

Lethbridge M. Thunderstorms, cosmic rays and solar-lunar influences, *J. Geophys. Res.*, **95** [D9], 13645-13649 (1990)

Liburdy R. P. Cellular studies and interaction mechanisms of extremely low frequency fields, *Radio Science* **30** [1], 179-203 (1995)

Lipa B. J., Sturrock P. A., Rogot E. Search for correlation between geomagnetic disturbances and mortality, *Nature* **259**, 302-304 (1976)

MacLagen D. S. Sunspots and insect outbreaks: an epidemic-logical study, *Proc. Univ. of Durham Phil. Soc.*, **10**, 173-190 (1940)

Magono C., Orikasa K. On the surface electric field during rainfall, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **38**, 182 (1960)

Magono C. *Thunderstorms*, Elsevier Sci Pub Company, Holanda 1980

Malin S. R., Srivastava B. J. Correlation between Heart attacks and magnetic activity, *Nature* **277**, 646-648 (1979)

März F. Short-term changes in atmospheric electricity associated with Forbush decreases, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **59** [9], 975-982 (1997)



Marques M. D., Cutkomp L. K., Cornélissen G., Marques N., Halberg F. Life span of sprintail on 12-h shifts at varying intervals of 12-hourly alternation in ambient temperature, *Prog. Clin. Biol. Res.*, **227A**, 257-264 (1987)

Marques-Vidal P., Arveiler D., Amouyel P., Ducimetiere P., Ferrieres J. Myocardial infarction rates are higher on weekends than on weekdays in middle aged French men, *Heart* **86** (3), 341-342 (2001)

Mason B. J. *Nubes, lluvia y lluvia artificial*, Edit. Univ. de Buenos Aires, Argentina 1972

Mayaud P. N. *Derivation, Meaning and Use of Geomagnetic Indices*, Geophysical Monograph 22, American Geophysical Union, Washington DC 1980

Mendoza B., Díaz-Sandoval R., Relationship between solar activity and myocardial infarctions in Mexico City Geofísica Internacional **39**, 53-56 (2000)

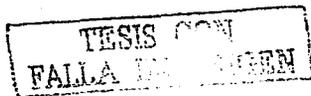
Mendoza B., Díaz-Sandoval R. Effects of solar activity on myocardial infarction deaths in low geomagnetic latitude regions, *Nat. Hazards*, in press (2003)

Milham S. Carcinogenicity of electromagnetic fields, *Eur. J. Oncol.* **3** (2), 93-100 (1998)

Milham S., Osslander E. M. Historical evidence that residential electrification caused the emergence of the childhood leukemia peak, *Medical Hypotheses* **56** (3), 290-295 (2001)

Nickolaenko A. P., Satori G., Zieger B., Rabinowicz L. M., Kudintseva I. G. Parameters of global thunderstorm activity deduced from the long-term Schumann resonance records, *J Atmos. Terr. Phys.*, **60** [3], 387-399 (1998)

Otaola J. A., Valdés-Galicia J. F. *Los rayos cósmicos: mensajeros de las estrellas*, Fondo de Cultura Económica, México 1992



Otaola J. A., Mendoza B., Pérez R. *El Sol y la Tierra Una relación tormentosa*, Fondo de Cultura Económica, México 1993

Panella G. Periodical growth patterns in some calcified tissues in: *Proc. XII Int. Conf. Int. Soc. Chronobiol.*, Washington DC 10-13 August 1975 (1977)

Parkinson W. D. *Introduction to Geomagnetism*, Elsevier Science Publishing Co, New York 1985

Polk K. Effects of extremely-low-frequency magnetic fields on biological magnetite, *Bioelectromagnetics* 15, 261-270 (1994)

Pope A., Verrier R., Lovett E., Larson A., Raizenne M., Kanner R., Schwartz J., Villegas G. M., Dockery D. W. Heart rate variability associated with particulate air pollution, *Am. Heart J.* 138, 890-899 (1999)

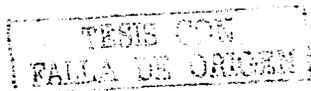
Portela A., Northrup G., Halberg F., Cornélissen G., Wendt H., Melby J. C., Haus E. Changes in human blood pressure with season, age and solar cycles: a 26-year record *Int. J. Biometeorol.*, 39, 176-181 (1996)

Press W. H. *Numerical recipes in C: The art of scientific computing*, Cambridge Press, USA 1992

Priest E. R. *Solar Magnetohydrodynamics*, Geophysics and Astrophysics Monographs Vol. 21, D Reidel Pub Co, London, England 1982

Ptitsyna N. G., Villoresi G., Dorman L. I., Iucci N., Tyasto M. I. Natural and man-made low-frequency magnetic fields as a potential health hazard, *Physics-Uspeski* 4 (7), 687-709 (1998)

Reitz J. R., Milford F. J. *Fundamentos de la Teoría Electromagnética*, Edit UTEHA, México 1981



Roberts P. H. *An introduction to magnetohydrodynamics*, Longmans, Londres 1967

Rosales-Castillo J. A., Torres-Meza V. M., Olaiz-Fernández G., Borja-Aburto V. H. Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos, *Salud Publica de México* 43 [6], 544-555 (2001)

Rostoker G., Akasofu S. I., Baumjohann W., Kamide Y., McPherron R. L. The roles of direct input of energy from the solar wind and unloading of stores magnetotail energy in driven magnetospheric substorms, *Space Sci. Rev.* 46, 93-111 (1987)

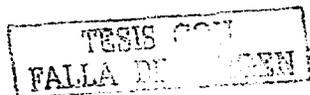
Sagalyn R. C., Burke H. K., Fitzgerald D. R. *Handbook of Geophysics and the Space Environment, Chapter 20: Atmospheric Electricity*, Edited by A S Jursa, Air Force Geoph Lab. USA 1985

Salamanca F. *Citogenética humana*, Edit Médica Panamericana, México 1993

Salanave L. E. *Lightning and its spectrum*, The Univ of Arizona Press, USA 1980

Sánchez de la Peña S., Brown G. B., Ungar F., Halberg F. Chronobiologic lead study cost-effectively assess circadian-circaseptan intermodulation in murine pineal melatonin content. *Chronobiologia* 13, 329-333 (1986)

Sanchez de la Peña S., Halberg F., Galvagno A., Montalbins M., Follini S., Wu J., Degioanni J., Kutyna F., Hillman D.C., Kawabata Y., Cornélissen G. Circadian and circaseptan (about-7-day) free-running physiologic rhythms of a woman in social isolation. *Proc. 2nd Ann. IEEE Symp. on Computer-Based Medical Systems*, Minneapolis, June 26-27, 1989, Computer Society Press, Washington DC. 273-278 (1989).



Schwan H. P., Takashima S. *Encyclopedia of Applied Physics Vol 5: Electrical conduction and dielectrical behavior in biological systems*, Edited by G L Trigg, USA 1991

Schweiger H. G., Berger S., Kretschmer H., Mörlner H., Halberg E., Sothorn R. B., Halberg F. Evidence for a circaseptan and a circasemiseptan growth response to light/dark cycle shifts in nucleated and enucleated acetabularia cells, respectively, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 83, 8619-8623 (1986)

Semm P., Schneider T., Volrath I. Effect of earth-strenght magnetic field on electrical activity of pineal cells, *Nature*, 288, N5791, 607-608 (1980)

Simpson G. C., Serase F. J. The distribution of electricity in thunderclouds, *Proc. R. Soc., A* 161, 309-353 (1937)

Smart D. F., Shea M. A. *Handbook of Geophysics and The Space Environment, Chapter 6: Galactic cosmic radiation and solar energetic particles*, Ed. By Jursa A S, Air Force Geophysics Laboratory, USA 1985

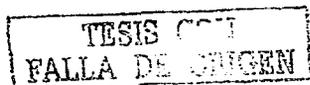
Solar Geophysical Data, NOAA, U S Department of Commerce, Boulder, Colorado, USA, 1996-1999

Space Environment Center Glossary of Solar-Terrestrial Terms, Published by the Joint NOAA-USAF Space Environment Services Center August 1984

Spiegel M. R. *Estadística*, McGraw-Hill, México 1999

Stergis C. G., Rein G. C., Kangas T. Electric field measurements in the stratosphere and electric field measurements above thunderstorms, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 11, 77-90 (1957)

Storey L. R. O. An investigation of whistling atmospheric, *Phil. Trans. Roy. Soc., A* 246, 113-141 (1953)



Stoupe E., Abramson E., Sulkes J., Martfel J., Stein N., Handelman M., Zadka P., Gabbay U. Relationship between suicide and myocardial infarction with regard to changing physical environmental conditions, *Int. J. Biometeorol.* 38, 199-204 (1995)

Syutkina E. V., Cornélissen G., Grigoriev A. E., Mitish M. D., Turti T., Yatsyk G. V., Pimenov K., Breus T. K., Studenikin M. Y., Siegelova J., Fiser B., Dusek J., Johnson D., Halberg F. Neonatal intensive care may consider associations of cardiovascular rhythms with local magnetic disturbance, *Scripta Medica* 70, 217-226 (1997)

Tascione T. F. *Introduction to the space environment*, Krieger Publishing Company, Florida, USA 1994

Tinsley B. A. Solar wind mechanism suggested for weather and climate change, *EOS* 75 [2], 3 (1994)

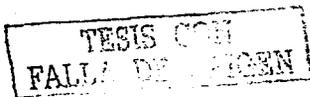
Tinsley B. A., Brown G. M., Scherrer P. H. Solar Variability Influences on Weather and Climate: Possible Connections Through Cosmic Ray Fluxes and Storm Intensification, *J Geophys. Res.* 94 [D12], 14 783-14 792 (1989)

Tinsley B. A., Deen G. W. Apparent Tropospheric Response to MeV-GeV Particle Flux Variations: Connection Via Electrofreezing of Supercooled Water in High-Level Clouds?, *J Geophys. Res.*, 96, 22 283-22 296 (1991)

Uman M. A. *The Lightning Discharge*, International Geophysics Series Vol 39, Academic Press Inc, Holanda 1987

Valdés J. F. *Variaciones espectrales de la radiación cósmica durante decrecimientos Forbush*, Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, México 1977

Villee C. A. *Biología*, Edit. Interamericana, México 1981



Villoresi G., Breus T. K., Iucci N., Dorman L. I., Rapaport S. I. The influence of geophysical and social effects on the incidence of clinically important pathologies (Moscow 1979-1981), *Physica Medica* 10 (3), 79-91 (1994a)

Villoresi G., Kopytenko Y. A., Ptitsyna N. G., Tyasto M. I., Kopytenko E. A., Iucci N., Voronov P. M. The influence of geomagnetic storms and man-made magnetic field disturbances on the incidence of myocardial infarctions in St Petersburg (Russia) *Physica Medica* 10 (4), 107-117 (1994b)

Volland H. *Handbook of Atmospheric Vol. I*, CRC Press, USA 1982

Vollrath L., Kantarjian A., Howe C. Mammalian pineal gland: 7-day rhythmic activity?. *Experientia (Basel)* 31, 458-460 (1975)

Weber G. W. Prossinger H., Seidler H. Height depends on month of birth, *Nature*, 391, 754-755 (1998)

Welker H. A., Schuhe A., Vollrath L. Infradian rhythms of serotonin and serotonin-N-acetyl transferase in the pineal gland of male rats. *J. Interdisc. Res.* 14, 273-283 (1983)

Wibberenz G., Cane H. V., Richardson I. G. Two-step Forbush decreases in the inner solar system and their relevance for models of transient disturbances, in *Proceedings of 25th Cosmic Ray Conference Vol. 1* (1997)

Wilcox J. M., Ness N. F. Quasi-Stationary corotating structure in the interplanetary medium, *J. Geophys. Res.*, 70, 5793-5805 (1965)

