



# **BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“POSIBLE RELACIÓN ENTRE LOS GRUPOS DE MANCHAS SOLARES Y  
LA TEMPERATURA GLOBAL PLANETARIA A ESCALA SECULAR”**

## **TESIS**

Para obtener el título de:

**LICENCIADO EN INGENIERÍA GEOFÍSICA**

Presenta:

**MYRIAM COVARRUBIAS GUARNEROS**

Asesor externo:

**DRA. BLANCA E. MENDOZA ORTEGA**

Asesor interno:

**M.C. LUIS FERNANDO GÓMEZ CEBALLOS**

## **AGRADECIMIENTOS**

En el proceso de este trabajo, quiero agradecer a las distintas personas que me apoyaron de diferente manera para poder terminar esta meta personal.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Instituto de Geofísica por recibirme en sus instalaciones y darme el apoyo necesario durante mi estancia.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y a la Facultad de Ingeniería por darme las herramientas necesarias para forjarme como Ingeniero. A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Dra. Blanca Emma Mendoza Ortega por su paciencia, tiempo y dedicación que tuvo al enseñarme lo necesario para realizar el trabajo y por su apoyo al ofrecerme las facilidades para que mi estancia fuera lo más provechosa.

Al Mtro. Luis Fernando Gómez Ceballos por su apoyo e interés en el desarrollo del tema además de darme el espacio para trabajar y por su preocupación a lo largo de mi formación.

A mis sinodales por su tiempo y paciencia

A mis padres: Rocio Guarneros Chumacero y Marco Antonio Covarrubias Durán por todo su amor, comprensión y apoyo para realizarme como Ingeniero Geofísico y enseñarme herramientas que me ayudaron a culminar este proyecto personal

A mi hermano Daniel por su cariño y sus siempre útiles palabras que siempre me motivaban a realizar cosas.

A los que siempre estuvieron ahí, mis amigos: Cris, Angela, Daniel y Ricardo.

A Alberto por ser un guía para darle estructura a esta tesis.

## ÍNDICE

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVO

ABSTRACT

RESUMEN

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. EL SOL	3
1.1 Características Generales	3
1.2 Estructura del Sol	4
1.2.1 Parte Interna	5
1.2.2 Atmosfera Solar	6
1.3 Campo magnético Solar	8
1.4 Actividad Solar	9
1.4.1 Ráfagas Solares	9
1.4.2 Filamentos	9
1.4.3 Eyección de masa coronal	10
1.4.4 Manchas Solares	10
1.5 Viento Solar, medio interplanetario y campo magnético interplanetario	12
CAPÍTULO 2. LA ATMÓSFERA TERRESTRE	15
2.1 Definición y características	15
2.2 Composición	15
2.3 Estructura	16
2.3.1 Por composición	16
2.3.2 Por gradiente de temperatura	17
2.4 Transporte de calor en la tropósfera	19
2.5 Actividad eléctrica de la atmósfera	20
2.6 Ionósfera	22
CAPÍTULO 3 RELACIÓN SOL-TIERRA	24
3.1 Campo magnético de la Tierra	24
3.1.1 Origen	24
3.1.2 Estructura	25
3.2 Magnetosfera Terrestre	26
3.2.1 Componentes de la magnetosfera	26
3.3 Relación Sol-Tierra	30
3.3.1 Indicadores históricos de la actividad solar	30
3.3.2 Indicadores a largo plazo de la actividad solar	32
3.4 Relación Clima-Sol	33
3.4.1 Correlación temperatura con manchas solares	33
3.4.2 Precipitación pluvial	34
3.4.3 El niño	34

CAPÍTULO 4. DATOS	
4.1 Manchas solares	36
4.2 Principales reconstrucciones de anomalías de temperatura global	37
CAPÍTULO 5. ANALISIS, DISCUSIÓN Y CONCLUSION	41
5.1 Grupos de manchas solares y reconstrucciones de anomalías de temperatura	41
5.2 Polaridad normalizada: Grupo de manchas y reconstrucciones de anomalías de temperatura global	53
5.3 Conclusiones	65
ANEXOS	
<b>ANEXO A. VALORES DE LOS GRUPOS DE MANCHAS SOLARES</b>	66
<b>ANEXO B. RECONSTRUCCIONES DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL</b>	75
<b>ANEXO C. POTENCIAS OBTENIDAS POR CICLOS PARA LA POLARIDAD POSTIVA DEL GRUPO DE MANCHAS SOLARES Y ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL</b>	84
<b>ANEXO D. POTENCIAS OBTENIDAS POR CICLOS PARA LA POLARIDAD NEGATIVA DEL GRUPO DE MANCHAS SOLARES Y ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL</b>	87
REFERENCIAS	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Temperatura y densidad	4
1.2	Granulación	6
1.3	Cromósfera durante un eclipse	7
1.4	Hoyo coronal en ultravioleta	7
1.5	Evolución del campo magnético solar	8
1.6	Eyección de masa coronal	10
1.7	Ciclos de manchas solares	11
1.8	Estructura de las manchas solares	12
1.9	Espirales de Arquímedes	13
1.10	Forma adquirida del campo interplanetario	13
2.1	Atmósfera estándar	16
2.2	Etapas de la formación de un rayo	21
2.3	Localización de la ionósfera	21
2.4	Capas de la ionósfera	22
3.1	Influencia de la fuerza de Coriolis sobre las líneas de campo magnético	24
3.2	Estructura del campo geomagnético	25
3.3	Partes de la magnetósfera	27
3.4	Anillos de radiación Van Allen	28
3.5	Magnetosfera y anillos de radiación	28
3.6	Auroras boreales	30
3.7	Etapas en una tormenta solar	31
3.8	Manchas solares y anomalías de temperatura	33
3.9	El niño	34
4.1	Valores de grupos de manchas solares anuales	35
4.2	Variaciones de las reconstrucciones de anomalías de temperatura global	38
5.1	Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C1 de anomalías de temperatura global	
5.2	Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C2 de anomalías de temperatura global	44
5.3	Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C3 de anomalías de temperatura global	44
5.4	Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C4 de anomalías de temperatura global	45
5.5	Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C5 de anomalías de temperatura global	46
5.9	Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C1 de anomalías de temperatura global	47
5.10	Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C2 de anomalías de temperatura global	54
5.11	Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C3 de anomalías de temperatura global	55
5.12	Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C4 de anomalías de temperatura global	56
5.13	Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C5 de anomalías de temperatura global	57

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Siendo el clima uno de los factores importantes que regulan la vida en el planeta Tierra, la variación de este podría desencadenar consecuencias graves que amenacen la existencia de los seres vivos.

El cambio climático se ha convertido en estos últimos años en objeto de estudio y debate. Mientras unos sugieren que podría ser debido a la actividad realizada por el humano otros opinan que se podría relacionar con otros eventos como la actividad solar. Debido a esto, se realizó un análisis de las reconstrucciones de anomalías de temperatura global con las manchas solares, para poder encontrar alguna posible relación entre los dos parámetros.

## **JUSTIFICACIÓN**

El estudio de las manchas solares es del que se tiene mayor registro y ha permitido observar los cambios en el Sol. Las manchas solares son un indicativo de la actividad solar, la cual nos sirve para encontrar si pudiera haber una relación o una influencia en el cambio climático y de ser así, en que periodos se mostró una mayor o menor dependencia.

## **OBJETIVO**

Analizar, procesar y evaluar a través de una comparación entre datos de registros correspondientes a grupos de manchas solares y reconstrucciones de anomalías de temperatura global, para poder encontrar una posible relación o consistencia entre los comportamientos de la actividad solar y la temperatura terrestre global.

## **ABSTRACT**

The Sun has several phenomena indicators of its activity. Among them are the sunspots that although they have studied by the Chinese since 28 ac it was not until 1610 when he began to have a reliable record. These are classified into groups.

Reconstructions of global temperature anomalies were obtained from 8 different sources smoothed, and by way of a better link between parameters were used from 1610-1995.

For analysis, we had to process the data in the same way. Thus the released (power) for each cycle and for each polarity, both groups of sunspots or reconstructed global temperature anomaly energy was obtained. We proceeded to compare and evaluate the results which it was shown that showed a correlation for a certain period but after a few years until now the relationship is reversed and shoots which makes us think that there is another factor that is affecting variation global temperature.

## RESUMEN

Las manchas solares son un indicadores de actividad solar y han sido estudiadas desde hace la cultura china desde el 28 a.c. En el 2002 un grupo de investigadores sugieren el uso del número de grupos de manchas solares, con el objetivo de reconstruir la actividad solar desde 1610.

En el presente trabajo se utilizó 2 parámetros a comparar: grupos de manchas solares y reconstrucciones de anomalías de temperatura.

Se obtuvo la energía liberada (potencia) de los datos para clasificarlos en 15 ciclos, cada uno con polaridades positiva y negativa respectivamente. Después se realizó una comparación de los comportamientos de ambos parámetros y al analizarlos se pudo concluir que existe una anti-correlación donde proponemos que deben tomarse otros factores para describir dicho fenómeno. Así mismo para tener una tendencia en el último ciclo es necesario obtener más fuentes de datos.



## INTRODUCCIÓN

El Sol tiene una relación estrecha con la Tierra por ser su fuente de luz y energía, además de influir en varios procesos como el clima terrestre. Se rige por ciclos de actividad que se caracterizan por la variación de la energía que emana de él a la Tierra con respecto al tiempo. Es importante estudiar estas variaciones y compararlos con los fenómenos atmosféricos ya que nos permitirá darnos una idea de los futuros escenarios climáticos. De aquí la importancia del presente trabajo y, la relación entre ambos parámetros, su objeto de estudio.

El trabajo realizado se agrupó de la siguiente manera a modo de facilitar la comprensión de los temas a exponer. En el primer capítulo se define a nuestra estrella con su respectiva estructura, características y fenómenos que presenta.

De ahí procedemos a definir nuestro planeta Tierra incluyendo como interactúa las partículas y energía que llega del Sol (viento solar) con la magnetósfera. Después definimos cómo son las interacciones entre el Sol y la Tierra y los fenómenos que se producen como resultado de estas interacciones.

Al final se tiene información de la definición de los parámetros a estudiar. La obtención análisis y procesamiento de datos y las conclusiones de su comparación.

Se hizo una clasificación de los datos correspondientes a las reconstrucciones de anomalías de temperatura global en ciclos como los de la actividad solar y en polaridades basándonos en el campo magnético solar.

La fuente de obtención para los datos de las manchas solares pertenece al Centro de Análisis de Datos de la Influencia Solar ubicado en el Real Observatorio en Bélgica.

Los registros de las reconstrucciones de anomalías de temperatura global se tomaron del Centro Nacional de datos climáticos que pertenece a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés).

Por último se concluye que debido a que el clima es un sistema complejo que aunque se estudia rigurosamente no se han podido establecer

las leyes bajo las cuales se gobierna. Por lo tanto, se espera obtener una aproximación de la relación en base a los cambios en los datos con respecto al tiempo de ambos parámetros.

# CAPÍTULO 1

## EL SOL

### 1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

El Sol es una estrella promedio que rota sobre su propio eje el cual es perpendicular al plano de la eclíptica. Tiene una edad estimada de  $4.6 \times 10^6$  años. Debido a que es un gas, cuenta con una rotación diferencial que varía de acuerdo a su latitud siendo más rápida en el ecuador que en los polos, así como un campo magnético variable. Entre sus principales ciclos de actividad está el de 11 años y consta de la inversión de sus polos magnéticos y aparición de manchas solares. Radia energía en todas las longitudes de onda y representa el 99% de la masa del sistema solar [1]. (Véase Tabla 1.1)

Característica	Magnitud
Diámetro Ecuatorial	$1.39 \times 10^6$ km (109 veces el diámetro de la Tierra)
Masa	$2 \times 10^{30}$ kg (333 000 veces la masa terrestre)
Tiempo de rotación	27.7 días
Campo Magnético*	1 Gauss (doble del campo magnético terrestre)
Densidad *	$1.4 \times 10^4$ kg/m <sup>3</sup> (1/4 de la densidad promedio de la Tierra)
Temperatura	6000K en la superficie
Edad	4.6 millones de años

Tabla 1.1. Características principales del Sol

\*Valores promedios tomados de *The Cambridge Encyclopedia of the Sun*

## 1.2 ESTRUCTURA DEL SOL

El Sol se estructura en función de su temperatura y su densidad (Fig. 1.1). De manera general se puede dividir en dos partes: La parte interna está constituida por el núcleo, la zona radiativa y la zona convectiva. Por otro lado, la atmósfera solar o parte externa, se constituye de la fotosfera, la cromósfera y la corona.

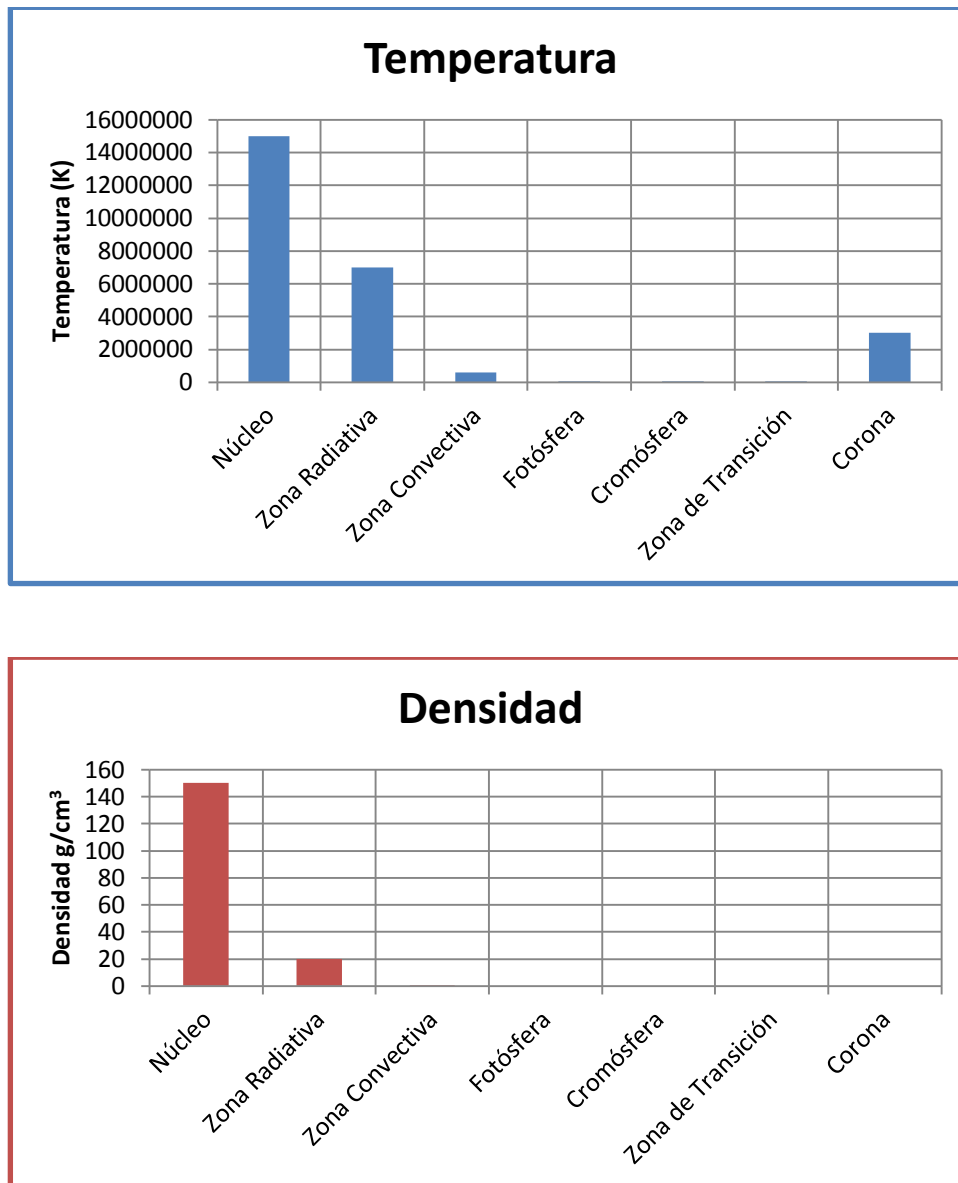


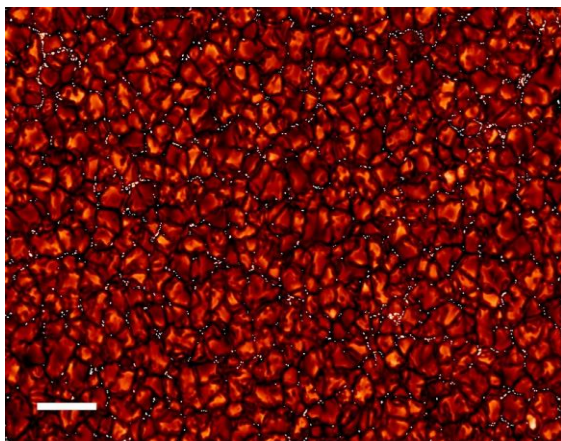
Fig.1.1 Temperatura (panel superior) y densidad (panel inferior). La temperatura muestra un descenso en sus valores hasta llegar a la zona de transición donde se eleva súbitamente. En el caso de la densidad, va decreciendo considerablemente desde el núcleo hasta la corona.

### 1.2.1 Parte interna

En el núcleo se favorecen las reacciones termonucleares debido a su gran temperatura, unos  $15 \times 10^6 \text{K}$  a  $15 \times 10^7 \text{K}$  y su presión elevada ( $\sim 10 \text{atm}$ ) [1], lo que facilita las reacciones nucleares y así la transformación de elementos más ligeros, en este caso el Hidrógeno, por otros más pesados como el Helio, con una diferencia de masa que se libera en forma de energía. Este proceso se le llama cadena protón-protón y es la fuente de energía del Sol. El resultado de estas reacciones son fotones gamma y neutrinos que a su paso por las demás capas hacia el exterior van colisionando con partículas, debido a la gran densidad presente en el núcleo. Aún con este difícil camino, logran transferir energía a las siguientes capas. Para que tengamos una idea tarda  $1 \times 10^6$  años en llegar a la superficie [2]

La siguiente zona se ubica entre los 0.25 y 0.7 radios solares ( $R_s$ ) (por encima del núcleo) y se le llama zona de radiación o radiativa. Conforme la radiación va alcanzando capas más externas en el Sol, ésta es parcialmente absorbida, dispersada y remitida. Parte de la energía se disipa debido a estas interacciones y los rayos gamma se transforman en radiación de mayor longitud de onda, como los rayos X, radiación ultravioleta, etc. La presión disminuye fuera del núcleo aunque sigue siendo lo suficientemente alta para que impida movimientos de masa. Los fotones, por lo tanto, se vuelven en esta zona la única manera de transportar energía.

Cuando el proceso ya no es suficiente, para que los fotones transfieran energía surgen movimientos a gran escala llamados convectivos. Éstos se originan debido a la disminución de presión y temperatura ( $600,00\text{K}$ ) en esta zona (ubicada entre los  $0.7R_s$  y  $1R_s$ ) [1]. La convección se efectúa gracias a condiciones del gradiente de temperatura que dan como resultado la inestabilidad. Si tenemos material caliente (plasma) del Sol que va ascendiendo y expandiéndose, es resultado de su densidad que es menor a la del medio por el que se desplaza y así continuará siempre y cuando esta condición se cumpla. Cuando se enfríe, se hundirá debido a la gravedad y su aumento de densidad. A esta zona se le llama zona convectiva y la dinámica descrita genera celdas de distintos tamaños que se pueden presenciar en la fotosfera como un patrón de granulación (Fig. 1.2)



*Fig.1.2- Granulación. Las partes más claras muestran material caliente en ascenso y las partes negras indican material caliente en descenso (a)*

### 1.2.2 Atmósfera Solar

Arriba de la zona convectiva comienza la atmósfera solar o parte externa del Sol. La primera capa es la fotosfera (esfera de luz) la cual tiene una temperatura de 5700K; se encuentra a 1 radio solar ( $R_s$ ) y mide unos 500km de espesor [1]. Su densidad disminuye, por lo que las ondas electromagnéticas de alrededor 5000 Å (el rango de longitud de onda para la luz visible es entre 4 000Å y 7 000Å ) [2] se propagan y salen del Sol con mayor facilidad.

El campo magnético solar se manifiesta en las distintas capas de la atmósfera solar. En la fotosfera se logran ver gránulos, espículas y manchas solares, las cuales se describirán posteriormente.

La cromósfera es la capa situada arriba de la fotosfera con una temperatura de 4000K. Se logra observar brevemente cuando en un eclipse total, la fotosfera ha sido cubierta por el disco lunar, la luz roja que se deja ver es la cromósfera y su color se debe al Hidrógeno contenido en el Sol (Fig.1.3). En esta área también se ubican filamentos o protuberancias que son tubos helicoidales de gas denso y relativamente frío, y ráfagas que son explosiones en la corona solar.

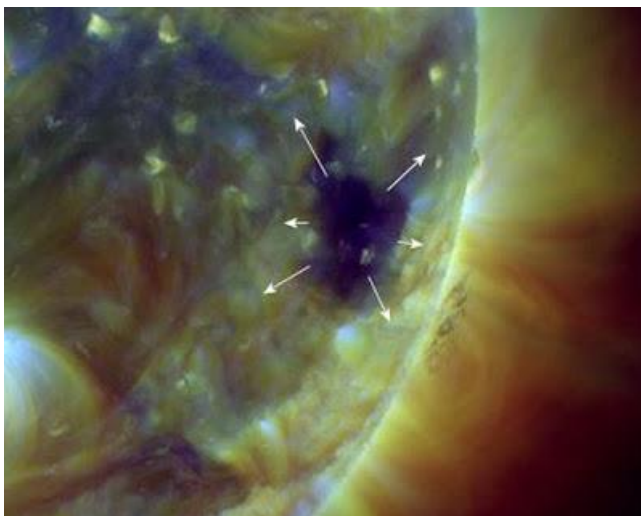


*Fig. 1.3 Cromósfera durante un eclipse.*

*Luz roja que se vislumbra debido a la abundancia de átomos de hidrógeno eléctricamente excitados en la cromósfera. (b)*

El gradiente térmico del Sol varía con respecto a la altura y presenta una disminución que alcanza los 20,000K en los primeros 2,300km [1] aproximadamente para después incrementar repentinamente hasta alcanzar el millón de grados Kelvin, a su vez que la densidad disminuye. Esta zona se le conoce como zona de transición (Fig. 1.1).

Por arriba de los 2,300km, se encuentra la corona solar, que es la parte más externa del Sol. Debido a su elevada temperatura (millones de grados), los átomos aquí se encuentran muy ionizados y emiten principalmente en ultravioleta y rayos X. Los hoyos coronales se dejan ver en esta zona como regiones oscuras (Fig.1.4), las cuales tienen campos magnéticos que se cierran más allá de la órbita de Plutón, por los cuales se escapa hacia el medio interplanetario la mayor parte del viento solar.



*Fig.1.4 Hoyo coronal en ultravioleta. La fotografía en ultravioleta deja ver un hoyo coronal y las flechas simulan la salida de material coronal. (c)*

### 1.3 CAMPO MAGNÉTICO SOLAR

Recordemos que el Sol es un gas muy caliente el cual tiene una rotación diferencial; es muy buen conductor y que además posee una zona convectiva en la cual se cree que tiene origen su campo magnético. Estas características describen el mecanismo de un dínamo de tipo alpha-omega, que produce el cambio de la configuración poloidal del campo magnético a una toroidal (en forma de dona) aproximadamente cada 5.5 años [1].

En la parte omega del mecanismo, la rotación diferencial modifica la estructura del campo poloidal original (Fig. 3a) estirando las líneas de campo magnético (Fig.3b) y transformándolo en un campo toroidal en latitudes bajas. Es aquí cuando tiene su máximo la actividad y se manifiesta, por ejemplo en el valor de número de manchas solares que se ven en la fotosfera. (Fig.3c). La parte alpha del mecanismo es descrita por el retorno del campo toroidal al campo poloidal con polaridad contraria, alcanzándose el mínimo de actividad solar.

Cada 11 años aproximadamente se completa esta reestructuración del campo magnético solar, de modo tal que para obtener la configuración magnética con la misma polaridad deben pasar otros 11 años; este es el ciclo magnético solar de 22 años. El campo magnético general tiene un valor de 1Gauss [3] que es el doble del existente en la Tierra (0.5 Gauss) y es el responsable principal de la actividad solar superficial.

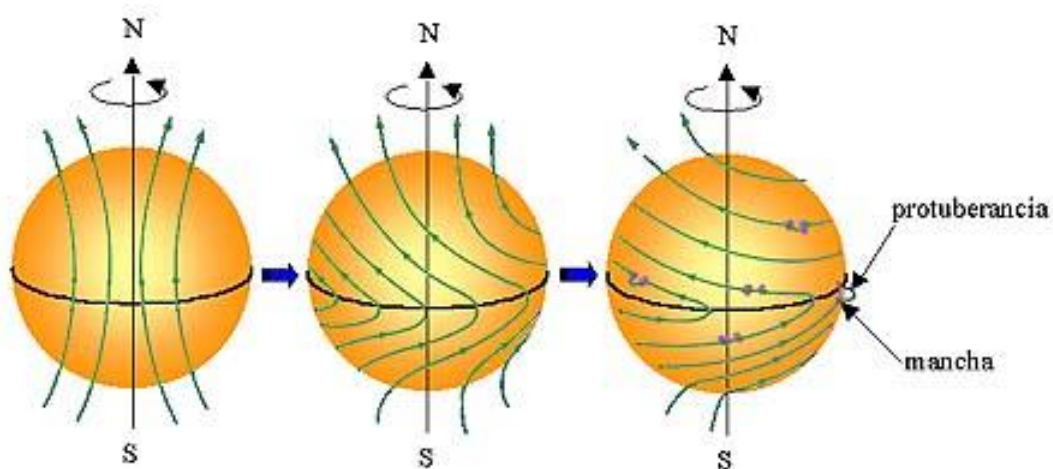


Fig.1.5 Evolucion del campo magnético solar. a) Líneas representativas del campo poloidal. b) Efecto  $\omega$  deformante. c) Efecto  $\alpha$  que regresa el campo toroidal al poloidal. (d)

## 1.4 ACTIVIDAD SOLAR

Regida por el campo magnético solar, la actividad solar incluye varias manifestaciones que ya se han mencionado anteriormente como hoyos coronales, protuberancias, ráfagas, manchas solares, etc.

Es en la atmósfera solar donde los eventos más energéticos suceden y se caracterizan por una liberación súbita de energía que esparce plasma y radiación en todas las longitudes de onda, perturbando el medio interplanetario por el que se propaga. Sus partículas se aceleran hasta alcanzar velocidades relativistas.

Los fenómenos eruptivos se dividen usualmente en ráfagas y eyecciones de masa coronal.

### 1.4.1 Ráfagas solares

Ocurren en regiones activas y su frecuencia sigue el ciclo solar de 11 años. Se localizan cerca de manchas solares y son más concurridas cuando hay un mayor número de manchas. No quiere decir que las manchas solares sean causadas por las ráfagas pero sí sugiere que las ráfagas están energizadas por el potente magnetismo asociado a las manchas solares. En el máximo de cada ciclo solar magnético se logran ver ráfagas más energéticas.

El fenómeno de la ráfaga comprende tres etapas en general: la prerráfaga, la fase impulsiva y la fase térmica o gradual.

### 1.4.2 Filamentos

Las prominencias (también llamadas filamentos) solares son grandes estructuras filamentosas compuestas de plasma denso y relativamente frío (~6.500K) [4] suspendido en la corona solar, cuyo caliente gas se encuentra a  $3 \times 10^6$  de grados. Los filamentos se encuentran a lo largo de líneas neutras magnéticas tanto en regiones activas como no activas. Cuando se desestabilizan arroja hacia el espacio material coronal encontrado en ellos y se asocian cercanamente con las eyecciones de masa coronal.

### 1.4.3 Eyección de masa coronal (EMC)

Es el evento eruptivo de mayor escala que tiene lugar en el Sol. Arroja billones de toneladas de gas a millones de grados hacia el medio interplanetario a velocidades aproximadas que van de  $10^5$  m/s a  $10^6$  m/s, alcanzando la Tierra en pocos días (Fig. 1.6). [1]

Se observan gracias a los coronógrafos instalados en naves espaciales como el *SOHO* (por sus siglas en inglés *Solar and Heliospheric Observatory*). Su estudio es de vital importancia puesto que pueden afectar directamente el campo magnético de la Tierra.

Reconexión magnética es el nombre dado al reordenamiento de las líneas de campo magnético cuando dos campos magnéticos opuestos se acercan. Este reordenamiento está acompañado de una liberación de la energía almacenada en los campos originales dirigidos de forma opuesta, que puede expandir violentamente la EMC. Esto también explica por qué las EMC tienden a ocurrir desde las regiones donde el campo magnético solar es mucho más fuerte que la media.

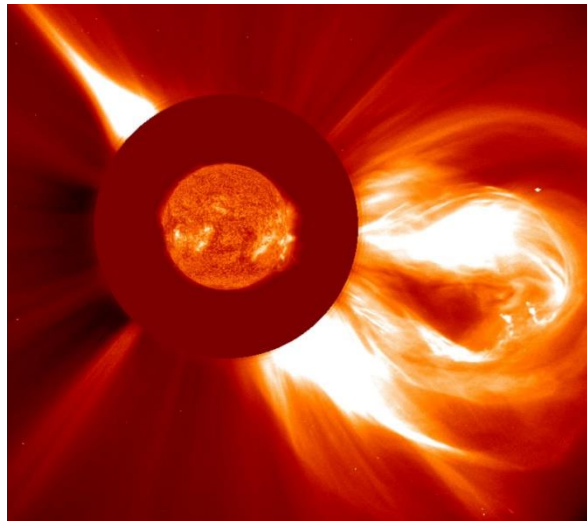
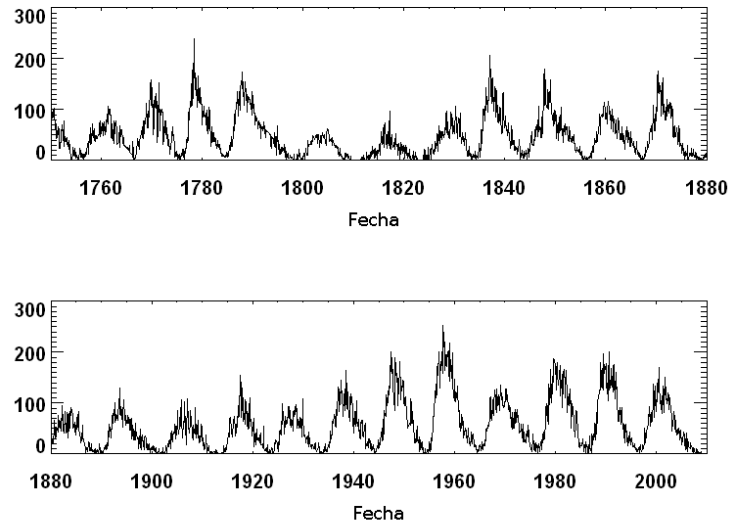


Fig. 1.6 Eyección de masa coronal. Ubicada en la parte inferior derecha (e)

### 1.4.4 Manchas solares

Las manchas solares han sido el fenómeno solar del que se tiene más registros, debido a que es visible a simple vista. Se tienen registros de primeras observaciones gracias a astrónomos chinos en el año 28a.c. Pero los registros más confiables empiezan en 1755 (Figura 1.7)



*Fig. 1.7 Ciclos de manchas solares (f)*

Son regiones donde la transmisión de energía desde el interior del Sol se inhibe debido a la mayor intensidad del campo magnético, por tanto sus temperaturas son menores que las de los alrededores, lo cual les da ese aspecto oscuro. Se les observa en la superficie solar en pares o grupos alcanzando longitudes de hasta 12,000km de extensión, temperaturas de entre 4,000K (umbra) y 5,600K (penumbra) y un campo magnético de 0.3T. Constan de dos áreas: la umbra (región oscura) y la penumbra (región clara). (Fig. 1.8).

Corresponden a regiones activas del Sol en las que el campo magnético solar cambia de configuración dipolar a toroidal, alcanzando su máximo número. Después, el número de manchas comienza a decrecer. Este ciclo tiene lugar cada aproximadamente 11 años y puede presentar variaciones. [1]

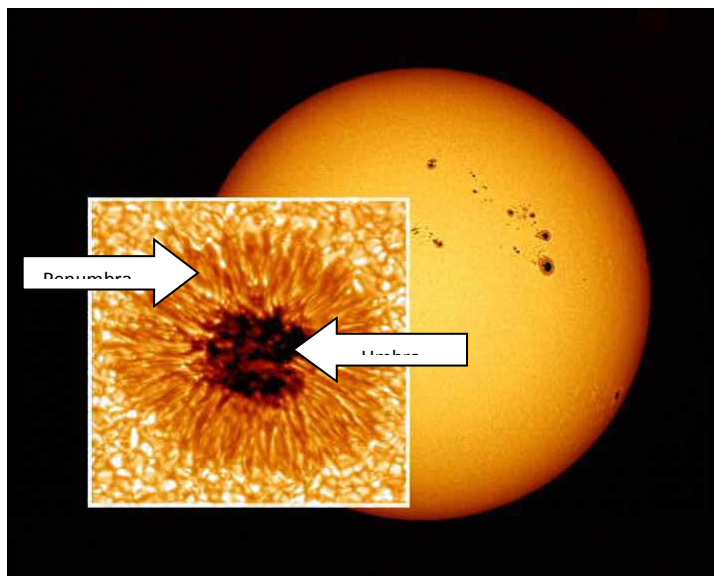


Fig. 1.8 Estructura de las manchas solares. Disco solar en el fondo con un grupo de manchas solares. En primer plano, una mancha solar con sus respectivas regiones (g)

### GRUPOS DE MANCHAS SOLARES

Las manchas solares pueden formar grupos que pertenecen al mismo flujo magnético.

Un grupo de manchas solares puede presentar distinto proceso de desarrollo, sin embargo en general se puede describir por las letras A, B, C, D, E, F y H. A-D describe diferentes fases de desarrollo. E y F representa el incremento de tamaño en la fase D. Fase H es el grupo de manchas solares más antiguo y desarrollado, y representa la fase final de decaimiento de un grupo [5].

Hay que tomar en cuenta que no todos los grupos de manchas solares siguen el mismo proceso de desarrollo.



Fig. 1.9 Clasificación de las manchas solares. De izquierda a derecha A, B, C, D, H (h)

### 1.5 VIENTO SOLAR, MEDIO INTERPLANETARIO Y CAMPO MAGNÉTICO INTERPLANETARIO

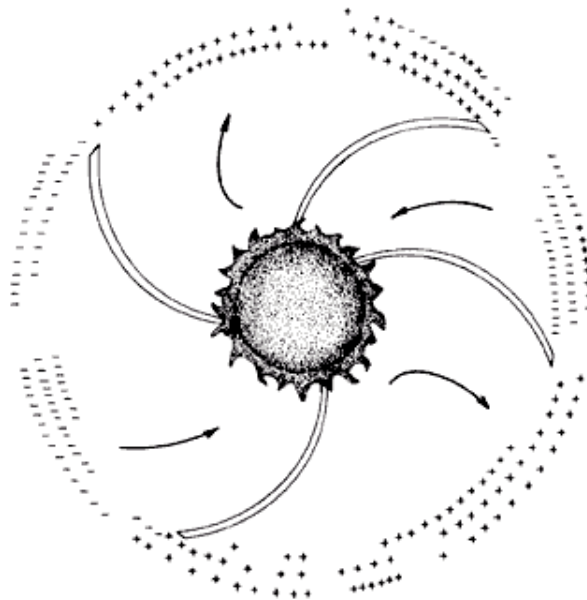
El viento solar es un flujo de plasma que se origina en los hoyos coronales aunque probablemente el de menor velocidad también proceda de

regiones de campo magnético cerrado. Lleva consigo el campo magnético del Sol a velocidades promedio de 450km/s [1] y densidad promedio de tan solo 6 partículas/cm<sup>3</sup> [6]. Logra escapar de la gravedad del Sol debido a que la corona alcanza grandes temperaturas (arriba del millón de grados). Aunque fluye continuamente, su densidad y velocidad cambian constantemente.

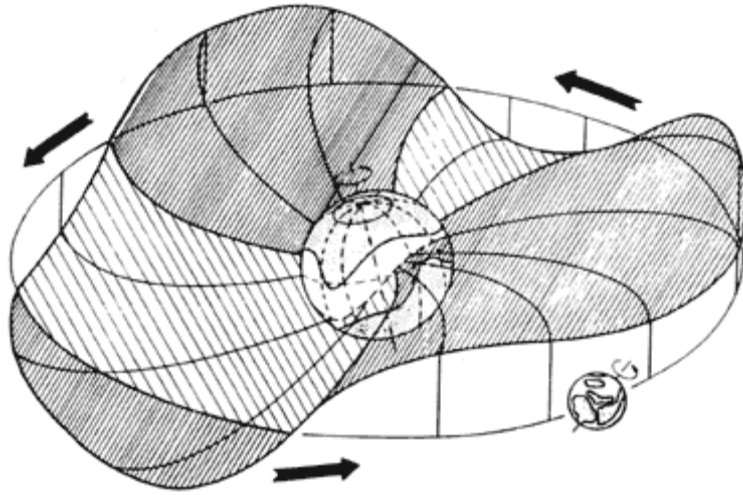
El viento solar, al expandirse por todo el medio interplanetario, define la zona conocida como heliósfera que llega hasta aproximadamente 100UA, sobre la cual actúa y forma el campo magnético interplanetario.

Durante el mínimo solar, las líneas magnéticas del Sol forman espirales llamadas de Arquímedes que se forman por la rotación del Sol. (Fig. 1.10). Debido a que el eje rotacional del Sol no coincide con el eje magnético, y que su dirección varía con el tiempo en combinación con su rotación, la hoja adquiere una forma que simula una falda de bailarina. (Fig.1.11)

Cada ciclo de rotación la hoja neutra cruzará por un punto que esté ubicado sobre la elíptica por lo menos dos veces. Por ejemplo, la Tierra se encontrará arriba de la hoja de corriente la mitad del tiempo y la dirección del campo magnético será hacia afuera del Sol



*Fig. 1.10 Espirales de Arquímedes. Estructura del campo magnético interplanetario. Los signos negativos indican campo que entra al Sol (i)*



*Fig.1.11 Forma adquirida del campo magnético interplanetario. Similar a la de la falda de una bailarina. La Tierra encuentra diferentes sectores magnéticos en su movimiento de traslación. (j)*

## CAPÍTULO 2

### LA ATMÓSFERA TERRESTRE

#### 2.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS

La atmósfera terrestre es un conjunto de gases, partículas sólidas y líquidas suspendidas. No hay un límite superior definido debido a que no se ha establecido el parámetro de la cantidad de aire por unidad de volumen necesitada para que exista la atmósfera, sin embargo, se toma un valor aproximado de 100km. Debido a la fuerza de gravedad, la atmósfera es compresible, por lo tanto el mayor porcentaje de concentración de masa se ubica en los primeros 11km. Su masa total es de  $5.1 \times 10^{18}$  kg.

La atmósfera terrestre protege la vida en la Tierra absorbiendo la radiación solar de onda corta, además de regular la temperatura y de protegernos de los meteoritos.

La meteorología es la encargada de estudiar la atmósfera enfocándose en la atmósfera baja, donde ocurren los procesos que dan lugar a la formación de nubes, la actividad eléctrica y el movimiento del viento que propician los eventos que conocemos como “tiempo”.

#### 2.2 COMPOSICIÓN

Los gases que predominan son los que llevan el nombre de permanentes; se les conoce así por formar una proporción invariable de la masa atmosférica, son el nitrógeno y el oxígeno, ocupando el mayor porcentaje por volumen. Otros como el argón, el helio y el hidrógeno tienen porcentajes menores (Tabla 2.1).

Elemento	$N_2$	$O_2$	He	Ar	$H_2$
Porcentaje por volumen	78.08	20.95	0.0005	0.93	0.58

Tabla 2.1 *Porcentajes promedios de la concentración de gases permanentes en la atmósfera.*

Los gases variables son aquellos cuya distribución no es constante y son el ozono, el dióxido de carbono, el metano y el vapor de agua que a pesar de no tener una densidad de concentración grande (Tabla 2.2), tienen una importancia significativa, ya que influyen en la salud humana y en el comportamiento de la atmósfera.

Elemento	$H_2O$	$CO_2$	$O_3$
Porcentaje	0.25	0.037	0.01

Tabla 2.2 Gases variables de la atmósfera.

Cabe mencionar que la atmósfera no absorbe uniformemente la radiación. Para ilustrar esto, el oxígeno y el nitrógeno tienen la propiedad de ser transparentes casi a todas las longitudes de onda. Por otro lado, el vapor de agua, el bióxido de carbono y el metano son transparentes a la radiación ultravioleta y visible, no obstante, absorben las radiaciones infrarrojas.

Otro componente que se encuentra en la atmósfera son los aerosoles que son partículas sólidas y líquidas suspendidas formadas tanto por actividad natural (erupciones volcánicas, polvo formado por el viento al erosionar las rocas, al choque de las olas con las rocas y como subproducto de la combustión) como por actividad humana (residuos de fábricas, automóviles, fertilizantes entre otros).

Su concentración es aproximadamente de 10,000 partículas por centímetro cúbico y su dimensión va desde 0.1 micrómetros y 2.5 micrómetros aproximadamente. La precipitación es el mecanismo que logra capturar estas partículas y removerlas de la atmósfera.

### 2.3 ESTRUCTURA

Hay tres maneras de clasificación de la atmósfera: por su composición química, por su gradiente de temperatura con respecto a la altitud y por sus propiedades eléctricas.

#### *Por composición*

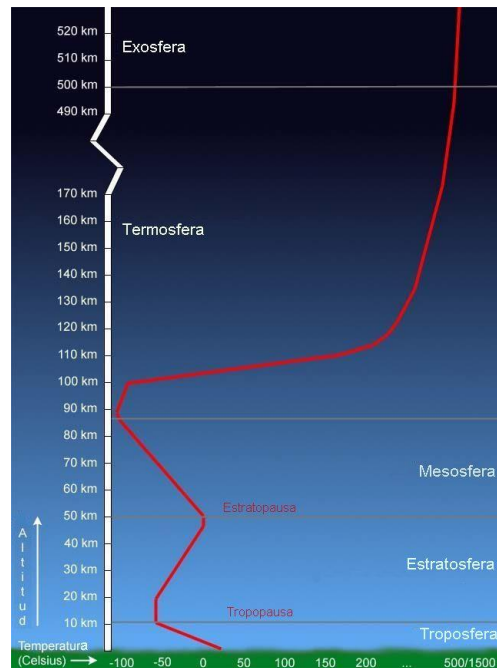
La atmósfera se divide en dos capas de acuerdo a su composición: la homósfera y la heterósfera.

La homósfera abarca los primeros 80km y es en esta capa donde los gases permanentes predominan con el 99.99% de la masa atmosférica. Su composición química casi no varía y permanece más o menos homogénea.

La heterósfera se encuentra arriba de la homósfera y va de los 80 a los 100km. Los gases más ligeros (como el hidrógeno y el helio) van aumentando a medida que hay un aumento en la altitud.

#### *Por gradiente de temperatura*

Se divide la atmósfera en cinco capas: tropósfera, estratósfera, mesósfera, termosfera y exósfera, basada en el gradiente térmico de temperatura con la altitud, lo que se conoce como modelo estándar de la atmósfera. (Fig. 2.1)



*Fig. 2.1 Atmósfera estándar. Modelo que muestra la variación de la temperatura con respecto a la altitud. (k)*

#### **Tropósfera**

Es la capa más baja de todas y se caracteriza por la circulación a gran escala del aire, producto de una mezcla vertical y la turbulencia existente; debido a esto la mayoría de los eventos meteorológicos tienen lugar en la tropósfera.

Debido a la compresibilidad que caracteriza a los gases por efecto de la fuerza de gravedad, esta capa contiene el 80% de la masa total de la atmósfera [2]

Tiene la característica de decrecer su temperatura con respecto a la altitud con un gradiente promedio de  $6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$  aproximadamente. Sin embargo, este gradiente de temperatura no es constante por lo que habrá partes de la tropósfera que sean más frías cerca de la superficie terrestre que el aire, encontrado arriba a lo que llamamos inversiones. Su límite superior esta alrededor de los 11km en promedio, ya que la altitud a la que termina depende de su temperatura promedio, siendo mayor cuando la temperatura es alta, por lo tanto está más expandida sobre los trópicos que en los polos y en veranos más que en invierno. La temperatura global promedio es aproximadamente de  $15^{\circ}\text{C}$  cerca del suelo y de  $-57^{\circ}\text{C}$  en la parte superior. La tropopausa es la zona que indica el nivel al cual la temperatura deja de disminuir con la altitud.

#### Estratósfera

Está localizada arriba de la tropósfera y abarca desde los 11km hasta los 50km. Ente los 11km y 20km hay un proceso isotérmico que obtiene su temperatura por parte de dos fuentes: la absorción de la radiación ultravioleta y la absorción que radia la superficie terrestre en la parte de abajo. Arriba de los 20km temperatura aumenta de  $-59^{\circ}\text{C}$  hasta los  $-2^{\circ}\text{C}$  (Fig. 2.1) debido a la absorción de la radiación ultravioleta por parte de la capa de ozono. La importancia de la capa de ozono recae en proteger la Tierra de la radiación ultravioleta.

Debido a sus características de temperatura la estratósfera inhibe los movimientos verticales por lo que muy poca actividad meteorológica se encuentra aquí. La estratósfera contiene el 19.9% de la masa de la atmósfera [2].

#### Mesósfera

Contiene el 0.1% de la masa de la atmósfera, ubicada arriba de la estratósfera llegando hasta los 80km. La energía de esta capa se obtiene de la absorción de la radiación ultravioleta por parte de la base de la mesósfera y que es dispersado hacia arriba por movimientos verticales disminuyendo su temperatura conforme aumenta la altitud.

## Termósfera

Localizada arriba de la Mesósfera hasta aproximadamente 100km, esta capa alcanza los 1500°C. No obstante, esto no significa que tenga un alto contenido de calor puesto que la cantidad de moléculas de aire es muy baja y tienen que recorrer muchos kilómetros para poder colisionar con otra molécula. La alta temperatura se refiere a la alta energía cinética de las partículas que ahí se encuentran.

## Exósfera

Ubicada a partir de los 500km, la estratósfera es la última de las capas. Aquí la densidad del aire es casi despreciable. La fuerza del campo magnético terrestre predomina por sobre la fuerza de gravedad, por lo que los gases contenidos están ionizados y los más ligeros obtienen velocidad suficiente para escapar de la fuerza de gravedad.

## 2.4 TRANSPORTE DE CALOR EN LA TROPÓSFERA

Hay tres maneras de transferir calor: radiación, conducción y convección.

La radiación es el único mecanismo que no necesita de un medio para transportarse y es emitida por toda la materia como energía electromagnética o como también se le suele llamar, radiación electromagnética. Es un conjunto de campos eléctricos y magnéticos que oscilan y son perpendiculares el uno del otro. En la *conducción*, el calor se mueve a través de la sustancia sin que induzca movimiento en la misma. Este fenómeno se presenta cuando calentamos un comal en la estufa, éste empezará a calentarse por el contacto con la lumbre sin necesidad de que sus moléculas se muevan. La cantidad de calor transferida dependerá del material o sustancia que se esté calentando. La conducción es comúnmente más efectiva en los sólidos.

Respecto a la *convección*, la transferencia de calor se realiza a través de un movimiento macroscópico, por tanto sólo se presenta en fluidos. Tomemos el ejemplo previo del pocillo y pongámosle agua. Sabemos que la transferencia de calor de la lumbre al pocillo es por conducción, pero para que este calor se transfiera y distribuya en todo el cuerpo de agua es necesaria la convección.

Lo que sucede se explica mediante la llamada inestabilidad de *Schwarzschild* o *inestabilidad convectiva*, que se expresa mediante la siguiente ecuación (2.1):

$$\frac{dT}{dr} > -\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T}{P} \frac{dP}{dr} \quad (2.1)$$

La expresión (2.1) nos dice que los elementos convectivos sufren expansiones o compresiones *adiabáticas*. Si en una capa existe equilibrio, esto significa que al aplicar una pequeña perturbación a cualquier elemento de volumen de esa capa, dicho elemento regresará a su posición inicial. Si, por el contrario, esto no ocurre (equilibrio *inestable*) pueden generarse movimientos macroscópicos de materia y, por lo tanto, habrá transporte de energía por convección. La ecuación (2.1) indica que para que exista el transporte convectivo es necesario que el gradiente de temperatura del medio sea mayor que el gradiente adiabático de temperatura.

El mecanismo principal para la transferencia de calor en la tropósfera es la convección. No obstante, la conducción y la radiación están involucradas también en el proceso de calentamiento de la tropósfera. La radiación emitida por el Sol es re-emitida por la superficie terrestre. Establece un gradiente de temperatura en la capa límite de aire que se encuentra cerca de la superficie terrestre. Al medio día, este gradiente aumenta y transfiere una cantidad mayor de calor a la capa para después ser distribuida en toda la tropósfera por medio de la convección.

## 2.5 ACTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA ATMÓSFERA

Los relámpagos o rayos que vemos en las tormentas eléctricas es lo que caracteriza la actividad eléctrica en la atmósfera. Estos son descargas electrostáticas que se producen cuando la diferencia de voltaje supera la resistencia del aire. Como resultado, observamos rayos que pueden ir de nube a nube o de nube al suelo, siendo los más comunes los primeros.

Los rayos se forman en varias etapas. La primera es la electrificación de la nube. Es común encontrar tormentas eléctricas en las nubes de tipo cumulonimbo, debido a que éstas son de desarrollo vertical pues se forman a partir de masas inestables de aire caliente, humedad y una fuerza que mueve hacia arriba la masa de aire caliente. Este movimiento ascendente es provocado por el aire frío que, al ser más denso, se introduce como una cuña girando en sentido horario y levantando al aire caliente y húmedo que se convierte rápidamente en un tobogán nuboso ascendente que gira en sentido antihorario y se va extendiendo en forma de yunque. Este “yunque” está compuesto en su totalidad por cristales de hielo. Y se ha visto, aunque no es muy notorio, que todos los sólidos están recubiertos por una capa muy delgada, de tan sólo unas moléculas, de superficie líquida que está débilmente unida al sólido y está presente incluso en temperaturas por debajo del punto de congelamiento. Cuando los cristales de hielo colisionan con los granizos, parte de estas moléculas de agua líquida en la superficie de los granizos migran hacia los cristales de hielo, así como también cargas positivas. O también puede suceder lo contrario: se transfieren cargas negativas de los cristales de hielo hacia los granizos. Debido a esto se pueden polarizar las cargas en la nube. [2]. Aunque esta es una teoría, es la más aceptada en nuestros días para explicar la polarización en la nube.

En el caso de los rayos nube a tierra antes de la descarga, el aire cargado negativamente se va abriendo paso hacia abajo en forma escalonada desde la base de la nube que, a su vez, induce el suelo positivamente. De seguir aumentando el campo eléctrico, la corriente positiva se puede convertir en una ruta principal de paso. Una vez que el canal de aire ionizado se establece entre la nube y el suelo, se convierte en una ruta de menor resistencia, y permite una propagación de corriente mucho mayor desde la tierra a la nube. Este es el rayo de retorno y es el que más intensidad luminosa posee, siendo una de las partes más notables de la descarga del rayo. Esto se ejemplifica en la Fig.2.2.

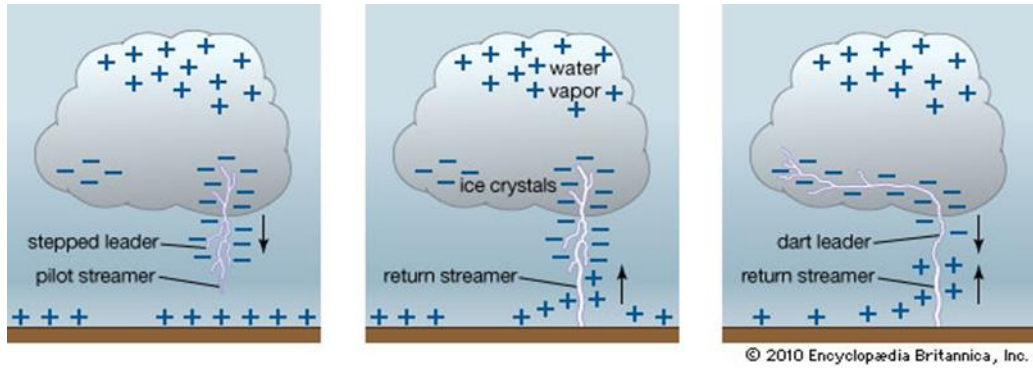


Fig.2. 2 Etapas de formación del rayo (I)

## 2.6 IONÓSFERA

La ionósfera es la capa de la atmósfera que se clasifica de acuerdo a sus propiedades eléctricas; está ionizada debido a la fotoionización producida por la radiación solar. Esta capa se extiende desde los 60-80km hasta los 600km-1000km, aproximadamente [2].

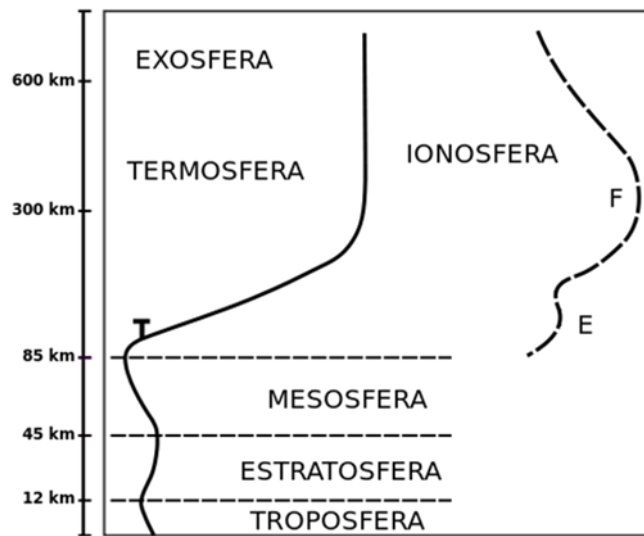


Fig.2.3 Localización de la ionósfera. Comparación entre el perfil de gradiente térmico y el perfil eléctrico. (m)

De acuerdo a su densidad electrónica se puede dividir en varias capas: capa D, capa E que en ocasiones se divide en E1 y E2 y capa F, la cual a su vez se divide en dos capas F1 y F2. Estas subcapas son originadas porque la incidencia de la radiación solar no es igual en toda la ionósfera. (Fig. 2.4).

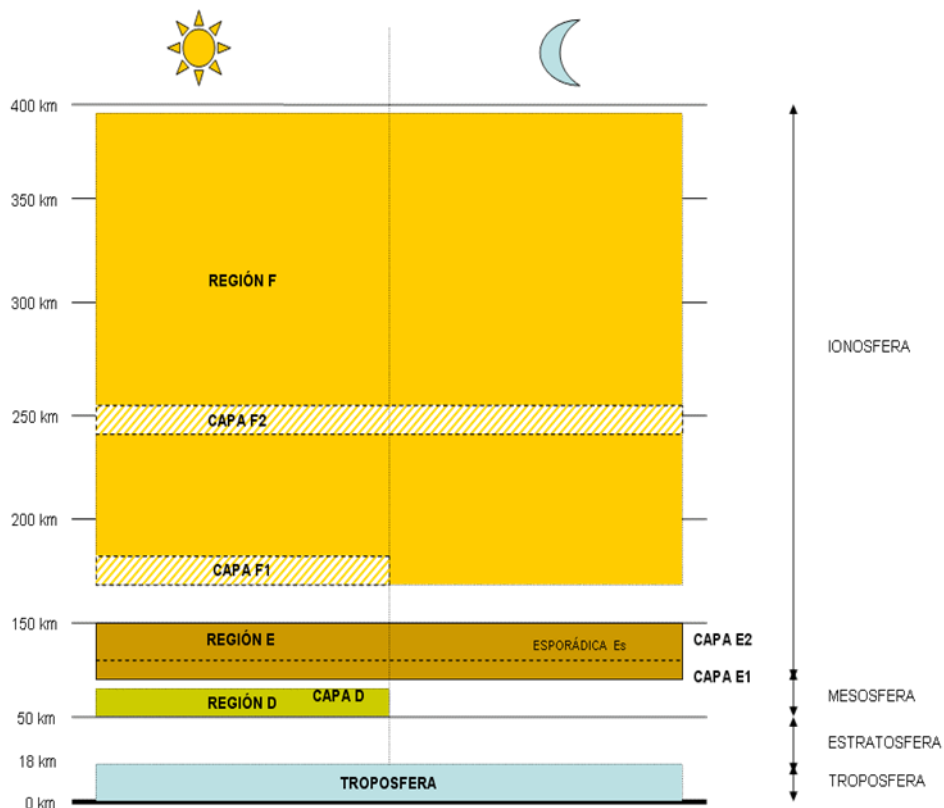


Fig 2.4 Capas de la Ionósfera (n)

La capa D es una capa diurna que se extiende desde los 60km hasta los 100km, aproximadamente. Produce atenuación de las ondas de radio por absorción.

La capa E se extiende de los 100km a los 150km. Se debilita en la noche debido a la reagrupación de sus electrones libres positivos. Alcanza su máximo de ionización durante el día en los meses de verano. Presenta una ionización anómala y debido a esto aparece una subcapa E2.

La capa F es la única que se mantiene tanto en el día como en la noche. Si se emiten ondas de radio de la superficie, estas, al llegar a la capa F, en vez de absorberlas las refleja de nuevo a la superficie. Se extiende a partir de los 150km.

## CAPÍTULO 3

### RELACIONES SOL-TIERRA

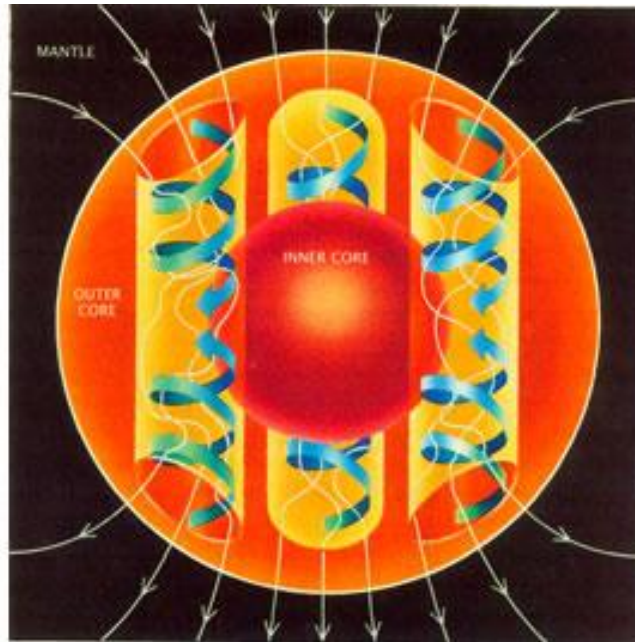
#### 3.1 CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA

El campo geomagnético es útil para protegernos del violento viento solar. Gracias a ello, nuestro planeta puede albergar vida. A su vez, la interacción entre el campo geomagnético y el viento solar produce eventos tales como: auroras boreales y australes, tormentas geomagnéticas, etc.

##### 3.1.1 ORIGEN

El origen del campo geomagnético se ubica en el núcleo externo de la Tierra (ubicado a 2,900km del centro del planeta), el cual es líquido y está primordialmente compuesto de níquel y fierro junto con otros elementos en menor proporción y más ligeros como el oxígeno, sulfuros, silicio y carbón. Su temperatura decrece de 4,800K en el límite inferior hasta 3,100K en el límite superior del núcleo externo [3]. Aquí se encuentra un medio inusual el cual es un líquido, metálico y conductivo que tiene propiedades comparables a las de un plasma.

Cuando el fierro se va cristalizando, es depositado poco a poco en el núcleo interno y las capas cercanas se enriquecen con sulfuro y oxígeno. Esta cristalización da calor al núcleo líquido generando un gradiente de temperatura que da lugar a movimientos convectivos: el metal líquido cerca del núcleo se vuelve menos denso al calentarse, como consecuencia, sube hacia el límite externo del núcleo líquido y hacia el exterior. A medida que se eleva, está sujeto a un hundimiento por la gravedad y a un incremento de fuerzas centrífugas debido a la rotación de la Tierra en su eje. Como resultado, describe un movimiento del núcleo líquido en forma de espiral alrededor de sí mismo. El movimiento de rotación de las cargas es el origen del campo magnético dipolar terrestre. La fuerza de Coriolis, consecuencia de la rotación del planeta, tiende a organizar al fluido en rollos alineados en la dirección del eje polar norte-sur (Fig.3.1).



*Fig. 3.1. Influencia de la fuerza de Coriolis sobre las líneas de campo geomagnético. Como consecuencia los tubos de flujo magnético se alinean. (o)*

### 3.1.2 ESTRUCTURA

Podemos imaginar a la Tierra como una gran barra que está imantada. Así, su configuración es dipolar. Va del Sur al Norte de la Tierra y tiene sus propias coordenadas que están basadas en el sistema de coordenadas geográficas: los meridianos unen los dos polos magnéticos, Norte y Sur. El eje geomagnético está desfasado del eje terrestre  $11^\circ$  y depende del movimiento del plasma en el núcleo externo (Fig.3.2).

Hay tres maneras de cambiar la configuración del campo geomagnético generando anomalías locales:

- Otros tipos de movimientos del planeta
- El que genere el viento solar
- La magnetización de las capas superficiales que no cambia con el tiempo a diferencia del campo magnético general

Cuando el "río de plasma" está muy enrollado, se desenrolla volteándose, lo que da origen a la inversión del campo geomagnético. En los últimos  $4.5 \times 10^6$  años, el campo se ha revertido 25 veces en intervalos que no parecen ser regulares [3].

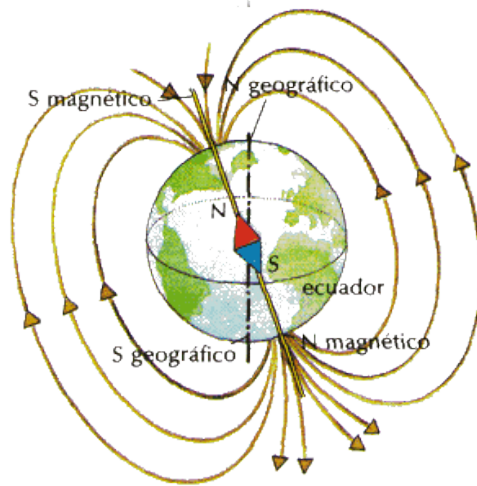


Fig.3.2. Estructura del campo geomagnético. Se muestra la dirección de las líneas de campo junto con la ubicación de los polos magnéticos respecto a los geográficos. (p)

### 3.2 MAGNETÓSFERA TERRESTRE

La magnetósfera es aquella región que protege a la Tierra del viento solar. En esta región, el campo geomagnético domina los fenómenos físicos que se presentan. Localizada por arriba de la ionosfera, la magnetosfera debe su forma y tamaño al balance de energía entre ésta y el viento solar. En dirección solar tiene una extensión de hasta 10 radios terrestres [1], en los costados, 10 radios terrestres aproximadamente y en la parte localizada en dirección antisolar se llega a extender hasta más allá de los 200 radios terrestres (Fig.3.3).

#### 3.2.1. Componentes de la magnetósfera

##### *Frente de choque*

Ubicado entre los 13 y 14 radios terrestres [1], se forma por el impacto del viento solar con la magnetósfera.

##### *Magnetofunda*

Ubicada entre la onda de choque y la magnetopausa, la magnetofunda contiene plasma turbulento proveniente del viento solar el cual calienta la magnetofunda y produce gran turbulencia.

### *Magnetopausa*

Como su nombre lo sugiere, es el límite de la magnetósfera, localizada a 10 radios terrestres. La corriente de la magnetopausa es generada por la compresión del campo geomagnético debido al viento solar.

Cuando las líneas del campo magnético interplanetario y las líneas del campo geomagnético se acoplan, son arrastradas por el viento solar hacia la parte con dirección antisolar y forman la magnetocola, que es una región abierta de la magnetopausa, la cual permite la entrada de partículas energéticas del medio interplanetario hacia la magnetósfera.

### *Conos polares*

Localizados por encima de los polos magnéticos de la Tierra, estas, zonas también permiten la entrada del plasma de la magnetofunda a la ionosfera y definen el límite de las líneas cerradas del campo geomagnético. Su ubicación se puede ver afectada por la forma de la magnetopausa, que a su vez se ve afectada por las reconexiones de las líneas de campo ubicadas en dirección al Sol; se reconectan con las que tienen ubicación antisolar (Fig.3.3).

### *Hoja neutra y hoja de plasma*

El cambio de dirección repentino del campo geomagnético en dirección antisolar hacia una dirección solar fue clave para observar la hoja neutra o también llamada hoja de corriente, la cual separa las zonas del campo geomagnético con direcciones opuestas y está localizada a 16 radios terrestres. Su origen está en la magnetocola donde las líneas están muy juntas, cancelándose y creando una zona neutra donde el campo geomagnético es muy débil.

La hoja de plasma localizada entre 30 y 40 radios terrestres es aquella zona en donde puede haber reconexión de líneas de campo, por lo tanto está en constante actividad. Tiene un espesor en promedio de dos a tres radios terrestres que varía de acuerdo a la actividad geomagnética.

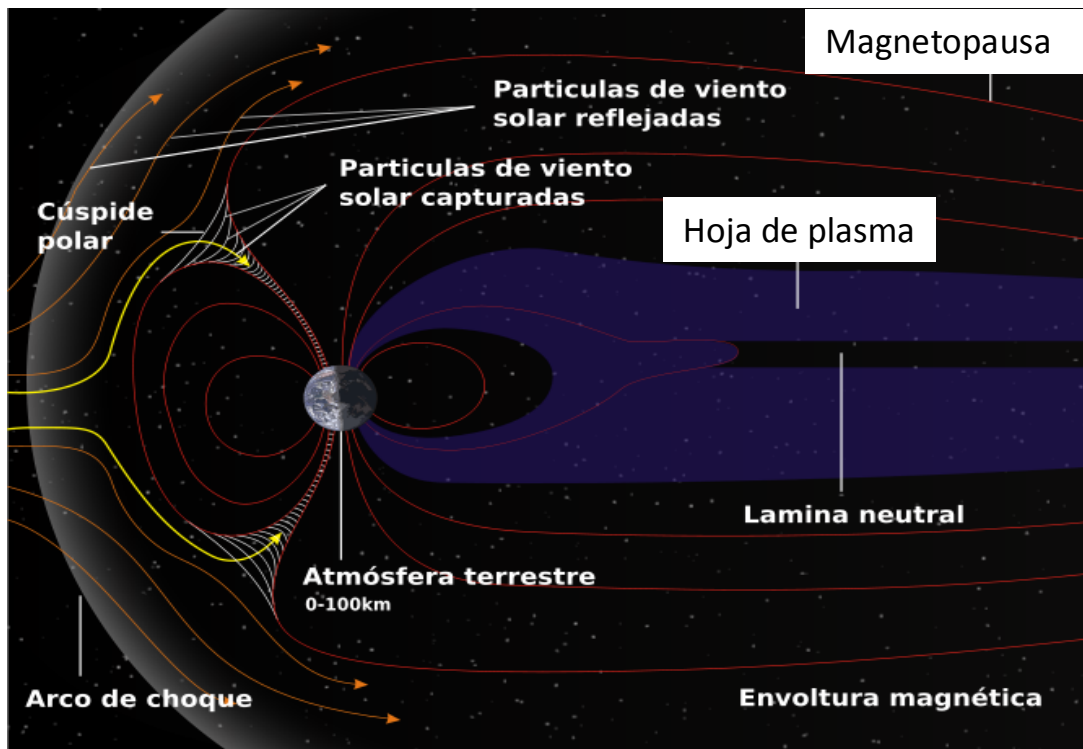
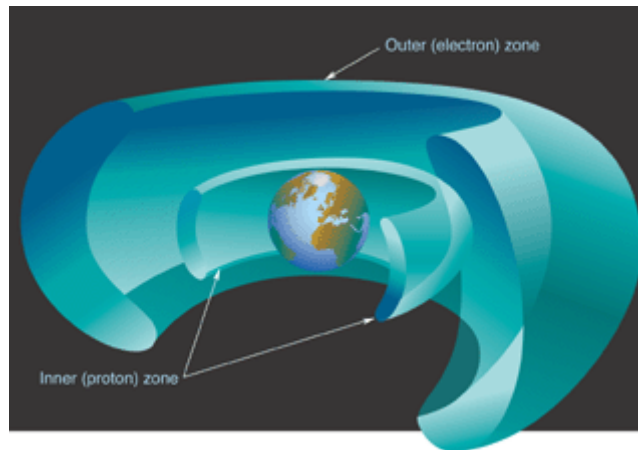


Fig.3.3 Partes de la magnetósfera (q)

### Plasmasfera

Es aquella zona constituida por un plasma denso, frío y de baja energía que tiene su origen en la ionósfera y está constituida por iones de oxígeno e hidrógeno en mayor cantidad y en menor cantidad por iones de Helio, Oxígeno y Nitrógeno. El límite de la plasmasfera es conocido como plasmapausa y se ubica entre los 3 y 4 radios terrestres.

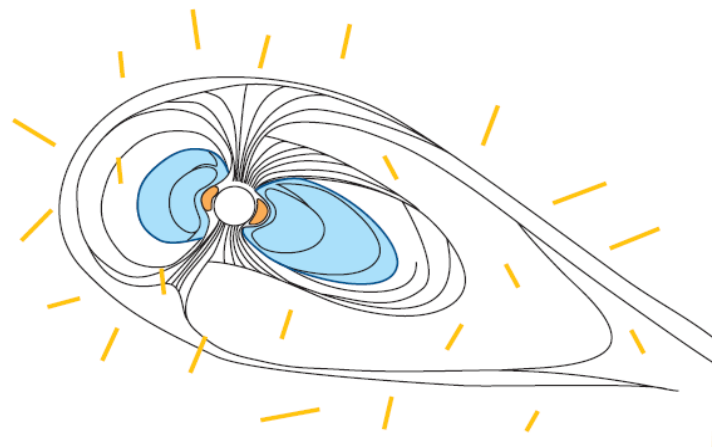
Dentro de la plasmasfera, están ubicados dos zonas que rodean a la Tierra en forma toroidal que contienen electrones y protones y que además están rotando con el planeta. Se denominan anillos de radiación Van Allen (Fig.3.4).



*Fig.3.4 Anillos de radiación Van Allen. Ambos anillos (interno y externo) se muestran en azul claro (r)*

El anillo externo contiene en su mayoría electrones con energías menores a los 1.5MeV y se ubica aproximadamente a 4.5 radios terrestres.

El anillo interno está localizado a unos 1.5 radios terrestres del centro de la Tierra; contiene protones con energías por arriba de los 10MeV, con una densidad de apenas 15 protones por metro cúbico [8] (Fig. 3.5).



*Fig.3.5 Magnetosfera y anillos de radiación. En líneas negras se muestra la magnetosfera la cual en su interior se observan los anillos de radiación Van Allen externo (azul cielo) e interno (naranja). Las líneas alrededor de la magnetosfera simulan los rayos cósmicos dispersos los cuales tienen distintas direcciones. (s)*

### *Magnetocola*

Como fue antes mencionado, es una región abierta en dirección antisolar que permite la entrada de partículas energéticas del medio interplanetario a la magnetósfera y se forma cuando las líneas de campo tanto del campo

geomagnético como del campo magnético interplanetario son arrastradas hacia atrás.

Su estructura depende de la actividad geomagnética en especial durante los periodos de tormentas magnéticas, y se extiende más allá de los 200 radios terrestres.

### **3.3.- RELACIÓN SOL-TIERRA**

#### **3.3.1. INDICADORES HISTÓRICOS DE LA ACTIVIDAD SOLAR**

##### Auroras

Las Auroras boreales o australes, según su ubicación, son una de las manifestaciones visibles al ojo humano resultado de la interacción entre el viento solar y el campo geomagnético, dejándonos ver colores verdes y rojos en el cielo.

Cuando hay un evento eruptivo en el Sol como una EMC o una fulguración, los electrones creados junto con el viento solar ingresan a la atmósfera por zonas abiertas como la magnetocola o los conos polares acelerándolos. Al llegar a la ionósfera, interaccionan con los átomos encontrados para ionizarlos y excitarlos. Los electrones vuelven a su capa de la que brincaron (desexcitación electrónica) y se recombinan, dejando vislumbrar luces de colores rojo y verdes debido a la emisión del oxígeno a longitudes de onda de 5 577 y 6300nm [8] (Fig.3.6). Se ubican principalmente en latitudes altas de ambos hemisferios.



*Fig. 3.6 Auroras boreales. Mostrando las distintas tonalidades adquiridas(t)*

### Tormentas magnéticas

Cuando el ciclo solar está en su máximo, se observan eyecciones de masa coronal rápidas, alterando el viento solar y desencadenando violentas tormentas magnéticas que perturban el campo geomagnético.

El viento solar generalmente se mueve más lento que una EMC, por lo que la eyección se traslada al medio interplanetario surcando el viento solar en su camino, llevando consigo una onda de choque muy por delante de ella. Cuando está dirigida hacia la Tierra, esta onda de choque impacta al campo geomagnético y da paso a la fase inicial de una gran tormenta geomagnética unos días después que la EMC dejase el Sol.

Las tormentas magnéticas constan de 3 partes:

- 1.- La aparición de un comienzo repentino junto con una fase inicial (usualmente una explosión solar) que da lugar a la compresión de la magnetósfera, seguida por el frente de choque que se extiende a través del viento solar. Cuando no hay fases posteriores a la tormenta, este fenómeno se conoce como impulso súbito.

2.- La componente sur del campo magnético interplanetario favorece la realización de la fase principal, ya que permite la entrada del viento solar, debido a la reconexión magnética entre líneas de campo magnético terrestre y campo interplanetario, para así generar el anillo de corriente ecuatorial.

3.- La fase final se observa en un restablecimiento de la intensidad del campo geomagnético hasta alcanzar el valor que tenía antes de la tormenta. Sucede cuando la fuente que alimenta el anillo de corriente, desaparece (Fig.3.7)

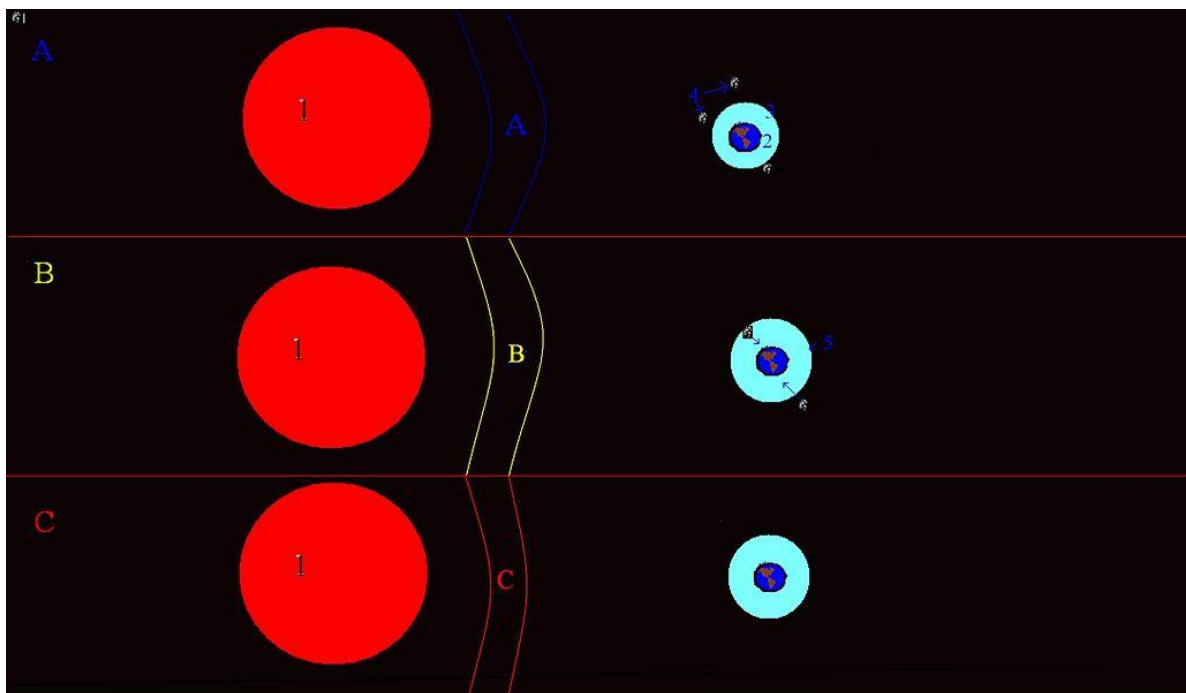


Fig.3.7 Etapas en una tormenta solar. A) Se muestra el Sol en rojo, la Tierra, la atmósfera en azul claro y unos satélites. B) Se muestran los mismos elementos excepto que se observa un cambio en la atmósfera terrestre después de la tormenta (u)

### 3.3.2 INDICADORES A LARGO PLAZO DE LA ACTIVIDAD SOLAR

#### 3.2.1 Isótopos cosmogénicos

Estos se forman por la interacción de los rayos cósmicos y los núcleos atómicos de la atmósfera. La mayoría de estos núcleos son isótopos radiactivos que se generan al interactuar los rayos cósmicos con el oxígeno, el

nitrógeno y el argón atmosféricos, produciendo Carbono 14 (  $C^{14}$  ) y Berilio 10 (  $Be^{10}$  ).

Los rayos cósmicos son partículas subatómicas de alta energía debido a su gran velocidad casi cercana a la luz. La cantidad de rayos cósmicos que arriban a la Tierra es inversamente proporcional a la actividad solar. Durante el máximo, el campo magnético interplanetario tiene una topología muy compleja que dispersa los rayos cósmicos y reducen su flujo al arribar a la Tierra, durante el mínimo ocurre lo opuesto. Estos isótopos se almacenan en nuestro planeta, por ejemplo los anillos de los árboles, las capas polares y sedimentos lacustres y marinos.

### **3.4 RELACIÓN CLIMA-SOL**

Los elementos primordiales usados para definir el clima son la precipitación, los vientos, la presión atmosférica, la humedad y la temperatura, para estudios que asocian la actividad del Sol y el clima terrestre, con mayor frecuencia, se utilizan la temperatura, y la precipitación. En caso de existir dicha asociación deberá de cumplirse no solo para un elemento sino para todos puesto que están directamente relacionados entre sí.

#### *3.4.1 Correlación temperatura con manchas solares*

La variabilidad en el clima a través del tiempo tiene varias causas, éstas son tanto geofísicas como debidas a las corrientes oceánicas, a la deriva continental, al vulcanismo, o incluso a factores fuera de la Tierra como la variación de sus parámetros orbitales o la entrada de cuerpos en la atmósfera.

La actividad solar es uno de los factores con mayor influencia en el clima terrestre. Lo que se ha tratado de observar es si esta influencia es directa, es decir si al haber registro de alguna variación en la actividad solar se vea una respuesta concomitante en el clima del planeta.

Recordando que las manchas solares son los fenómenos solares que se tiene el registro temporal confiable más largo, se ha utilizado esta información para correlacionarlas con la temperatura (Fig.3.3):

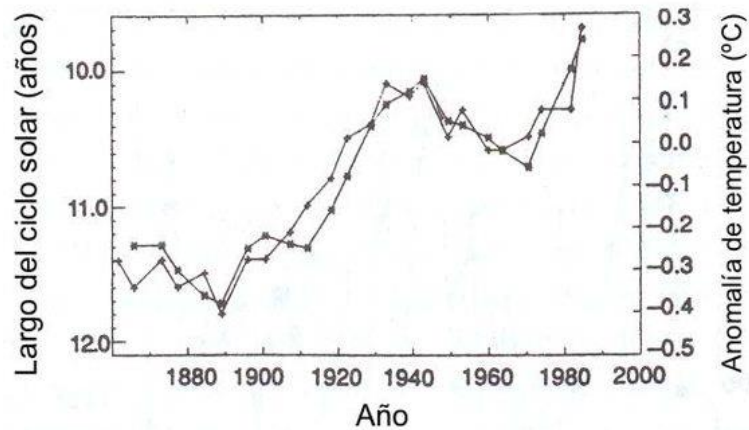


Figura 3.8 Manchas solares y anomalías de temperatura. Estudio realizado por K. Lassen y E. Friis-Christensen, en el que se relacionan ambos factores aproximadamente desde 1700 hasta unos años después de 1980 (v)

### 3.4.2 Precipitación pluvial

Para correlacionar la precipitación con las manchas solares hay que tomar en cuenta la localización donde fueron realizadas las muestras.

En latitudes medias (20° y 40°) hay menos precipitación cuando el ciclo solar está en el máximo que cuando está en el mínimo, mientras que para las latitudes ecuatoriales se presenta una mayor cantidad de lluvia durante esa misma época [3].

Shaw (1928) encontró una correlación entre el nivel de agua en los lagos y las manchas solares para el periodo de 1880 a 1920, es decir, para el máximo de manchas solares hubo una mayor cantidad de lluvia (el nivel de agua en los lagos es un indicador indirecto de la precipitación). Después de la revolución industrial en la década de los 50's la correlación empezó a ser negativa.

### 3.4.3 El niño

También conocido como ENOS (El Niño – la Oscilación del Sur) es una variación en el clima global debido a una modificación en el sistema océano-atmósfera. Es caracterizado por un aumento de temperatura en las corrientes marinas ubicadas en el pacífico ecuatorial.

En condiciones normales los vientos alisos mueven aguas calientes hacia el pacífico oeste, causando aumento en la temperatura e incluso un

incremento en el nivel del mar. Al mismo tiempo, la surgencia del agua fría encontrada debajo sustituye al agua caliente migrando hacia el oeste del Pacífico Este. El agua cálida en el Pacífico oeste conlleva un incremento en la temperatura del aire, disminución en la presión del aire superficial, y un incremento en la precipitación por convección. A todo este proceso se le conoce como circulación Walker.

El ENSO sucede cuando la dirección de los vientos alisos cambia o se debilita. Entonces, el agua cálida encontrada en el oeste del Pacífico migrara hacia el este; eventualmente logrará llegar a las costas del Norte y Sur de América.

En la Fig.3.9 a) se muestra la dirección de los vientos alisos hacia el pacífico oeste y el ciclo normal de convección. Así como la posición de la termoclina (capa de agua donde la temperatura cambia rápidamente). b) Los cambios producidos por el Niño se observan en esta figura. La ubicación de la termoclina cambia así como la dirección de los vientos alisos. Se observa como el agua cálida aumenta en el Este debido a su migración.

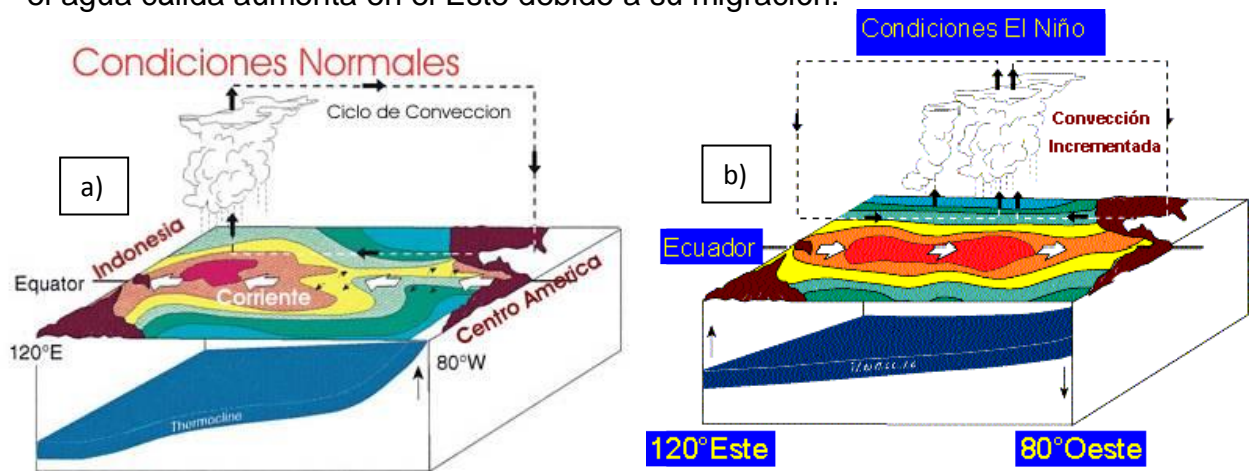


Fig.3.9 El Niño. Figuras comparativas que muestran los efectos del niño en las aguas del Pacífico Ecuatorial. (w)

## CAPÍTULO 4

### DATOS

Se utilizaron dos bases de datos diferentes. La primera contiene los datos correspondientes a los grupos de manchas solares, y la segunda son reconstrucciones de anomalías de temperatura global.

#### 4.1 MANCHAS SOLARES

Hoyt y Schatten [13] observaron que el número de Zürich; el cuál es una cantidad que mide el tamaño y el número de las manchas solares, es útil para estudios que relacionan actividad solar con clima global. Sin embargo, se encontró que para ciertos periodos, (antes de 1847) hay deficiencias.

Por este motivo, los autores mencionados crearon el número de grupos de manchas solares como una alternativa al número de Zürich y lo normalizaron para hacerlo coincidir con este mismo durante los años de 1874 hacia adelante.

El número de grupos de manchas solares está dado por:

$$R_G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i 12.08 g_i$$

donde:

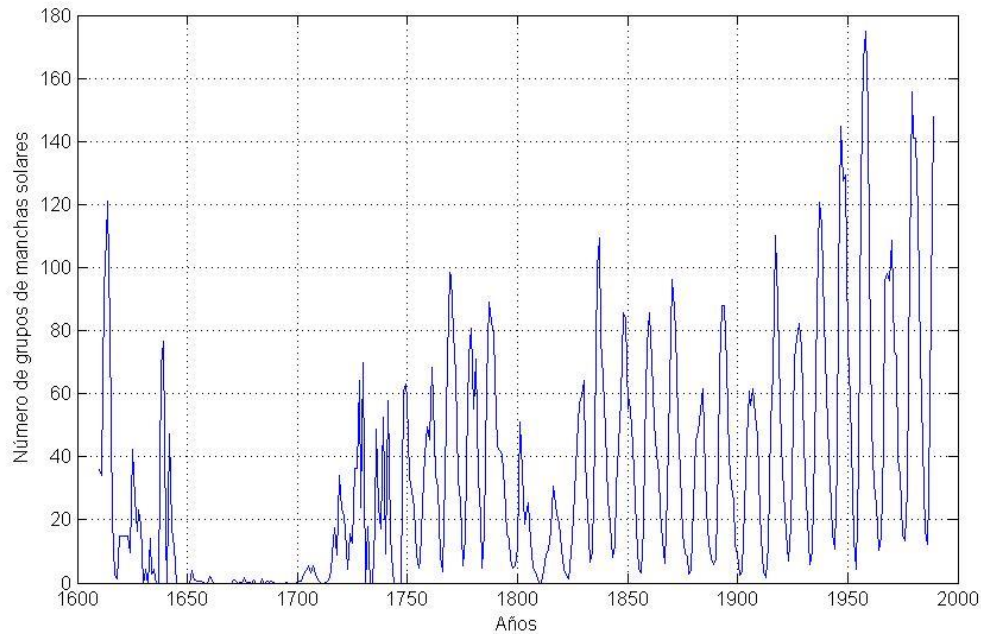
$N$  es el número de observadores

$K_i$  es el factor de corrección por observador

$i$  es el observador

$g_i$  es el número de grupos de manchas solares reportado por observador

Los datos que se muestran en la Figura 4.1 (ver también Anexo A) fueron extraídos del Centro de Análisis de Datos de la Influencia de las Manchas Solares (SIDC- Solar Influences Data Analysis Center) [9] el cual forma parte del Royal Observatory localizado en Bélgica. Abarcan los grupos de manchas solares desde 1610 hasta 1995.



*Fig.4.1 Valores de grupos de manchas solares anuales*

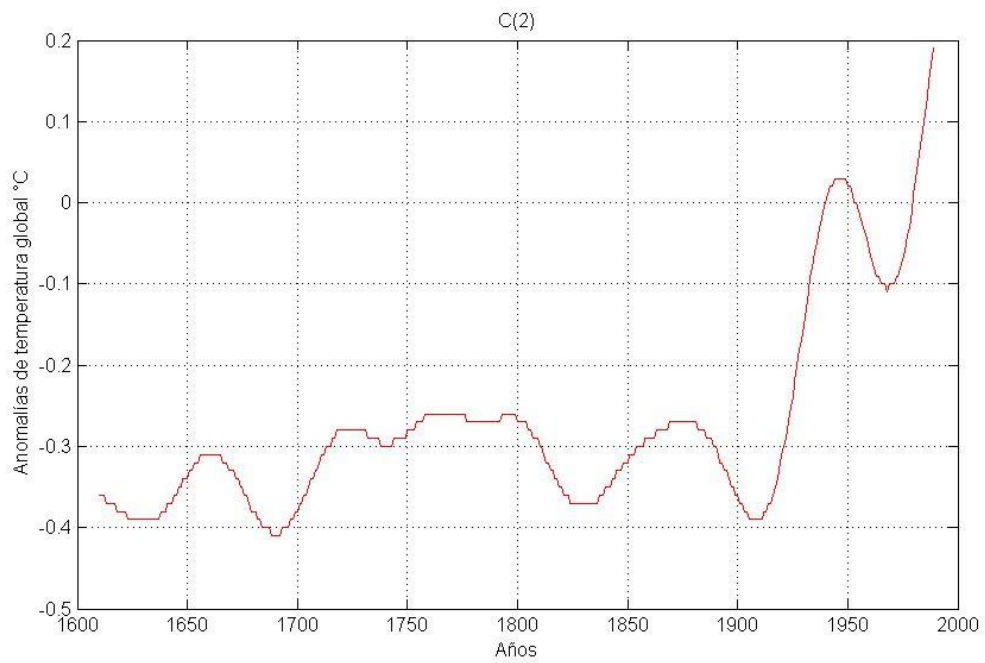
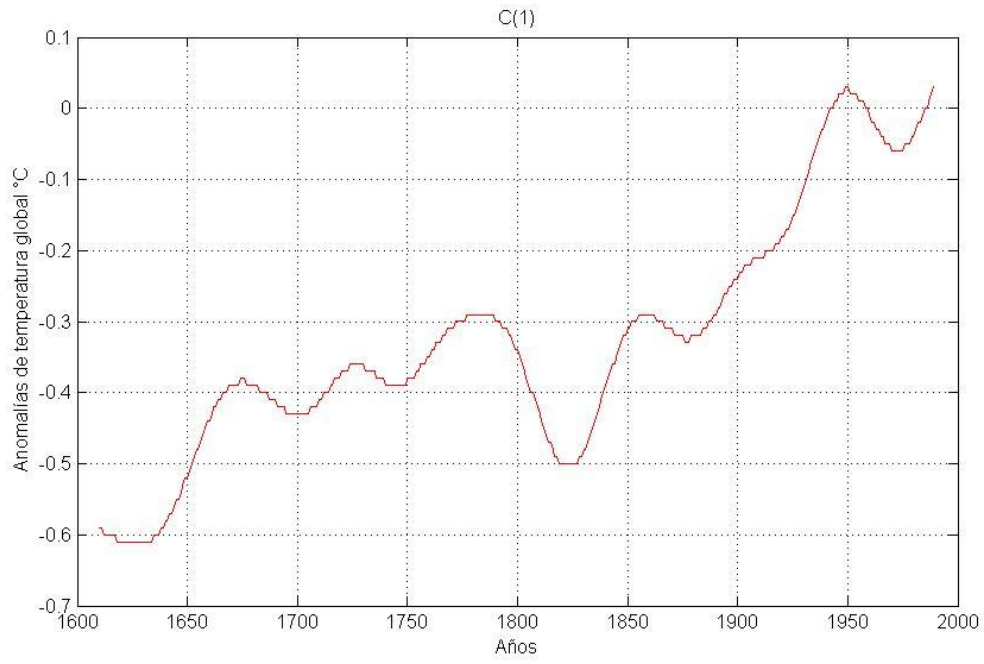
## **4.2 PRINCIPALES RECONSTRUCCIONES DE ANOMALÍA DE TEMPERATURA GLOBAL**

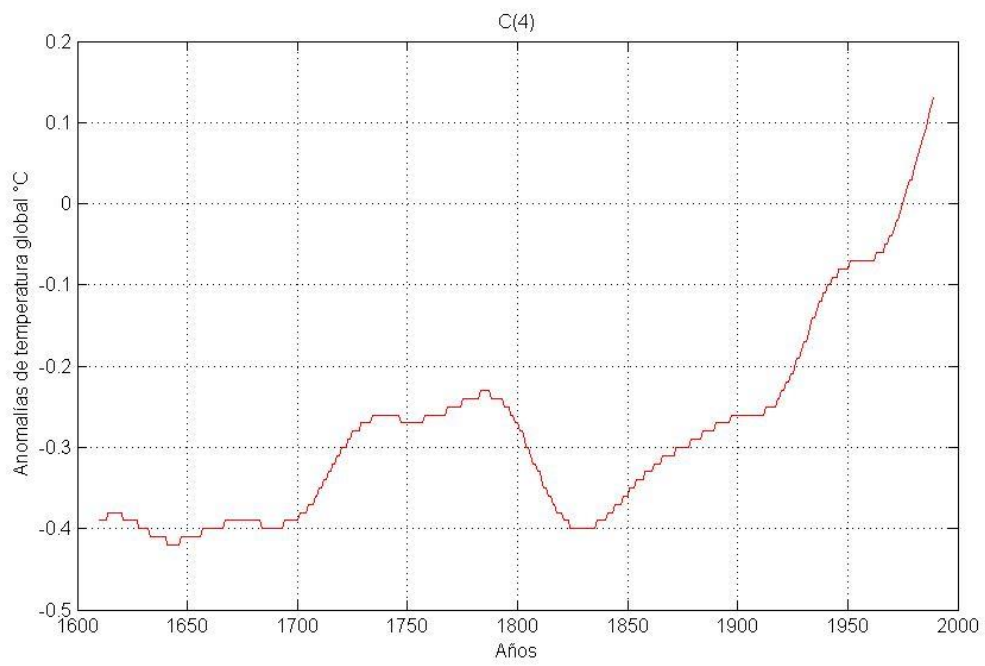
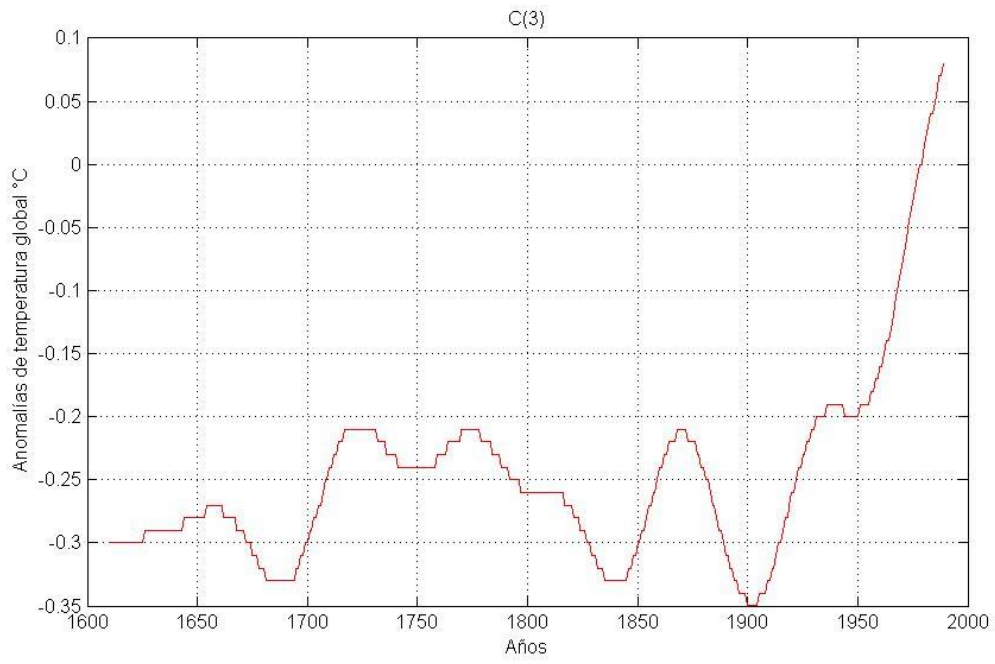
Jones y Mann (2004) presentaron una revisión de la evidencia que ha dejado el cambio climático en distintos tipos de fuentes de datos, presentando además las correspondientes reconstrucciones de temperatura.

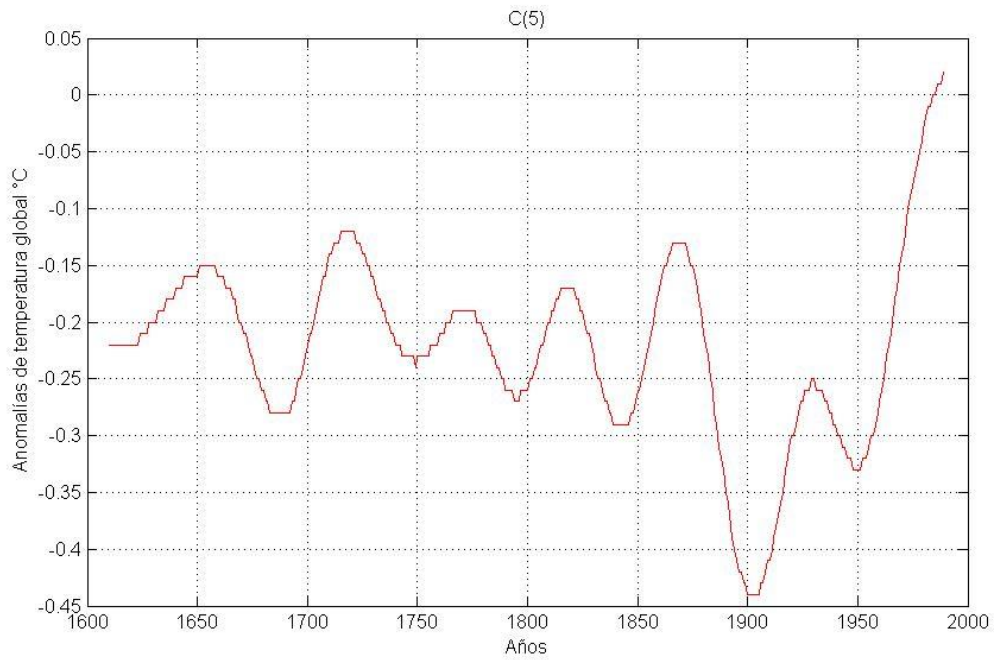
La ventaja de las reconstrucciones de temperatura radica en que permite ver con mayor detalle la variación de este parámetro que los modelos o datos instrumentales no hacen visibles.

En el presente trabajo se utilizaron exclusivamente las reconstrucciones de las anomalías de temperatura global, las cuales fueron cinco series de datos de distintos autores y abarca desde el año de 1610 hasta 1995.

A continuación en la Fig. 4.2 se muestran los comportamientos de dichos datos en series de tiempo.







*Fig. 4.2 Variaciones de las reconstrucciones de anomalía de temperatura global. Se muestra las cinco bases de datos distintos correspondientes a las reconstrucciones de anomalías de temperatura y su variación en los años de 1610 a 1989. C1 corresponde a la primera columna de datos, C2 corresponde a la segunda columna de datos y así sucesivamente hasta llegar a C8 que corresponde a la octava columna de datos. (Ver Anexo B)*

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS, DISCUSIÓN Y CONCLUSION

En este capítulo se analizarán los datos mostrados en el Capítulo 4, discutiremos los resultados y presentaremos las conclusiones.

Para dicho análisis, se basó en el método utilizado por Velazco y otros [10] el cuál se realiza comparando ambos parámetros utilizando los mismos periodos, es decir, 15 ciclos completos solares de 22 años de 1625 a 1989, con la finalidad de encontrar algún patrón.

#### 5.1. GRUPOS DE MANCHAS SOLARES Y RECONSTRUCCIONES DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA

Debido a que los datos miden distintos parámetros se tienen que tratar de una cierta manera para poder hacer una relación entre ellos. Recordando que el ciclo de manchas solares es de aproximadamente 11 años, los datos se clasificaron de acuerdo a cada ciclo solar para posteriormente obtener su *potencia*. La *potencia* que aquí usamos es un indicativo de la energía de estos parámetros asociada a cada ciclo.

Para sacar la potencia asociada a cada ciclo de manchas solares se elevó al cuadrado el número promedio de manchas solares anuales para después dividirlos entre la duración de cada ciclo solar, tomando en cuenta que no en todos los casos la duración es la misma.

Este procedimiento se llevó a cabo con la siguiente fórmula:

$$PGm = \frac{[Gm_{ti}^2 + Gm_{ti+1}^2 + \dots Gm_{tf}^2]}{(tf - ti) + 1}$$

(5.1)

donde:

$PGm$  es la potencia asociada a cada dato de grupos de manchas solares

$Gm$  indica los grupos de manchas solares anuales

$ti$  es el año del mínimo solar donde inicia el ciclo

$tf$  es el año del máximo solar donde termina el ciclo

Intercambiando  $Gm$  por  $RATG$  en la ecuación (5.1); siendo  $RATG$  el valor de cada una de las fuentes de reconstrucciones de anomalías de temperatura global, se obtiene la potencia asociada a  $RATG$ , esto con la finalidad de poder comparar ambos parámetros.

Obtenida la potencia de ambos parámetros se procede a clasificarlos de acuerdo a la polaridad de cada ciclo solar en positiva y negativa. La polaridad se define por la dirección de las líneas de campo magnético del Sol, siendo positivo cuando las líneas de campo salen en dirección hacia afuera del Sol y negativas cuando se dirigen hacia el Sol.

Para fines prácticos, se le asignó un número a cada periodo o ciclo negativo o positivo. Así, tenemos que para el primer ciclo la polaridad positiva comienza en 1614 y termina en 1624. El segundo ciclo correspondiente a la polaridad negativa comienza en 1625 y termina en 1638 y así sucesivamente. La tabla 5.1 muestra la relación de años para cada polaridad correspondiente a los 15 ciclos clasificados.

CICLO	POLARIDAD POSITIVA (AÑOS)	POLARIDAD NEGATIVA (AÑOS)
1	1614-1624	1625-1638
2	1639-1675	1676-1704
3	1705-1718	1719-1729
4	1730-1740	1741-1748
5	1749-1760	1761-1768
6	1769-1778	1779-1786
7	1787-1800	1801-1815
8	1816-1829	1830-1836
9	1837-1847	1848-1859
10	1860-1869	1870-1883
11	1884-1892	1893-1906
12	1907-1916	1917-1927
13	1928-1936	1937-1946
14	1947-1957	1958-1969
15	1970-1978	1979-1989

Tabla 5.1 Años de cada ciclo correspondientes a ambas polaridades

Las siguientes gráficas comparativas (5.1 a 5.5) muestran la relación de las potencias entre grupos de manchas solares y las 5 fuentes de datos de las reconstrucciones de anomalías de temperatura global (RATG)

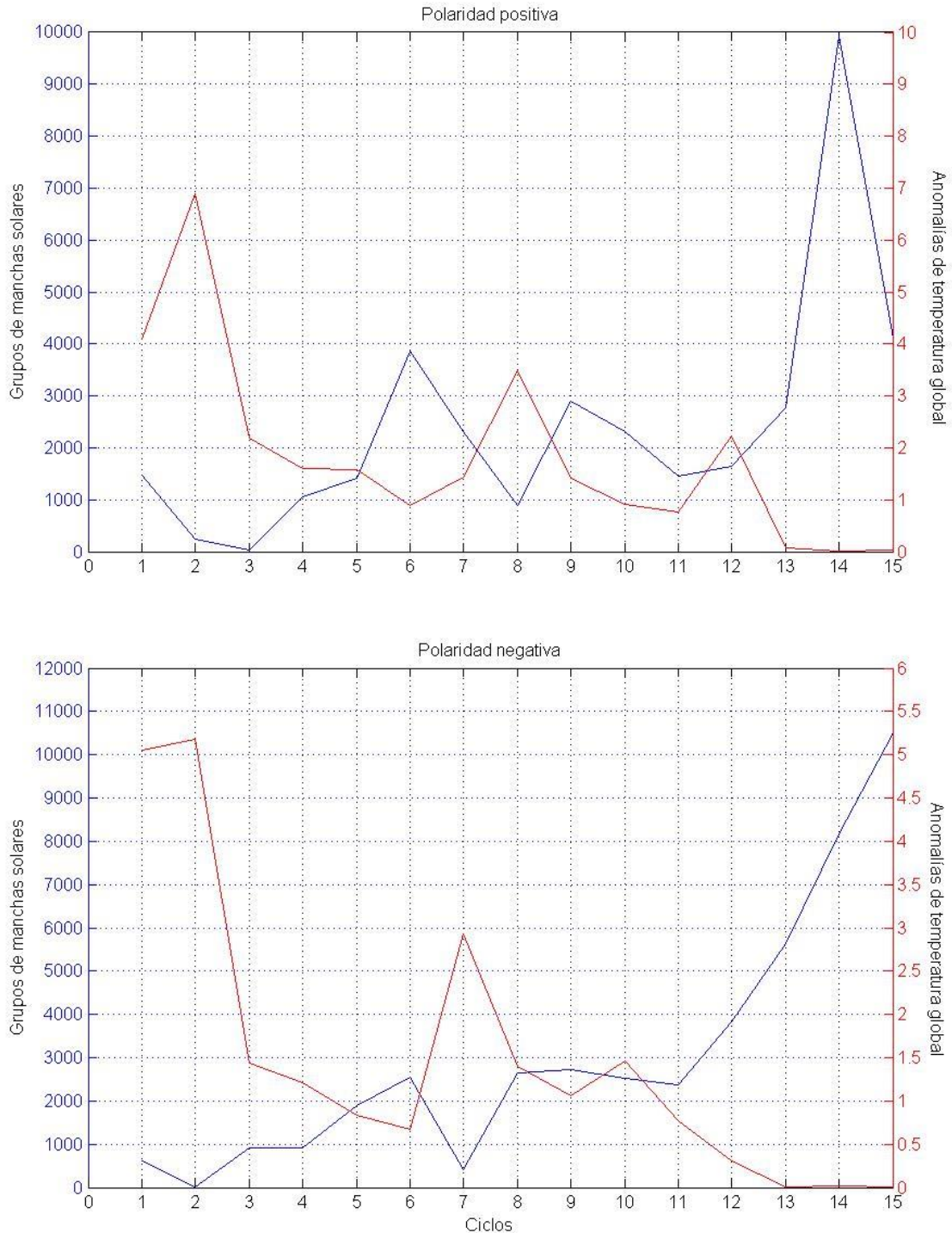


Fig 5.1 Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C1 de anomalías de temperatura global.

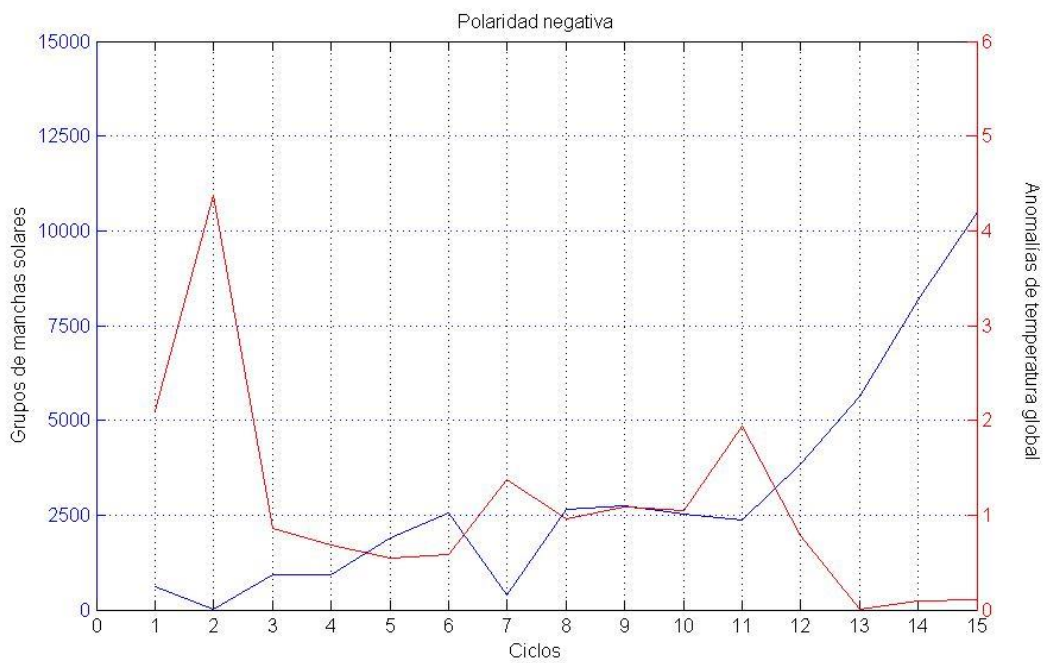
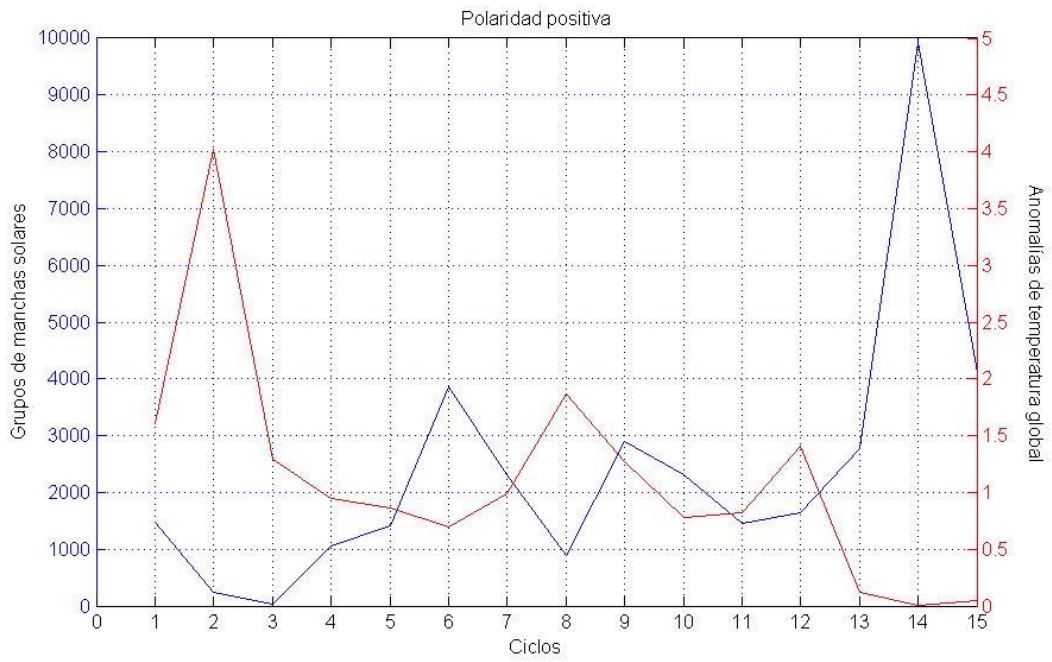


Fig.5.2 Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C2 de anomalías de temperatura global.

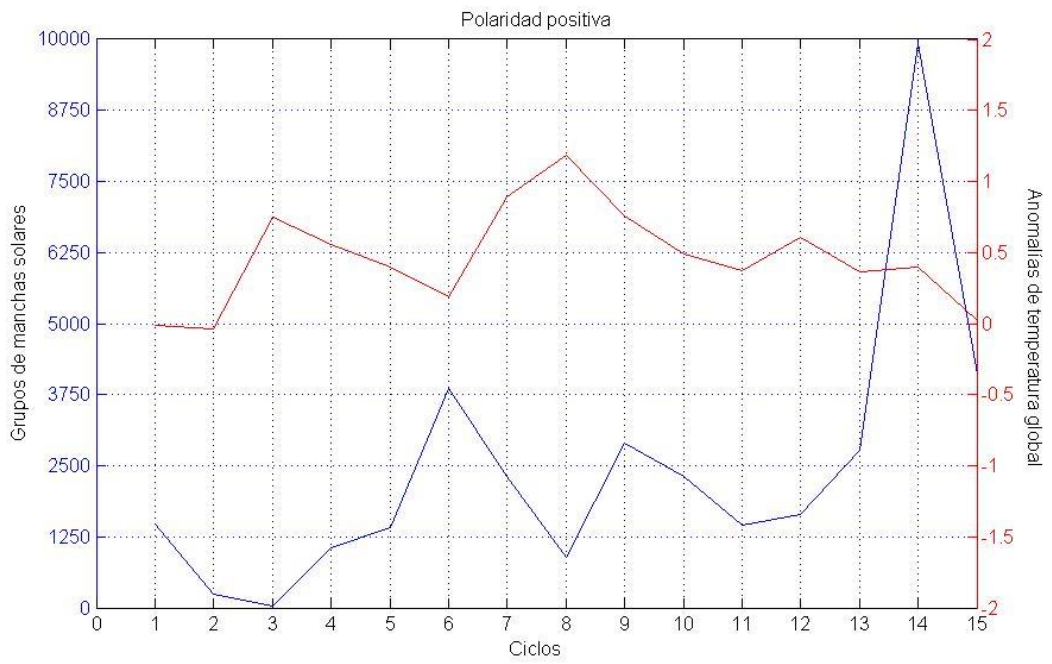
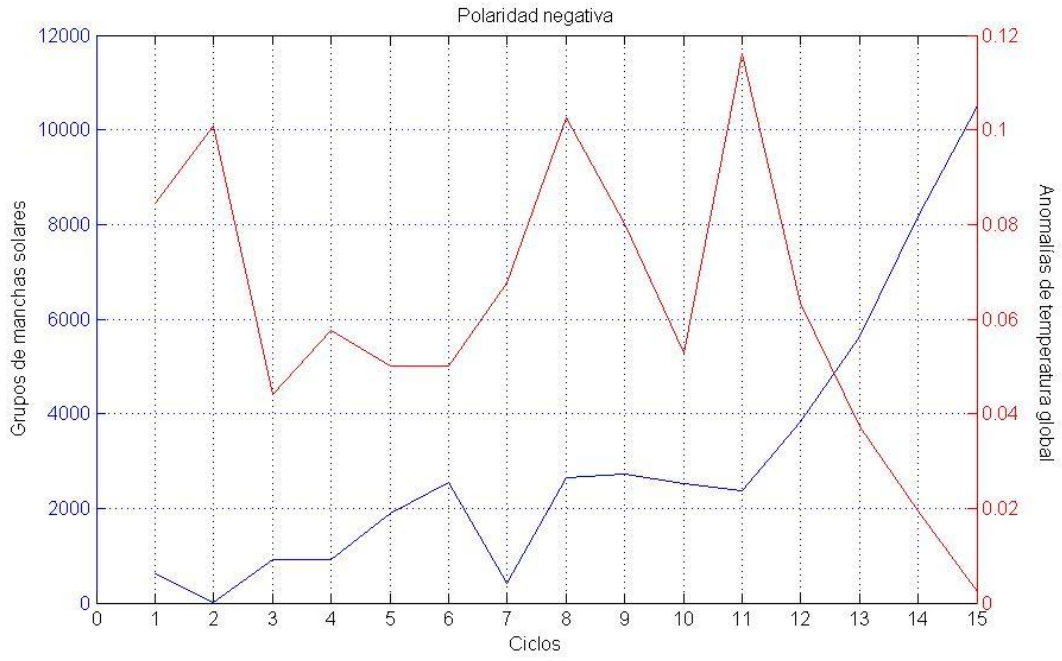
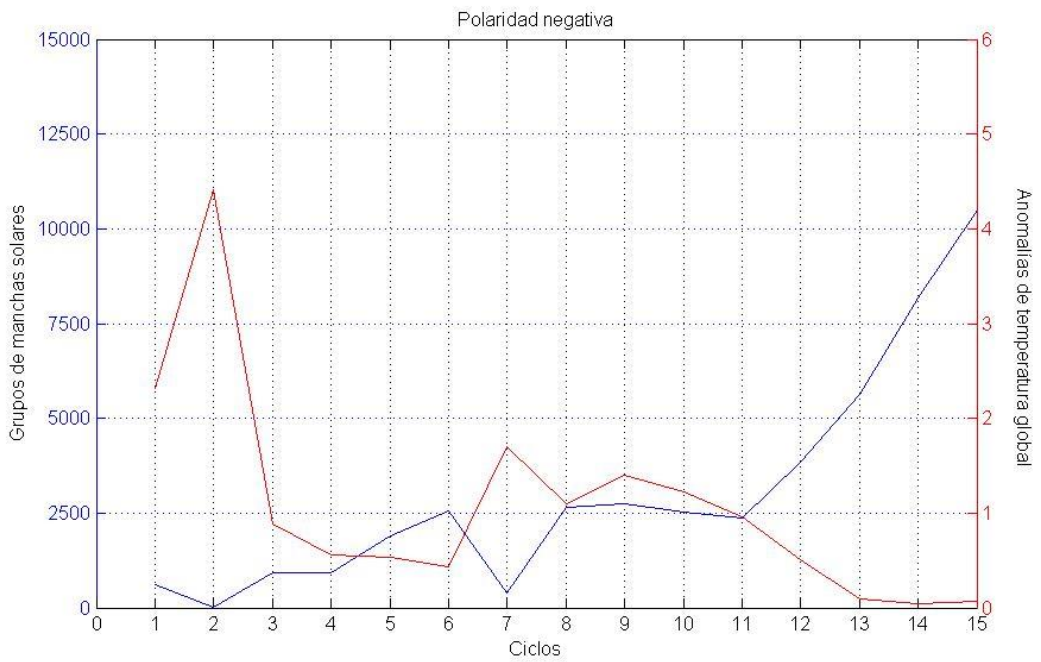
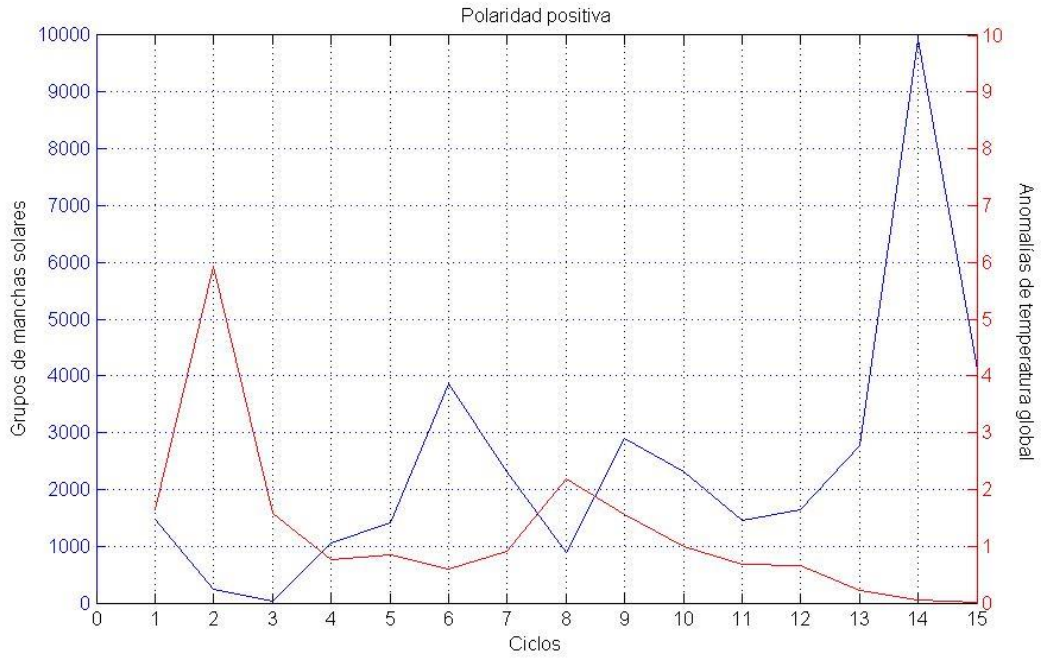
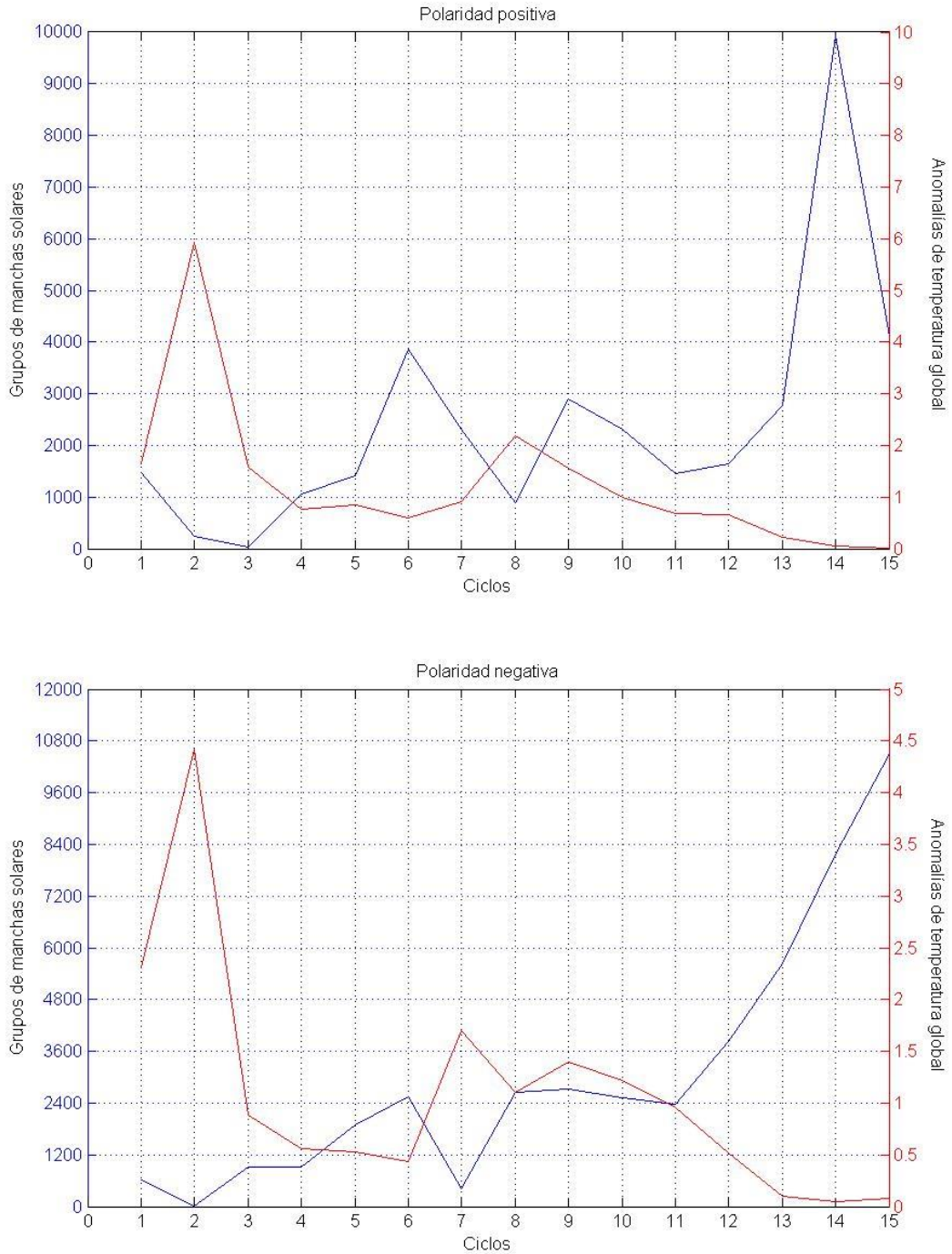


Fig. 5.3 Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C3 de anomalías de temperatura global.



*Fig. 5.4 Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C4 de anomalías de temperatura global.*



*Fig. 5.5 Potencia asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C5 de anomalías de temperatura global.*

Definiremos la correlación como el comportamiento de dos parámetros en el cual ambos presentan un incremento o decremento y la anti-correlación en caso contrario, es decir, uno de los valores presenta un incremento y el otro un decremento.

En la Fig. 5.1 se observa que para la polaridad positiva tenemos que los ciclos entre los grupos de manchas solares y los valores de la SRC(1), parecen anti-correlacionarse en los ciclos 2,4,5,6,7,8,9,13,14,15 lo que permite ver una correlación para los ciclos 1,3,10,11,12. En la polaridad negativa los grupos de manchas solares se anti correlacionan en los ciclos 2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,15 con los valores de la SRC(1). El comportamiento descrito se resume en la tabla 5.2.

CICLO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
2	A	A
3	C	A
4	A	A
5	A	A
6	A	A
7	A	A
8	A	A
9	A	A
10	C	A
11	C	C
12	C	A
13	A	A
14	A	C
15	A	A

*Tabla 5.2 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la Fig. 5.1*

Para la polaridad positiva de la Fig. 5.2 pareciera existir una anti-correlación en los ciclos 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15 entre los valores de los grupos de manchas solares y los valores de la SRC(2), lo que para los ciclos 3, 10, 12 encontramos una correlación. Para la polaridad positiva tenemos que los valores de los grupos de manchas solares parecen anti correlacionarse en los ciclos 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12,13 con los valores de la SRC(2) mientras que en los ciclos 6, 9, 10, 14, 15 pudiera haber una correlación.

CICLO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
2	A	A
3	C	A
4	A	A
5	A	A
6	A	C
7	A	A
8	A	A
9	A	C
10	C	C
11	A	A
12	C	A
13	A	A
14	A	C
15	A	C

*Tabla 5.3 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura para ambas polaridades de la Fig. 5.2*

Para la polaridad positiva se podría observar una anti correlación para los ciclos 2, 3, 4, 5, 8, 9 y 13, y una correlación para los ciclos 6, 7, 10, 11, 12, 14 y 15. Para la polaridad negativa de la Fig. 5.3 se podría observar una anti-correlación para los ciclos 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, y 15, y una correlación para los ciclos 4, 8, 10.

CICLO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
2	A	A
3	A	A
4	A	C
5	A	A
6	C	A
7	C	A
8	A	C
9	A	A
10	C	C
11	C	A
12	C	A
13	A	A
14	C	A
15	C	A

*Tabla 5.4 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la fig. 5.3*

Para la polaridad positiva de la Fig. 5.4 se podría observar una anti correlación para los ciclos 2, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 13, y 14, y una correlación para

los ciclos 3, 5, 10, 11, y 15. Para la polaridad negativa se podría observar una anti-correlación de los ciclos 2 al 8, 12, 13 y 14 y una correlación para los ciclos 4, 9, 10, 11 y 15.

CICLO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
2	A	A
3	C	A
4	A	A
5	C	A
6	A	A
7	A	A
8	A	A
9	A	C
10	C	C
11	C	C
12	A	A
13	A	A
14	A	A
15	C	C

*Tabla 5.5 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la fig. 5.4*

Para la Fig. 5.5 se encontró que para la polaridad positiva podría observar una anti-correlación entre valores de ambos parámetros para los ciclos 2, 6, 7, 9, 11, 12 y 13, lo que para los ciclos 3, 4, 5, 8, 10, 14 y 15 se podría ver una correlación. Para la polaridad negativa se encontró una anti correlación entre valores de ambos parámetros para los ciclos 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 14 y 15, y correlación en el 4, 6, 9, 13 y 14 .

CICLO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
2	A	A
3	C	A
4	C	C
5	C	A
6	A	C
7	A	A
8	C	A
9	C	C
10	C	C
11	A	A
12	A	A
13	A	C
14	C	A
15	C	A

Tabla 5.6 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la fig. 5.5

Para poder ubicar con mayor facilidad el periodo donde hay un mayor número de correlaciones, o dicho de otro modo, un patrón en la siguiente tabla 5.10 donde se resume el comportamiento para todas las fuentes de datos.

Serie		Ciclos	
		Polaridad positiva	Polaridad negativa
SRC1	C	3,10,11,12	11,14
	A	2,4,5,6,7,8,9,13,14,15	2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,15
	Total ciclos	14	14
SRC2	C	3,10,12	6,9,10,14,15
	A	2,4,5,6,7,8,9,11,13,14,15	2,3,4,5,7,8,11,12,13
	Total ciclos	14	14
SRC3	C	6,7,10,11,12,14,15	4,8,10
	A	2,3,4,5,8,9,13	2,3,5,6,7,9,11,12,13,14,15
	Total ciclos	14	14
SRC4	C	3,5,10,11,15	9,10,11,15
	A	2,4,6,7,8,9,12,13,14	2,3,4,5,6,7,8,12,13,14
	Total ciclos	14	14
SRC5	C	3,4,5,8,9,10,14,15	4,6,9,10,13
	A	2,6,7,11,12,13	2,3,5,7,8,11,12,14,15
	Total ciclos	14	14

Tabla 5.10 Relación entre ambas polaridades con los ciclos que se correlacionan y los que se anti correlacionan para cada serie reconstruida de anomalías de temperatura global.

El ciclo 10, correspondiente a la polaridad positiva, apareció 5 veces correlacionado a lo largo de las cinco series, seguido del ciclo 3 con 4 ocasiones y por último el ciclo 15, 11 y 12 con tres ocasiones. Para la polaridad negativa fue el ciclo 10 el que apareció correlacionado en 4 ocasiones y luego el ciclo 9 en 3 ocasiones. El comportamiento para todos los ciclos se puede resumir en la siguiente tabla 5.11.

	Ciclo	C	A
Polaridad positiva	2	0	5
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	3	4	1
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	4	1	4
Polaridad negativa		2	3
Polaridad positiva	5	2	3
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	6	1	4
Polaridad negativa		2	3
Polaridad positiva	7	1	4
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	8	1	4
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	9	1	4
Polaridad negativa		3	2
Polaridad positiva	10	5	0
Polaridad negativa		4	1
Polaridad positiva	11	3	2
Polaridad negativa		2	3
Polaridad positiva	12	3	2
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	13	0	5
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	14	2	3
Polaridad negativa		2	3
Polaridad positiva	15	3	2
Polaridad negativa		2	3

Tabla 5.11 Número de correlaciones y anti correlaciones para todos los ciclos correspondientes a cada polaridad a lo largo de las 5 series reconstruidas.

## 5.2 POLARIDAD NORMALIZADA: GRUPO DE MANCHAS Y RECONSTRUCCIONES DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL

Si es que existe una relación entre ambos parámetros, la normalización de los datos nos permitirá observarla a mayor detalle.

Para obtener la normalización, se utilizó las potencias del grupo de manchas solares y de las reconstrucciones de anomalías de temperatura global de la anterior sección como sigue:

$$P_n = \frac{[P_p - P_{prom}]}{(P_{pmax})},$$

(5.2)

donde:

$P_n$  es la potencia normalizada de cada polaridad asociada a cada parámetro  $Gm$  y  $RATG$

$P_p$  es la potencia de cada polaridad asociada a cada parámetro  $Gm$  y  $RATG$

$P_{prom}$  es el promedio de las potencias de todas las polaridades asociadas a cada parámetro  $Gm$  y  $RATG$

$P_{pmax}$  es la potencia máxima de todas las polaridades asociadas a cada parámetro  $Gm$  y  $RATG$

Aplicamos la ecuación (5.2) clasificando los ciclos de la manera ya mostrada en la Tabla 5.1. Los resultados se muestran en las Figuras 5.9-5.13.

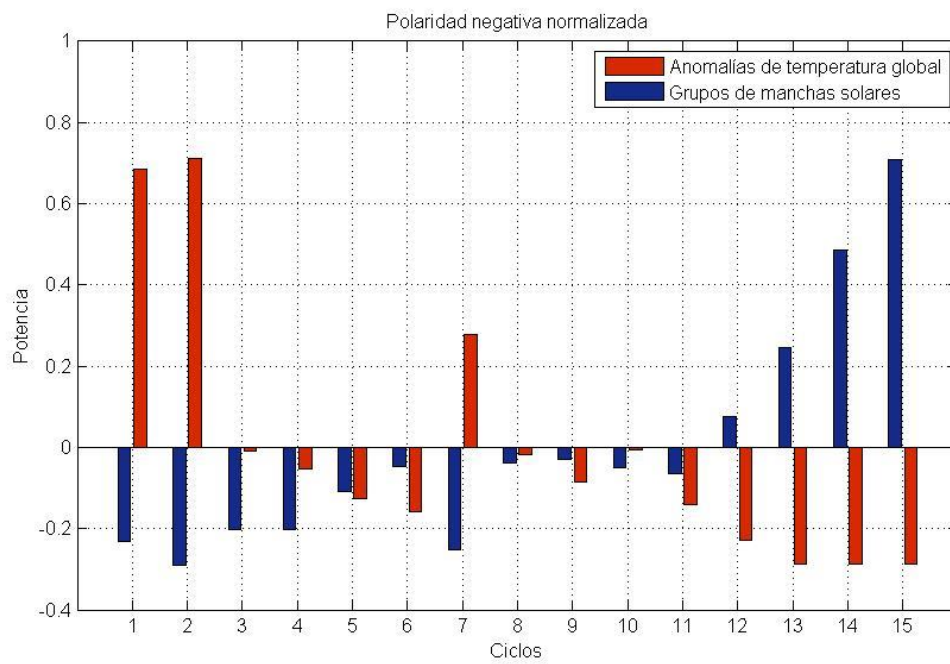
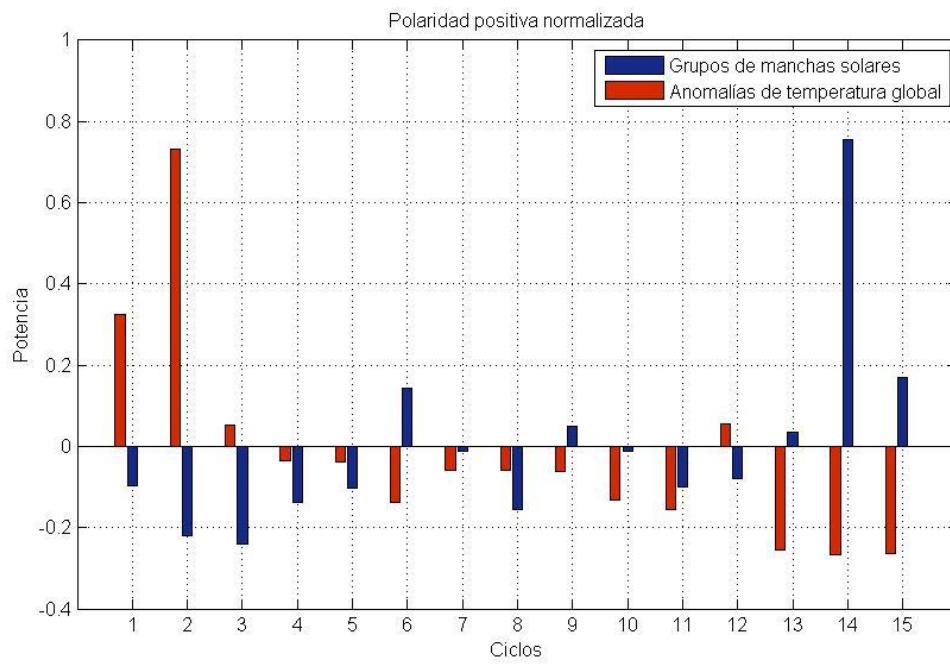


Fig. 5.9 Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C1 de anomalías de temperatura global.

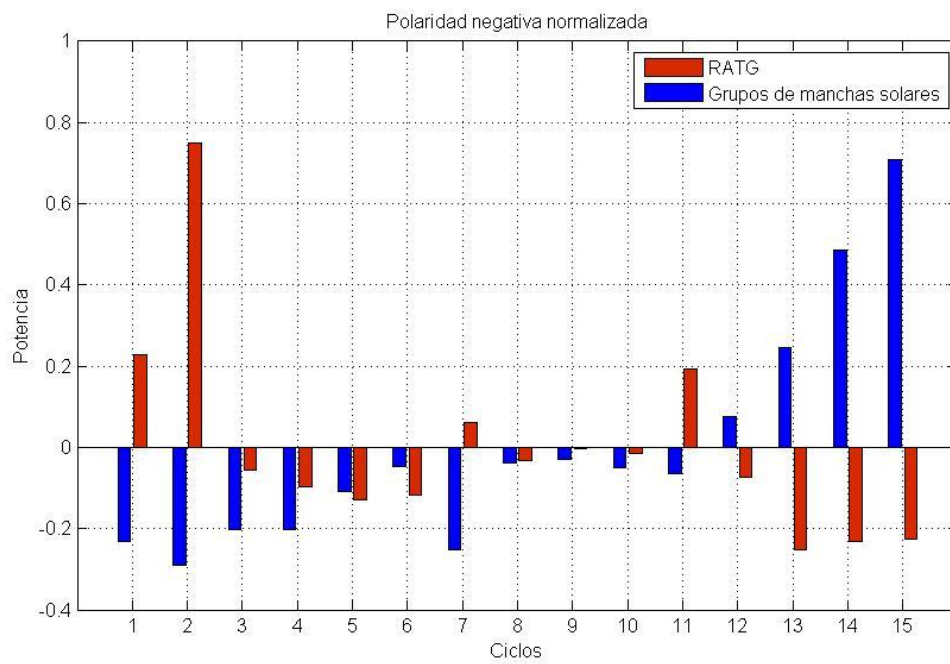
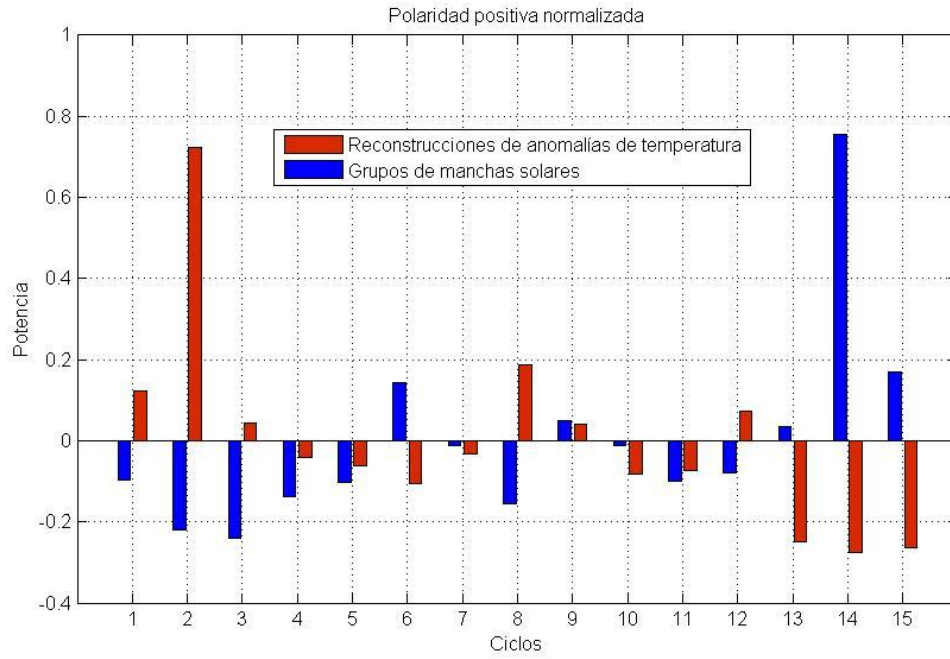


Fig.5.10 Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C2 de anomalías de temperatura global.

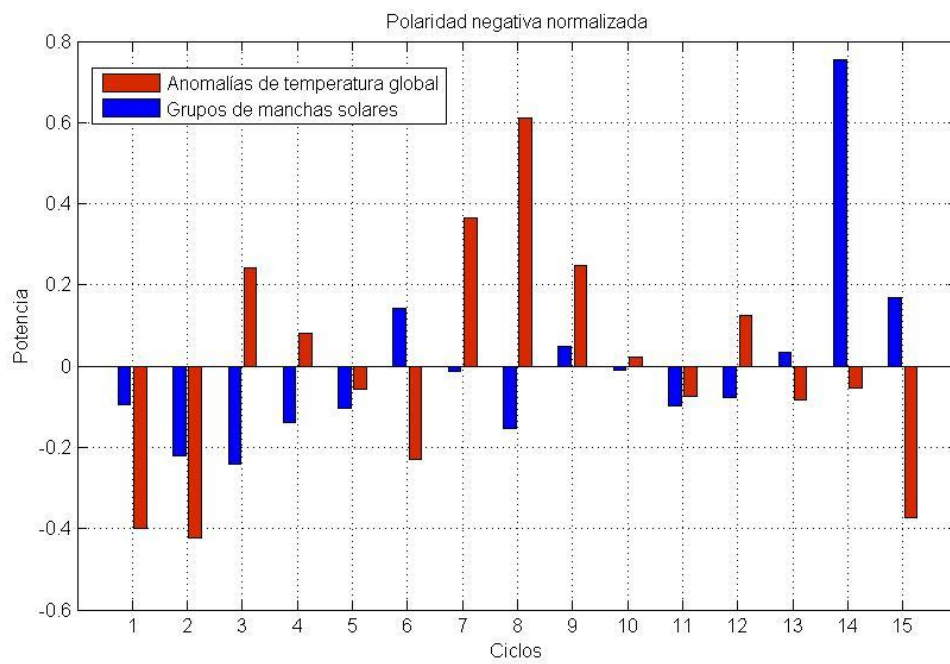
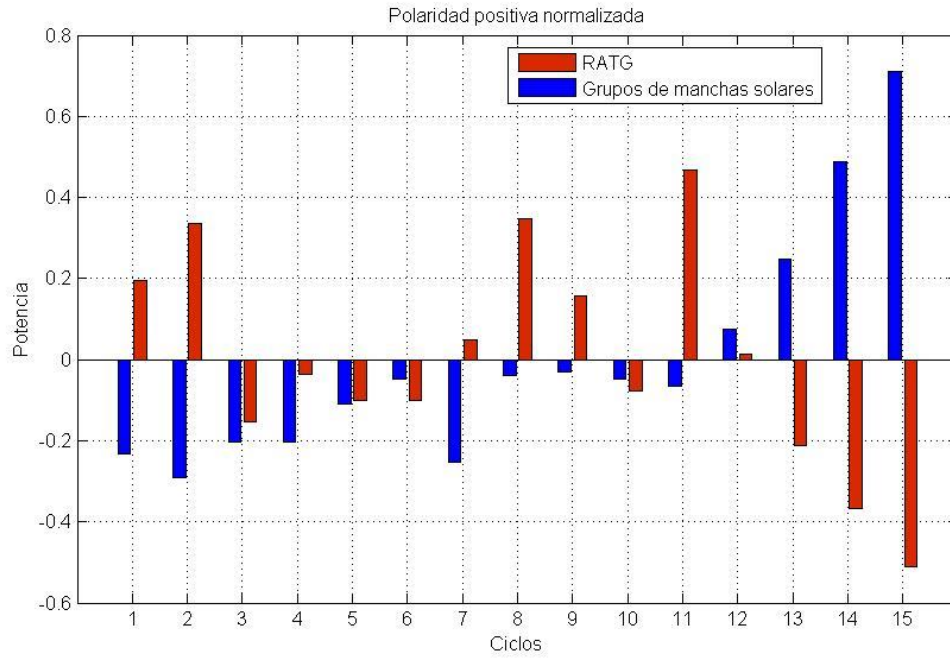


Fig.5.11 Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C3 de anomalías de temperatura global.

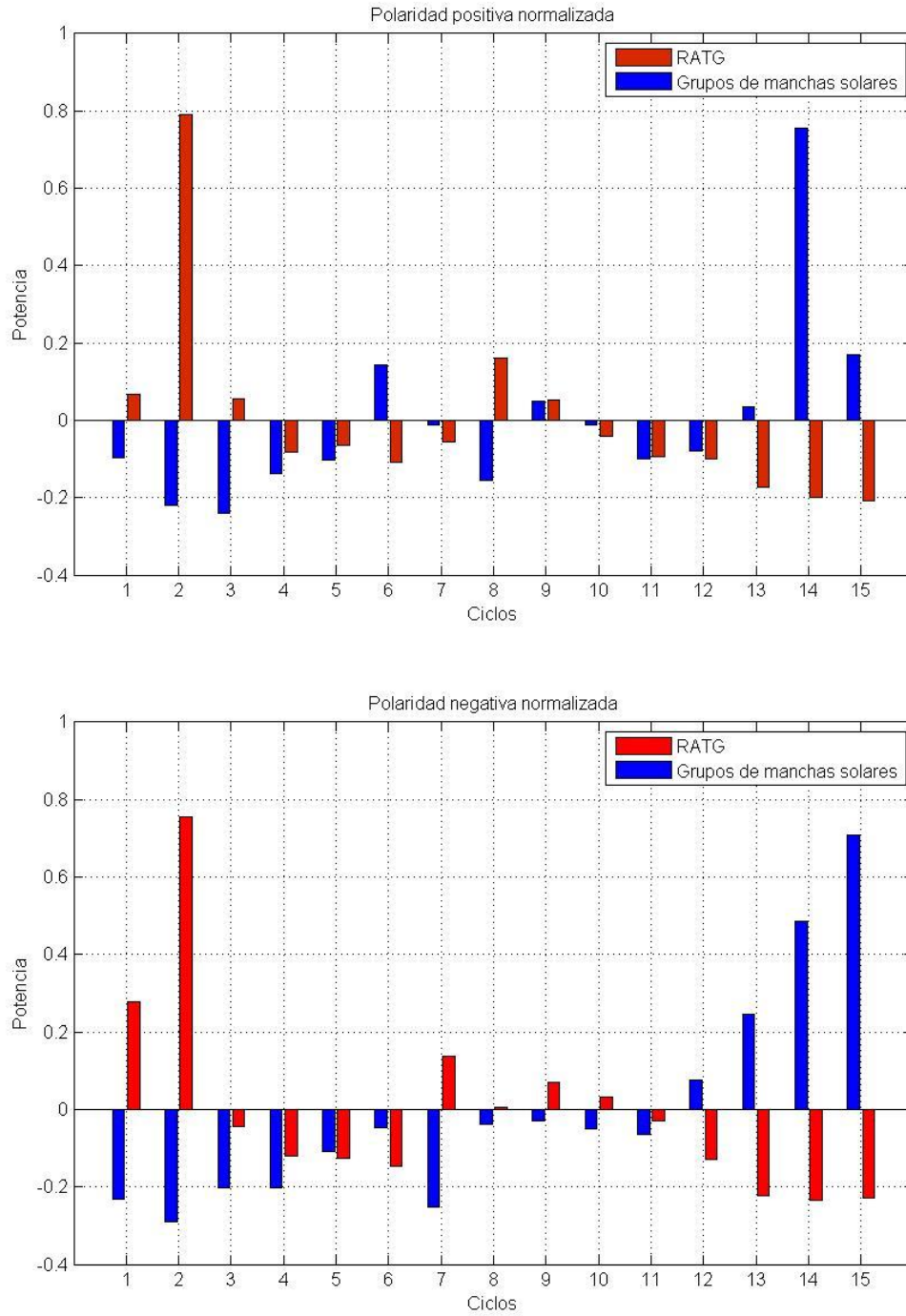


Fig.5.12 Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C4 de anomalías de temperatura global.

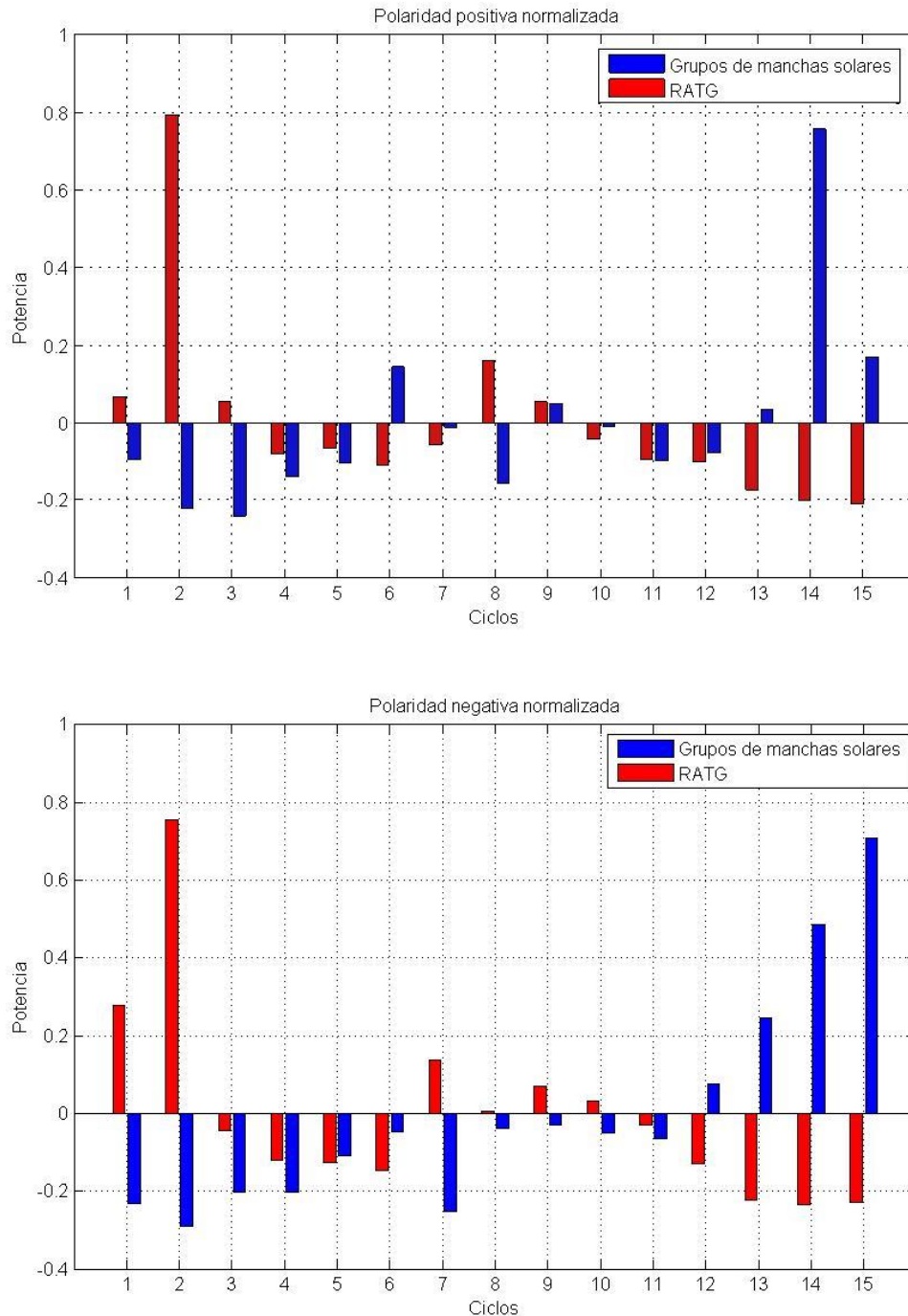


Fig.5.13 Potencia normalizada asociada a los grupos de manchas solares y la serie reconstruida C5 de anomalías de temperatura global.

Como se mencionó antes, la normalización nos permitirá ver de una manera más clara el comportamiento de los valores de cada parámetro.

Tenemos que para la Fig. 5.9 en la polaridad positiva, el comportamiento de los valores entre ambos parámetros se anti-correlacionan en los ciclos 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14 y 15, y se correlacionan en los ciclos 3, 8, 10, y 12. Para la

polaridad negativa hay una anti-correlación en el comportamiento entre ambos parámetros de los ciclos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14 y 15 mientras que los ciclos 8 y 11 se correlacionan. El comportamiento descrito se resume en la siguiente tabla

CICLO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
2	A	A
3	C	A
4	A	A
5	A	A
6	A	A
7	A	A
8	C	C
9	A	A
10	C	A
11	A	C
12	C	A
13	A	A
14	A	A
15	A	A

*Tabla 5.12 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la fig. 5.9*

Para la Fig. 5.10 en la polaridad positiva los ciclos 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14 y 15 se anti-correlacionan y los ciclos 3, 10 y 12 se correlacionan. En la polaridad negativa, se observa que los ciclos 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14 y 15 se anti-correlacionan mientras que los ciclos 6, 9 y 10 se correlacionan.

CICLO	POLARIDAD NEGATIVA	POLARIDAD POSITIVA
2	A	A
3	C	A
4	A	A
5	A	A
6	A	C
7	A	A
8	A	A
9	A	C
10	C	C
11	A	A
12	C	A
13	A	A
14	A	A
15	A	A

*Tabla 5.13 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura entre los años 1614 y 1989 para ambas polaridades de la fig. 5.10*

Para la Fig. 5.11 en la polaridad positiva, el comportamiento de los valores entre ambos parámetros se anti-correlacionan en los ciclos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14 y 15, y se correlacionan en los ciclos 8 y 10. En la polaridad negativa hay una anti-correlación en el comportamiento entre ambos parámetros en los ciclos 3, 4, 6, 7, 8, 9, y 13 mientras que los ciclos 2, 5, 10, 11, 12, 14 y 15 se correlacionan.

CICLO	POLARIDAD NEGATIVA	POLARIDAD POSITIVA
2	A	C
3	A	A
4	A	A
5	A	C
6	A	A
7	A	A
8	C	A
9	A	A
10	C	C
11	A	C
12	A	C
13	A	A
14	A	C
15	A	C

*Tabla 5.14 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la fig. 5.11*

Para la polaridad positiva de la Fig. 5.12 los ciclos 2, 4, 6, 7, 8, 9, 12,13 y 14 se anti-correlacionan y los ciclos 3, 5, 10, 11 y 15 se correlacionan. En la polaridad negativa se observa que los ciclos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13 y 14 se anti-correlacionan mientras que los ciclos 9, 10, 11 y 15 se correlacionan. Esto se resume en la tabla que se muestra a continuación.

CICLO	POLARIDAD POSITIVA	POLARIDAD NEGATIVA
2	A	A
3	C	A
4	A	A
5	C	A
6	A	A
7	A	A
8	A	A
9	A	C
10	C	C
11	C	C
12	C	A
13	A	A
14	A	A
15	C	C

*Tabla 5.15 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la fig. 5.12*

Para la polaridad positiva de la Fig. 5.13 los ciclos 2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14 se anti-correlacionan y los ciclos 3, 5, 10 y 15 se correlacionan. En la polaridad negativa se observa que los ciclos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13 y 14 se anti-correlacionan mientras que los ciclos 9, 10, 11 y 15 se correlacionan.

CICLO	POLARIDAD NEGATIVA	POLARIDAD POSITIVA
2	A	A
3	C	A
4	A	A
5	C	A
6	A	A
7	A	A
8	A	A
9	A	C
10	C	C
11	A	C
12	A	A
13	A	A
14	A	A
15	C	C

*Tabla 5.16 Relaciones entre la potencia asociada a los grupos de manchas solares y las anomalías de temperatura global para ambas polaridades de la fig. 5.13*

A continuación, se mostrarán en la tabla 5.20 las correlaciones y anti correlaciones para cada serie correspondiente a ambas polaridades.

		Ciclos	
Serie		Polaridad positiva	Polaridad negativa
SRC1	C	3, 8, 10, 12	8, 11
	A	2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14, 15	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15
	Total ciclos	15	15
SRC2	C	3, 10, 12	6, 9, 10
	A	2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15	2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15
	Total ciclos	15	15
SRC3	C	8, 10	2, 5, 10, 11, 12, 14, 15
	A	2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15	3, 4, 6, 7, 8, 9, 13
	Total ciclos	15	15
SRC4	C	3, 5, 10, 11, 15	9, 10, 11, 15
	A	2, 4, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14
	Total ciclos	15	15
SRC5	C	3, 5, 10, 15	9, 10, 11, 15
	A	2, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14
	Total ciclos	15	15

*Tabla 5.20 Relación entre ambas polaridades con los ciclos que se correlacionan (C) y los que se anti correlacionan (A) para cada serie reconstruida de anomalías de temperatura global.*

Para la polaridad positiva el ciclo 5 y el 8 aparece correlacionado a lo largo de las cinco series, seguido por el ciclo 3 con cuatro veces. Para la polaridad negativa los ciclos 10 y 11 aparecieron correlacionados cuatro veces a lo largo de las cinco series seguido de los ciclos 9 y 10 que aparecieron correlacionados tres veces.

Este comportamiento se resume en la siguiente tabla 5. 21.

	Ciclo	C	A
Polaridad positiva	2	0	5
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	3	4	1
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	4	0	5
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	5	2	3
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	6	0	5
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	7	0	5
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	8	2	3
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	9	0	5
Polaridad negativa		2	3
Polaridad positiva	10	0	5
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	11	1	4
Polaridad negativa		4	1
Polaridad positiva	12	2	3
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	13	0	5
Polaridad negativa		0	5
Polaridad positiva	14	0	5
Polaridad negativa		1	4
Polaridad positiva	15	2	3
Polaridad negativa		3	2

*Tabla 5.21 Número de correlaciones y anti correlaciones para todos los ciclos correspondientes a cada polaridad a lo largo de las 5 series reconstruidas.*

En esta última tabla se observa una tendencia de anti-correlación entre ambos parámetros en los primeros 13 ciclos lo que sugiere que el comportamiento del clima es una función multifactorial. En el último ciclo no se puede asegurar una tendencia ya que para la polaridad positiva se tiene una anticorrelación y para la polaridad negativa una correlación pero ambos sin una tendencia definida

### 5.3 CONCLUSION

La relación Sol-Tierra es un fenómeno natural interesante pero nada fácil de describir debido a su naturaleza misma, lo que al proponer un modelo matemático que la explique llevaría años en realizarse. Sin embargo, al normalizar los datos nos permitió una primera visualización de dicha relación para los primeros 13 ciclos y con ello proponer variables que se tomen en cuenta para la modelación. Entre las que proponemos son: irradiancia solar total y/o producción de gases de efecto invernadero

La falta de tendencia en el ciclo 15 nos lleva a concluir que si queremos obtener una tendencia habría que conseguir más fuentes de datos

## ANEXO A VALORES DE LOS GRUPOS DE MANCHAS SOLARES

<b>AÑOS</b>	<b>GRUPOS DE MANCHAS SOLARES</b>
1610	36
1611	34.1
1612	92.7
1613	109.6
1614	121
1615	80.3
1616	20.1
1617	2.3
1618	1.3
1619	15
1620	15
1621	15
1622	15
1623	15
1624	9.6
1625	42.4
1626	26.6
1627	16.5
1628	23.2
1629	18.7
1630	0
1631	4.4
1632	0
1633	14.3
1634	3
1635	4.3
1636	0
1637	0
1638	68.6
1639	76.8
1640	15
1641	0
1642	47.4
1643	17.6
1644	11.6
1645	0
1646	0
1647	0
1648	0
1649	0
1650	0

1651	0
1652	4
1653	0.9
1654	0.7
1655	0.5
1656	0.6
1657	0.2
1658	0
1659	0
1660	2
1661	0.8
1662	0
1663	0
1664	0
1665	0
1666	0
1667	0
1668	0
1669	0
1670	0
1671	0.9
1672	0.4
1673	0
1674	0.2
1675	0
1676	1.8
1677	0.3
1678	0.2
1679	0
1680	0.8
1681	0
1682	0
1683	0
1684	1.4
1685	0
1686	0.6
1687	0.1
1688	0.5
1689	0.2
1690	0
1691	0
1692	0
1693	0
1694	0
1695	0.1

1696	0
1697	0
1698	0
1699	0
1700	0.4
1701	0.5
1702	0.6
1703	2.7
1704	4.1
1705	5.5
1706	3.2
1707	5.3
1708	2.8
1709	1.6
1710	0.4
1711	0
1712	0
1713	0.3
1714	0.9
1715	3.6
1716	9.1
1717	17.5
1718	9
1719	33.9
1720	23.4
1721	21.4
1722	11
1723	4.4
1724	15.6
1725	12.8
1726	36.2
1727	36.5
1728	64.2
1729	24
1730	69.7
1731	0
1732	18
1733	0
1734	0
1735	18.3
1736	48.6
1737	24
1738	17
1739	52.5
1740	9.3

1741	57.7
1742	16.1
1743	8.3
1744	0
1745	0
1746	0
1747	0
1748	61
1749	63.2
1750	58
1751	33.7
1752	29
1753	23.9
1754	8.8
1755	4.7
1756	7.3
1757	24.8
1758	40.7
1759	49.5
1760	45.5
1761	68.5
1762	46.2
1763	34.2
1764	30.5
1765	8.4
1766	3.7
1767	33.9
1768	71.3
1769	98.5
1770	97.6
1771	79.4
1772	66.2
1773	32.4
1774	25.8
1775	5.6
1776	14.1
1777	38.3
1778	72
1779	80.8
1780	55
1781	71.1
1782	32.9
1783	21.1
1784	4.8
1785	16

1786	63.3
1787	89.2
1788	82.5
1789	79.7
1790	65.1
1791	43.2
1792	42
1793	41
1794	30.2
1795	15.7
1796	13.7
1797	7.7
1798	4.7
1799	5.6
1800	11
1801	51.1
1802	35.3
1803	18.5
1804	21.6
1805	25.6
1806	13.3
1807	5
1808	3.5
1809	1.2
1810	0
1811	0.3
1812	4
1813	9.1
1814	10.4
1815	16.8
1816	30.8
1817	28
1818	21.7
1819	19.2
1820	10.7
1821	4.3
1822	3
1823	1.2
1824	5.1
1825	14.4
1826	28.6
1827	44.4
1828	57
1829	59.2
1830	64.3

1831	39.2
1832	22.7
1833	6.5
1834	9.8
1835	46.3
1836	100.2
1837	109.4
1838	77.4
1839	65.1
1840	48.3
1841	26.6
1842	18.8
1843	8.2
1844	11.8
1845	29.8
1846	43.8
1847	58
1848	85.8
1849	83.7
1850	55
1851	58.1
1852	49.8
1853	35.6
1854	17.3
1855	4.5
1856	3.1
1857	17.4
1858	44.4
1859	75.6
1860	85.6
1861	70.7
1862	50.5
1863	40.9
1864	34.5
1865	22.6
1866	13.7
1867	6.2
1868	28.9
1869	62.3
1870	96.2
1871	86.9
1872	80.1
1873	51.7
1874	35
1875	15.5

1876	9.1
1877	8.5
1878	2.7
1879	4.4
1880	24.8
1881	45.2
1882	47.9
1883	54.7
1884	61.7
1885	47.3
1886	22.6
1887	12.7
1888	7.6
1889	5.8
1890	7.8
1891	38.9
1892	68.3
1893	87.9
1894	88
1895	69.2
1896	39.7
1897	30.6
1898	26
1899	12.3
1900	9.1
1901	2.5
1902	3.8
1903	24.1
1904	45.3
1905	61
1906	56.2
1907	61.4
1908	53.1
1909	46.4
1910	21.5
1911	8.5
1912	3.6
1913	1.6
1914	12.4
1915	50.5
1916	67.1
1917	110.1
1918	89.2
1919	71.6
1920	43.5

1921	28.7
1922	15.8
1923	6.9
1924	18.2
1925	51.2
1926	70.8
1927	77.6
1928	82.3
1929	74.4
1930	44.2
1931	26
1932	13.5
1933	5.9
1934	10.4
1935	42.8
1936	88.8
1937	120.6
1938	113.6
1939	97.3
1940	71.7
1941	49.9
1942	32.8
1943	15.5
1944	10.7
1945	37.3
1946	95.3
1947	144.9
1948	127.5
1949	129.3
1950	76
1951	58.3
1952	29.6
1953	13.6
1954	4.4
1955	38.1
1956	126.1
1957	165.9
1958	175.1
1959	149.5
1960	103.8
1961	49.1
1962	31.4
1963	24.5
1964	10.2
1965	14.6

1966	43.8
1967	95.8
1968	98.2
1969	96
1970	108.5
1971	73.5
1972	72
1973	39.3
1974	34
1975	15.1
1976	13.5
1977	30.1
1978	102.7
1979	155.7
1980	141.1
1981	140.9
1982	116.4
1983	71.6
1984	44
1985	16.9
1986	12.1
1987	27.6
1988	89.3
1989	147.7
1990	148.5
1991	146.2
1992	96.2
1993	53.9
1994	35.7
1995	19

**ANEXO B RECONSTRUCCIONES DE ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL**

<b>AÑOS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1610	-0.59	-0.36	-0.3	-0.39	-0.22
1611	-0.59	-0.36	-0.3	-0.39	-0.22
1612	-0.6	-0.36	-0.3	-0.39	-0.22
1613	-0.6	-0.37	-0.3	-0.39	-0.22
1614	-0.6	-0.37	-0.3	-0.38	-0.22
1615	-0.6	-0.37	-0.3	-0.38	-0.22
1616	-0.6	-0.37	-0.3	-0.38	-0.22
1617	-0.6	-0.37	-0.3	-0.38	-0.22
1618	-0.61	-0.38	-0.3	-0.38	-0.22
1619	-0.61	-0.38	-0.3	-0.38	-0.22
1620	-0.61	-0.38	-0.3	-0.38	-0.22
1621	-0.61	-0.38	-0.3	-0.39	-0.22
1622	-0.61	-0.38	-0.3	-0.39	-0.22
1623	-0.61	-0.39	-0.3	-0.39	-0.22
1624	-0.61	-0.39	-0.3	-0.39	-0.21
1625	-0.61	-0.39	-0.3	-0.39	-0.21
1626	-0.61	-0.39	-0.29	-0.39	-0.21
1627	-0.61	-0.39	-0.29	-0.39	-0.21
1628	-0.61	-0.39	-0.29	-0.4	-0.2
1629	-0.61	-0.39	-0.29	-0.4	-0.2
1630	-0.61	-0.39	-0.29	-0.4	-0.2
1631	-0.61	-0.39	-0.29	-0.4	-0.2
1632	-0.61	-0.39	-0.29	-0.4	-0.19
1633	-0.61	-0.39	-0.29	-0.41	-0.19
1634	-0.61	-0.39	-0.29	-0.41	-0.19
1635	-0.6	-0.39	-0.29	-0.41	-0.19
1636	-0.6	-0.39	-0.29	-0.41	-0.18
1637	-0.6	-0.39	-0.29	-0.41	-0.18
1638	-0.59	-0.38	-0.29	-0.41	-0.18
1639	-0.59	-0.38	-0.29	-0.41	-0.18
1640	-0.58	-0.38	-0.29	-0.41	-0.17
1641	-0.58	-0.37	-0.29	-0.42	-0.17
1642	-0.57	-0.37	-0.29	-0.42	-0.17
1643	-0.57	-0.37	-0.29	-0.42	-0.17
1644	-0.56	-0.36	-0.28	-0.42	-0.16
1645	-0.55	-0.36	-0.28	-0.42	-0.16
1646	-0.55	-0.35	-0.28	-0.42	-0.16
1647	-0.54	-0.35	-0.28	-0.41	-0.16
1648	-0.53	-0.34	-0.28	-0.41	-0.16
1649	-0.52	-0.34	-0.28	-0.41	-0.16
1650	-0.52	-0.34	-0.28	-0.41	-0.16
1651	-0.51	-0.33	-0.28	-0.41	-0.15
1652	-0.5	-0.33	-0.28	-0.41	-0.15

1653	-0.49	-0.32	-0.28	-0.41	-0.15
1654	-0.48	-0.32	-0.27	-0.41	-0.15
1655	-0.48	-0.32	-0.27	-0.41	-0.15
1656	-0.47	-0.31	-0.27	-0.41	-0.15
1657	-0.46	-0.31	-0.27	-0.4	-0.15
1658	-0.45	-0.31	-0.27	-0.4	-0.15
1659	-0.44	-0.31	-0.27	-0.4	-0.16
1660	-0.44	-0.31	-0.27	-0.4	-0.16
1661	-0.43	-0.31	-0.27	-0.4	-0.16
1662	-0.42	-0.31	-0.28	-0.4	-0.16
1663	-0.42	-0.31	-0.28	-0.4	-0.17
1664	-0.41	-0.31	-0.28	-0.4	-0.17
1665	-0.41	-0.31	-0.28	-0.4	-0.17
1666	-0.4	-0.32	-0.28	-0.4	-0.18
1667	-0.4	-0.32	-0.28	-0.39	-0.18
1668	-0.4	-0.32	-0.29	-0.39	-0.19
1669	-0.39	-0.33	-0.29	-0.39	-0.2
1670	-0.39	-0.33	-0.29	-0.39	-0.2
1671	-0.39	-0.33	-0.29	-0.39	-0.21
1672	-0.39	-0.34	-0.3	-0.39	-0.21
1673	-0.39	-0.34	-0.3	-0.39	-0.22
1674	-0.38	-0.35	-0.3	-0.39	-0.23
1675	-0.38	-0.35	-0.31	-0.39	-0.23
1676	-0.38	-0.36	-0.31	-0.39	-0.24
1677	-0.39	-0.36	-0.31	-0.39	-0.25
1678	-0.39	-0.37	-0.32	-0.39	-0.25
1679	-0.39	-0.38	-0.32	-0.39	-0.26
1680	-0.39	-0.38	-0.32	-0.39	-0.26
1681	-0.39	-0.38	-0.33	-0.39	-0.27
1682	-0.39	-0.39	-0.33	-0.39	-0.27
1683	-0.4	-0.39	-0.33	-0.39	-0.28
1684	-0.4	-0.4	-0.33	-0.4	-0.28
1685	-0.4	-0.4	-0.33	-0.4	-0.28
1686	-0.4	-0.4	-0.33	-0.4	-0.28
1687	-0.41	-0.4	-0.33	-0.4	-0.28
1688	-0.41	-0.41	-0.33	-0.4	-0.28
1689	-0.41	-0.41	-0.33	-0.4	-0.28
1690	-0.41	-0.41	-0.33	-0.4	-0.28
1691	-0.42	-0.41	-0.33	-0.4	-0.28
1692	-0.42	-0.41	-0.33	-0.4	-0.28
1693	-0.42	-0.4	-0.33	-0.4	-0.27
1694	-0.42	-0.4	-0.33	-0.39	-0.27
1695	-0.43	-0.4	-0.32	-0.39	-0.26
1696	-0.43	-0.4	-0.32	-0.39	-0.25
1697	-0.43	-0.39	-0.31	-0.39	-0.25
1698	-0.43	-0.39	-0.31	-0.39	-0.24
1699	-0.43	-0.38	-0.3	-0.39	-0.23
1700	-0.43	-0.38	-0.3	-0.39	-0.22

1701	-0.43	-0.37	-0.29	-0.38	-0.21
1702	-0.43	-0.37	-0.29	-0.38	-0.21
1703	-0.43	-0.36	-0.28	-0.38	-0.2
1704	-0.43	-0.36	-0.28	-0.38	-0.19
1705	-0.43	-0.35	-0.27	-0.37	-0.18
1706	-0.42	-0.34	-0.27	-0.37	-0.17
1707	-0.42	-0.34	-0.26	-0.37	-0.16
1708	-0.42	-0.33	-0.25	-0.36	-0.16
1709	-0.42	-0.33	-0.25	-0.36	-0.15
1710	-0.41	-0.32	-0.24	-0.35	-0.14
1711	-0.41	-0.31	-0.24	-0.35	-0.14
1712	-0.4	-0.31	-0.23	-0.34	-0.13
1713	-0.4	-0.3	-0.23	-0.34	-0.13
1714	-0.4	-0.3	-0.22	-0.33	-0.13
1715	-0.39	-0.3	-0.22	-0.33	-0.12
1716	-0.39	-0.29	-0.22	-0.32	-0.12
1717	-0.38	-0.29	-0.21	-0.32	-0.12
1718	-0.38	-0.28	-0.21	-0.31	-0.12
1719	-0.38	-0.28	-0.21	-0.31	-0.12
1720	-0.37	-0.28	-0.21	-0.3	-0.12
1721	-0.37	-0.28	-0.21	-0.3	-0.12
1722	-0.37	-0.28	-0.21	-0.3	-0.13
1723	-0.37	-0.28	-0.21	-0.29	-0.13
1724	-0.36	-0.28	-0.21	-0.29	-0.13
1725	-0.36	-0.28	-0.21	-0.28	-0.14
1726	-0.36	-0.28	-0.21	-0.28	-0.14
1727	-0.36	-0.28	-0.21	-0.28	-0.15
1728	-0.36	-0.28	-0.21	-0.28	-0.15
1729	-0.36	-0.28	-0.21	-0.27	-0.16
1730	-0.36	-0.28	-0.21	-0.27	-0.16
1731	-0.37	-0.28	-0.21	-0.27	-0.17
1732	-0.37	-0.29	-0.22	-0.27	-0.18
1733	-0.37	-0.29	-0.22	-0.27	-0.18
1734	-0.37	-0.29	-0.22	-0.26	-0.19
1735	-0.37	-0.29	-0.22	-0.26	-0.19
1736	-0.38	-0.29	-0.23	-0.26	-0.2
1737	-0.38	-0.29	-0.23	-0.26	-0.2
1738	-0.38	-0.3	-0.23	-0.26	-0.21
1739	-0.38	-0.3	-0.23	-0.26	-0.21
1740	-0.39	-0.3	-0.23	-0.26	-0.22
1741	-0.39	-0.3	-0.24	-0.26	-0.22
1742	-0.39	-0.3	-0.24	-0.26	-0.22
1743	-0.39	-0.3	-0.24	-0.26	-0.23
1744	-0.39	-0.29	-0.24	-0.26	-0.23
1745	-0.39	-0.29	-0.24	-0.26	-0.23
1746	-0.39	-0.29	-0.24	-0.26	-0.23
1747	-0.39	-0.29	-0.24	-0.27	-0.23
1748	-0.39	-0.29	-0.24	-0.27	-0.23

1749	-0.39	-0.29	-0.24	-0.27	-0.24
1750	-0.38	-0.28	-0.24	-0.27	-0.23
1751	-0.38	-0.28	-0.24	-0.27	-0.23
1752	-0.38	-0.28	-0.24	-0.27	-0.23
1753	-0.38	-0.28	-0.24	-0.27	-0.23
1754	-0.37	-0.27	-0.24	-0.27	-0.23
1755	-0.37	-0.27	-0.24	-0.27	-0.23
1756	-0.36	-0.27	-0.24	-0.27	-0.22
1757	-0.36	-0.27	-0.24	-0.27	-0.22
1758	-0.36	-0.26	-0.24	-0.26	-0.22
1759	-0.35	-0.26	-0.23	-0.26	-0.22
1760	-0.35	-0.26	-0.23	-0.26	-0.21
1761	-0.34	-0.26	-0.23	-0.26	-0.21
1762	-0.34	-0.26	-0.23	-0.26	-0.21
1763	-0.33	-0.26	-0.23	-0.26	-0.2
1764	-0.33	-0.26	-0.22	-0.26	-0.2
1765	-0.33	-0.26	-0.22	-0.26	-0.2
1766	-0.32	-0.26	-0.22	-0.26	-0.19
1767	-0.32	-0.26	-0.22	-0.26	-0.19
1768	-0.31	-0.26	-0.22	-0.25	-0.19
1769	-0.31	-0.26	-0.22	-0.25	-0.19
1770	-0.31	-0.26	-0.21	-0.25	-0.19
1771	-0.31	-0.26	-0.21	-0.25	-0.19
1772	-0.3	-0.26	-0.21	-0.25	-0.19
1773	-0.3	-0.26	-0.21	-0.25	-0.19
1774	-0.3	-0.26	-0.21	-0.25	-0.19
1775	-0.3	-0.26	-0.21	-0.24	-0.19
1776	-0.3	-0.26	-0.21	-0.24	-0.19
1777	-0.29	-0.27	-0.21	-0.24	-0.2
1778	-0.29	-0.27	-0.21	-0.24	-0.2
1779	-0.29	-0.27	-0.22	-0.24	-0.2
1780	-0.29	-0.27	-0.22	-0.24	-0.21
1781	-0.29	-0.27	-0.22	-0.24	-0.21
1782	-0.29	-0.27	-0.22	-0.24	-0.22
1783	-0.29	-0.27	-0.22	-0.23	-0.22
1784	-0.29	-0.27	-0.23	-0.23	-0.23
1785	-0.29	-0.27	-0.23	-0.23	-0.23
1786	-0.29	-0.27	-0.23	-0.23	-0.24
1787	-0.29	-0.27	-0.23	-0.23	-0.24
1788	-0.29	-0.27	-0.24	-0.24	-0.25
1789	-0.29	-0.27	-0.24	-0.24	-0.25
1790	-0.3	-0.27	-0.24	-0.24	-0.26
1791	-0.3	-0.27	-0.24	-0.24	-0.26
1792	-0.3	-0.27	-0.25	-0.24	-0.26
1793	-0.31	-0.26	-0.25	-0.24	-0.26
1794	-0.31	-0.26	-0.25	-0.25	-0.27
1795	-0.31	-0.26	-0.25	-0.25	-0.27
1796	-0.32	-0.26	-0.25	-0.25	-0.27

1797	-0.32	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26
1798	-0.33	-0.26	-0.26	-0.26	-0.26
1799	-0.34	-0.26	-0.26	-0.27	-0.26
1800	-0.34	-0.27	-0.26	-0.27	-0.26
1801	-0.35	-0.27	-0.26	-0.28	-0.25
1802	-0.36	-0.27	-0.26	-0.28	-0.25
1803	-0.37	-0.27	-0.26	-0.29	-0.24
1804	-0.38	-0.27	-0.26	-0.3	-0.24
1805	-0.39	-0.28	-0.26	-0.3	-0.23
1806	-0.4	-0.28	-0.26	-0.31	-0.22
1807	-0.4	-0.29	-0.26	-0.32	-0.22
1808	-0.41	-0.29	-0.26	-0.32	-0.21
1809	-0.42	-0.29	-0.26	-0.33	-0.2
1810	-0.43	-0.3	-0.26	-0.33	-0.2
1811	-0.44	-0.3	-0.26	-0.34	-0.19
1812	-0.45	-0.31	-0.26	-0.35	-0.19
1813	-0.46	-0.32	-0.26	-0.35	-0.18
1814	-0.47	-0.32	-0.26	-0.36	-0.18
1815	-0.47	-0.33	-0.26	-0.36	-0.17
1816	-0.48	-0.33	-0.26	-0.37	-0.17
1817	-0.49	-0.34	-0.27	-0.37	-0.17
1818	-0.49	-0.34	-0.27	-0.38	-0.17
1819	-0.5	-0.35	-0.27	-0.38	-0.17
1820	-0.5	-0.35	-0.27	-0.38	-0.17
1821	-0.5	-0.36	-0.28	-0.39	-0.17
1822	-0.5	-0.36	-0.28	-0.39	-0.18
1823	-0.5	-0.36	-0.28	-0.39	-0.18
1824	-0.5	-0.37	-0.29	-0.4	-0.19
1825	-0.5	-0.37	-0.29	-0.4	-0.19
1826	-0.5	-0.37	-0.29	-0.4	-0.2
1827	-0.5	-0.37	-0.3	-0.4	-0.21
1828	-0.49	-0.37	-0.3	-0.4	-0.21
1829	-0.49	-0.37	-0.31	-0.4	-0.22
1830	-0.48	-0.37	-0.31	-0.4	-0.23
1831	-0.48	-0.37	-0.31	-0.4	-0.24
1832	-0.47	-0.37	-0.32	-0.4	-0.25
1833	-0.46	-0.37	-0.32	-0.4	-0.25
1834	-0.45	-0.37	-0.32	-0.4	-0.26
1835	-0.44	-0.37	-0.33	-0.4	-0.27
1836	-0.43	-0.37	-0.33	-0.39	-0.27
1837	-0.42	-0.36	-0.33	-0.39	-0.28
1838	-0.41	-0.36	-0.33	-0.39	-0.28
1839	-0.4	-0.36	-0.33	-0.39	-0.29
1840	-0.39	-0.35	-0.33	-0.39	-0.29
1841	-0.38	-0.35	-0.33	-0.38	-0.29
1842	-0.37	-0.35	-0.33	-0.38	-0.29
1843	-0.36	-0.34	-0.33	-0.38	-0.29
1844	-0.36	-0.34	-0.33	-0.37	-0.29

1845	-0.35	-0.33	-0.33	-0.37	-0.29
1846	-0.34	-0.33	-0.32	-0.37	-0.29
1847	-0.33	-0.33	-0.32	-0.37	-0.28
1848	-0.32	-0.32	-0.31	-0.36	-0.28
1849	-0.32	-0.32	-0.31	-0.36	-0.27
1850	-0.31	-0.32	-0.3	-0.36	-0.26
1851	-0.31	-0.31	-0.3	-0.35	-0.26
1852	-0.3	-0.31	-0.29	-0.35	-0.25
1853	-0.3	-0.31	-0.29	-0.35	-0.24
1854	-0.3	-0.3	-0.28	-0.34	-0.23
1855	-0.29	-0.3	-0.27	-0.34	-0.22
1856	-0.29	-0.3	-0.27	-0.34	-0.21
1857	-0.29	-0.3	-0.26	-0.34	-0.2
1858	-0.29	-0.29	-0.26	-0.33	-0.19
1859	-0.29	-0.29	-0.25	-0.33	-0.18
1860	-0.29	-0.29	-0.24	-0.33	-0.17
1861	-0.29	-0.29	-0.24	-0.33	-0.16
1862	-0.29	-0.29	-0.23	-0.32	-0.15
1863	-0.3	-0.28	-0.23	-0.32	-0.15
1864	-0.3	-0.28	-0.22	-0.32	-0.14
1865	-0.3	-0.28	-0.22	-0.32	-0.14
1866	-0.3	-0.28	-0.22	-0.31	-0.13
1867	-0.31	-0.28	-0.22	-0.31	-0.13
1868	-0.31	-0.28	-0.21	-0.31	-0.13
1869	-0.31	-0.27	-0.21	-0.31	-0.13
1870	-0.31	-0.27	-0.21	-0.31	-0.13
1871	-0.32	-0.27	-0.21	-0.31	-0.13
1872	-0.32	-0.27	-0.21	-0.3	-0.13
1873	-0.32	-0.27	-0.22	-0.3	-0.14
1874	-0.32	-0.27	-0.22	-0.3	-0.15
1875	-0.32	-0.27	-0.22	-0.3	-0.15
1876	-0.33	-0.27	-0.22	-0.3	-0.16
1877	-0.33	-0.27	-0.23	-0.3	-0.17
1878	-0.33	-0.27	-0.23	-0.3	-0.18
1879	-0.32	-0.27	-0.24	-0.29	-0.19
1880	-0.32	-0.27	-0.24	-0.29	-0.21
1881	-0.32	-0.27	-0.25	-0.29	-0.22
1882	-0.32	-0.28	-0.25	-0.29	-0.23
1883	-0.32	-0.28	-0.26	-0.29	-0.25
1884	-0.31	-0.28	-0.27	-0.28	-0.26
1885	-0.31	-0.28	-0.27	-0.28	-0.28
1886	-0.31	-0.29	-0.28	-0.28	-0.29
1887	-0.3	-0.29	-0.29	-0.28	-0.31
1888	-0.3	-0.29	-0.29	-0.28	-0.32
1889	-0.29	-0.3	-0.3	-0.28	-0.33
1890	-0.29	-0.3	-0.31	-0.27	-0.35
1891	-0.28	-0.31	-0.31	-0.27	-0.36
1892	-0.28	-0.32	-0.32	-0.27	-0.37

1893	-0.27	-0.32	-0.32	-0.27	-0.39
1894	-0.26	-0.33	-0.33	-0.27	-0.4
1895	-0.26	-0.33	-0.33	-0.27	-0.41
1896	-0.25	-0.34	-0.34	-0.27	-0.42
1897	-0.25	-0.35	-0.34	-0.26	-0.42
1898	-0.24	-0.35	-0.34	-0.26	-0.43
1899	-0.24	-0.36	-0.34	-0.26	-0.43
1900	-0.24	-0.36	-0.35	-0.26	-0.44
1901	-0.23	-0.37	-0.35	-0.26	-0.44
1902	-0.23	-0.37	-0.35	-0.26	-0.44
1903	-0.22	-0.38	-0.35	-0.26	-0.44
1904	-0.22	-0.38	-0.35	-0.26	-0.44
1905	-0.22	-0.39	-0.34	-0.26	-0.44
1906	-0.22	-0.39	-0.34	-0.26	-0.43
1907	-0.21	-0.39	-0.34	-0.26	-0.43
1908	-0.21	-0.39	-0.34	-0.26	-0.42
1909	-0.21	-0.39	-0.33	-0.26	-0.41
1910	-0.21	-0.39	-0.33	-0.26	-0.41
1911	-0.21	-0.39	-0.32	-0.26	-0.4
1912	-0.21	-0.38	-0.32	-0.26	-0.39
1913	-0.2	-0.38	-0.31	-0.25	-0.38
1914	-0.2	-0.37	-0.3	-0.25	-0.37
1915	-0.2	-0.37	-0.3	-0.25	-0.36
1916	-0.2	-0.36	-0.29	-0.25	-0.35
1917	-0.19	-0.35	-0.28	-0.25	-0.33
1918	-0.19	-0.34	-0.28	-0.24	-0.32
1919	-0.19	-0.33	-0.27	-0.24	-0.31
1920	-0.18	-0.31	-0.26	-0.23	-0.3
1921	-0.18	-0.3	-0.26	-0.23	-0.3
1922	-0.17	-0.29	-0.25	-0.22	-0.29
1923	-0.17	-0.27	-0.24	-0.22	-0.28
1924	-0.16	-0.25	-0.24	-0.21	-0.27
1925	-0.15	-0.24	-0.23	-0.21	-0.27
1926	-0.15	-0.22	-0.23	-0.2	-0.26
1927	-0.14	-0.2	-0.22	-0.19	-0.26
1928	-0.13	-0.18	-0.22	-0.19	-0.26
1929	-0.12	-0.17	-0.21	-0.18	-0.25
1930	-0.11	-0.15	-0.21	-0.17	-0.25
1931	-0.1	-0.13	-0.2	-0.17	-0.26
1932	-0.09	-0.11	-0.2	-0.16	-0.26
1933	-0.08	-0.09	-0.2	-0.15	-0.26
1934	-0.07	-0.08	-0.2	-0.14	-0.26
1935	-0.06	-0.06	-0.2	-0.14	-0.27
1936	-0.05	-0.05	-0.19	-0.13	-0.27
1937	-0.04	-0.03	-0.19	-0.12	-0.28
1938	-0.03	-0.02	-0.19	-0.12	-0.28
1939	-0.03	-0.01	-0.19	-0.11	-0.29
1940	-0.02	0	-0.19	-0.11	-0.29

1941	-0.01	0.01	-0.19	-0.1	-0.3
1942	0	0.02	-0.19	-0.1	-0.3
1943	0	0.02	-0.19	-0.09	-0.31
1944	0.01	0.03	-0.2	-0.09	-0.31
1945	0.01	0.03	-0.2	-0.09	-0.32
1946	0.02	0.03	-0.2	-0.08	-0.32
1947	0.02	0.03	-0.2	-0.08	-0.32
1948	0.02	0.03	-0.2	-0.08	-0.33
1949	0.03	0.03	-0.2	-0.08	-0.33
1950	0.03	0.02	-0.2	-0.08	-0.33
1951	0.02	0.02	-0.19	-0.07	-0.33
1952	0.02	0.01	-0.19	-0.07	-0.32
1953	0.02	0	-0.19	-0.07	-0.32
1954	0.02	0	-0.19	-0.07	-0.32
1955	0.01	-0.01	-0.19	-0.07	-0.31
1956	0.01	-0.02	-0.18	-0.07	-0.3
1957	0.01	-0.03	-0.18	-0.07	-0.3
1958	0	-0.04	-0.17	-0.07	-0.29
1959	0	-0.05	-0.17	-0.07	-0.28
1960	-0.01	-0.06	-0.16	-0.07	-0.27
1961	-0.02	-0.07	-0.16	-0.07	-0.26
1962	-0.02	-0.08	-0.15	-0.07	-0.25
1963	-0.03	-0.09	-0.14	-0.06	-0.23
1964	-0.03	-0.09	-0.14	-0.06	-0.22
1965	-0.04	-0.1	-0.13	-0.06	-0.21
1966	-0.04	-0.1	-0.12	-0.06	-0.19
1967	-0.05	-0.1	-0.11	-0.05	-0.18
1968	-0.05	-0.11	-0.1	-0.05	-0.17
1969	-0.05	-0.1	-0.09	-0.04	-0.15
1970	-0.06	-0.1	-0.08	-0.04	-0.14
1971	-0.06	-0.1	-0.07	-0.03	-0.13
1972	-0.06	-0.09	-0.06	-0.02	-0.11
1973	-0.06	-0.09	-0.05	-0.02	-0.1
1974	-0.06	-0.08	-0.04	-0.01	-0.09
1975	-0.06	-0.07	-0.03	0	-0.08
1976	-0.05	-0.06	-0.02	0.01	-0.07
1977	-0.05	-0.04	-0.01	0.02	-0.06
1978	-0.05	-0.03	0	0.03	-0.05
1979	-0.04	-0.01	0	0.03	-0.04
1980	-0.04	0.01	0.01	0.04	-0.03
1981	-0.03	0.03	0.02	0.05	-0.02
1982	-0.02	0.05	0.03	0.06	-0.01
1983	-0.02	0.07	0.04	0.07	-0.01
1984	-0.01	0.09	0.04	0.08	0
1985	0	0.11	0.05	0.09	0
1986	0	0.13	0.06	0.1	0.01
1987	0.01	0.15	0.07	0.11	0.01
1988	0.02	0.17	0.07	0.12	0.01

1989	0.03	0.19	0.08	0.13	0.02
1990	0.03	0.21	0.08	0.13	0.02
1991	0.04	0.23	0.09	0.14	0.02
1992	0.05	0.25	0.09	0.15	0.02
1993	-99.99	0.27	0.09	0.16	0.02
1994	-99.99	-99.99	0.1	0.16	0.02
1995	-99.99	-99.99	0.1	0.17	0.02
1996	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99
1997	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99
1998	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99
1999	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99
2000	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99	-99.99

1 = esper.dat

2 = crowleylowery.dat

3 = mannjonesglblowpass.dat(suavizada)

4 = mannjoneshlowpass.dat (suavizada)

5 = mannjonesshlowpass.dat (suavizada)

**ANEXO C. POTENCIAS OBTENIDAS POR CICLOS PARA LA POLARIDAD POSTIVA DEL GRUPO DE MANCHAS SOLARES Y ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL**

**GRUPOS DE MANCHAS SOLARES**

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1614-1624	1479.01364	-0.09543584
2	1639-1675	238.862703	-0.22047197
3	1705-1718	40.2185714	-0.24049993
4	1730-1740	1053.33455	-0.13835422
5	1749-1760	1404.24917	-0.10297384
6	1769-1778	3851.127	0.14372849
7	1787-1800	2303.15643	-0.01234303
8	1816-1829	892.28	-0.15459227
9	1837-1847	2906.18	0.0484558
10	1860-1869	2319.255	-0.01071992
11	1884-1892	1449.61889	-0.09839952
12	1907-1916	1649.897	-0.07820681
13	1928-1936	2775.64333	0.03529466
14	1947-1957	9918.34091	0.7554451
15	1970-1978	4102.50556	0.16907331

**ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL**

C(1)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1614-1624	4.08555556	0.3261943
2	1639-1675	6.89173554	0.7333747
3	1705-1718	2.19019048	0.0511743
4	1730-1740	1.59154639	-0.03569
5	1749-1760	1.57432692	-0.038188
6	1769-1778	0.88872549	-0.13767
7	1787-1800	1.42684211	-0.059589
8	1816-1829	3.47555556	-0.059589
9	1837-1847	1.4166055	-0.061074
10	1860-1869	0.91897959	-0.13328
11	1884-1892	0.77019417	-0.154869
12	1907-1916	2.225994	0.0563694
13	1928-1936	0.07305556	-0.256025
14	1947-1957	0.00454545	-0.265966
15	1970-1978	0.02881188	-0.262445

C(2)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1614-1624	1.60591837	0.121564006
2	1639-1675	4.02582524	0.722659863
3	1705-1718	1.29224299	0.043648211

4	1730-1740	0.95040816	-0.041262288
5	1749-1760	0.8661165	-0.062200022
6	1769-1778	0.69353535	-0.105068537
7	1787-1800	0.9835	-0.033042399
8	1816-1829	1.87010417	0.187186775
9	1837-1847	1.27592233	0.039594219
10	1860-1869	0.78	-0.083591041
11	1884-1892	0.82041667	-0.073551691
12	1907-1916	1.41038835	0.072995078
13	1928-1936	0.1180531	-0.248016187
14	1947-1957	0.00531915	-0.27601888
15	1970-1978	0.05009346	-0.264897108

C(3)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1614-1624	-0.00896739	-0.397942086
2	1639-1675	-0.03905805	-0.423401761
3	1705-1718	0.74792453	0.24246344
4	1730-1740	0.55744898	0.081302261
5	1749-1760	0.3949505	-0.05618755
6	1769-1778	0.18930693	-0.230182372
7	1787-1800	0.89298969	0.365202934
8	1816-1829	1.18189474	0.609645216
9	1837-1847	0.7549505	0.248408103
10	1860-1869	0.48815534	0.022672979
11	1884-1892	0.37326316	-0.074537185
12	1907-1916	0.60942857	0.125282144
13	1928-1936	0.36184466	-0.084198365
14	1947-1957	0.39735294	-0.054154843
15	1970-1978	0.01888889	-0.374372914

C(4)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1614-1624	1.63555556	0.06681849
2	1639-1675	5.92598039	0.79082102

3	1705-1718	1.57056604	0.05585161
4	1730-1740	0.75722772	-0.08139797
5	1749-1760	0.85039604	-0.06567596
6	1769-1778	0.59940594	-0.10803015
7	1787-1800	0.903125	-0.05677803
8	1816-1829	2.18896907	0.16020616
9	1837-1847	1.55803922	0.05373773
10	1860-1869	0.99196078	-0.04178713
11	1884-1892	0.68227723	-0.09404575
12	1907-1916	0.64910891	-0.09964285
13	1928-1936	0.21745283	-0.17248415
14	1947-1957	0.05930693	-0.19917102
15	1970-1978	0.00448598	-0.20842197

C(5)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1614-1624	0.52287129	-0.11048822
2	1639-1675	1.17852632	0.34842781
3	1705-1718	0.26650943	-0.2899249
4	1730-1740	0.43414894	-0.17258811
5	1749-1760	0.59485437	-0.06010473
6	1769-1778	0.37252525	-0.2157207
7	1787-1800	0.96132653	0.19640204
8	1816-1829	0.51263158	-0.11765535
9	1837-1847	0.908	0.15907692
10	1860-1869	0.19836538	-0.33762132
11	1884-1892	1.04101124	0.25217617
12	1907-1916	1.4287037	0.52353577
13	1928-1936	0.61494949	-0.04603944
14	1947-1957	1.09931373	0.29298413
15	1970-1978	0.07715596	-0.42246006

**ANEXO D POTENCIAS OBTENIDAS POR CICLOS PARA LA POLARIDAD NEGATIVA DEL GRUPO DE MANCHAS SOLARES Y ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL**

**GRUPO DE MANCHAS SOLARES**

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1625-1638	615.914286	-0.231694016
2	1676-1704	1.08655172	-0.290198593
3	1719-1729	912.965455	-0.203427801
4	1741-1748	922.29875	-0.202539682
5	1761-1768	1905.46625	-0.108985349
6	1779-1786	2552.8	-0.047387629
7	1801-1815	401.756667	-0.252072409
8	1830-1836	2644.06286	-0.038703416
9	1848-1859	2736.16417	-0.029939419
10	1870-1883	2534.74929	-0.049105263
11	1893-1906	2372.47357	-0.064546779
12	1917-1927	3836.86182	0.074798618
13	1937-1946	5645.147	0.246867887
14	1958-1969	8171.18667	0.487235836
15	1979-1989	10509.0536	0.709698015

**ANOMALÍAS DE TEMPERATURA GLOBAL**

C(1)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1625-1638	5.04813725	0.68647142
2	1676-1704	5.18315789	0.7125213
3	1719-1729	1.44078431	-0.00950447
4	1741-1748	1.2168	-0.05271834
5	1761-1768	0.83378641	-0.12661414
6	1779-1786	0.6728	-0.15767366
7	1801-1815	2.93681818	0.27912919
8	1830-1836	1.40409524	-0.01658299
9	1848-1859	1.05582524	-0.08377562
10	1870-1883	1.46141414	-0.00552431
11	1893-1906	0.76695238	-0.1395086
12	1917-1927	0.30580952	-0.22847808
13	1937-1946	0.00424528	-0.28665965
14	1958-1969	0.01410526	-0.28665965
15	1979-1989	0.00598131	-0.28632471

## C(2)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1625-1638	2.10069307	0.22774404
2	1676-1704	4.38	0.74813375
3	1719-1729	0.8624	-0.05497128
4	1741-1748	0.68366337	-0.09577873
5	1761-1768	0.5408	-0.12839593
6	1779-1786	0.5832	-0.11871557
7	1801-1815	1.37287234	0.06157492
8	1830-1836	0.9583	-0.0330763
9	1848-1859	1.09097087	-0.00278615
10	1870-1883	1.0420202	-0.0139621
11	1893-1906	1.9427957	0.19169441
12	1917-1927	0.7813913	-0.07346641
13	1937-1946	0.00471698	-0.25078932
14	1958-1969	0.09287234	-0.23066252
15	1979-1989	0.11091667	-0.22654281

## C(3)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1625-1638	2.31112245	0.27832139
2	1676-1704	4.4149505	0.75484498
3	1719-1729	0.88538462	-0.04461266
4	1741-1748	0.5569697	-0.11899966
5	1761-1768	0.53039604	-0.12501867
6	1779-1786	0.43762376	-0.14603188
7	1801-1815	1.695	0.13876774
8	1830-1836	1.10108911	0.00424508
9	1848-1859	1.39466019	0.07073984
10	1870-1883	1.21833333	0.03080126
11	1893-1906	0.9580198	-0.02816056
12	1917-1927	0.51377358	-0.12878371
13	1937-1946	0.09971154	-0.22257005
14	1958-1969	0.04417476	-0.2351493
15	1979-1989	0.074	-0.22839379

## C(4)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1625-1638	0.51834951	-0.07866642
2	1676-1704	1.81828571	0.4108557
3	1719-1729	0.2121875	-0.19395907
4	1741-1748	0.41838384	-0.11631089
5	1761-1768	0.31029412	-0.15701467
6	1779-1786	0.40458333	-0.12150781
7	1801-1815	0.62953704	-0.0367961
8	1830-1836	0.46760417	-0.0977758
9	1848-1859	0.60045455	-0.04774781
10	1870-1883	0.50704545	-0.08292324
11	1893-1906	2.65552083	0.72613665
12	1917-1927	0.87	0.05375599
13	1937-1946	0.93958333	0.07995926
14	1958-1969	0.55333333	-0.06549243
15	1979-1989	0.00358491	-0.27251337

## C(5)

CICLO	AÑOS	POR CICLO	NORMALIZADA
1	1625-1638	0.51834951	-0.07866642
2	1676-1704	1.81828571	0.4108557
3	1719-1729	0.2121875	-0.19395907
4	1741-1748	0.41838384	-0.11631089
5	1761-1768	0.31029412	-0.15701467
6	1779-1786	0.40458333	-0.12150781
7	1801-1815	0.62953704	-0.0367961
8	1830-1836	0.46760417	-0.0977758
9	1848-1859	0.60045455	-0.04774781
10	1870-1883	0.50704545	-0.08292324
11	1893-1906	2.65552083	0.72613665
12	1917-1927	0.87	0.05375599
13	1937-1946	0.93958333	0.07995926
14	1958-1969	0.55333333	-0.06549243
15	1979-1989	0.00358491	-0.27251337

## REFERENCIAS

- [1] Kenneth R. Lange “***The Cambridge encyclopedia of the Sun***”. Cambridge University Press
- [2] Frederic K Lutgens Edward J Tarbuck “***The atmosphere, an introduction to meteorology***”
- [3] Maria Guadalupe Cordero Tercero, Alejandro Lara Sánchez, Maria Dolores Maravilla Meza, Blanca Emma Mendoza Ortega, José Francisco Valdés Galicia, Victor Manuel Velazco Herrera “***Introducción a la física espacial***”. Universidad Autónoma Nacional de México 2013
- [4] <http://sidc.oma.be/>
- [5] [www.sws.bom.gov.au/Educational/2/2/3](http://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/2/3)
- [6] [windows2universe.com](http://windows2universe.com)
- [7] V. Milantiev, S. Temkó “***Física del plasma***” MIR MOSCU
- [8] J. Liliensten-J.Bornarel “***Space Weather, Environment and Societies***” Springer
- [9] <http://www.almaobservatory.org/es/sobre-alma/ciencia-con-alma/el-sol>
- [10] [http://ciencia1.nasa.gov/media/medialibrary/2009/04/15/01apr\\_de\\_epsolarminimum\\_resources/zurich\\_spanish.gif](http://ciencia1.nasa.gov/media/medialibrary/2009/04/15/01apr_de_epsolarminimum_resources/zurich_spanish.gif)

- [11] Velazco Herrera V.M., Mendoza B. y Velazco Herrera G. (2013). ***Estimating Total Solar Irradiance From the Maunder Minimum to 21st century***. Astronomy & Astrophysics. Manuscript no. TSI'7'dic
- [12] Hathaway H. David, Wilson M. Robert, Reichmann J. Edwin, (2002). ***Group sunspot numbers: Sunspot cycle characteristics***
- [13] Mendoza Blanca., (2007). ***Calentamiento global y actividad solar***. Revista digital Universitaria, 8(10),
- [14] Hoyt V. Douglas y Schatten H. Kenneth, (1997). ***Group sunspot numbers: A new solar reconstruction***. Kluwer Academic Publishers.
- [15] Mendoza Blanca. ***"Actividad solar y clima"***. Monografías del Instituto de Geofísica No. 8, Mayo 2006
- [16] Jones P.D. y Mann M. E., (2004) ***Climate over past millennia***. Reviews of Geophysics, RG 2002, 42

## REFERENCIAS DE FIGURAS.

- (a) <https://astronomiachile.files.wordpress.com/2010/12/granulacion1.jpg>
- (b) <http://www.astronomynotes.com/starsun/chromosphere.jpg>
- (c) [http://www.spaceweather.com/images2013/18jul13/coronalhole\\_strip.jpg](http://www.spaceweather.com/images2013/18jul13/coronalhole_strip.jpg)
- (d) <http://www.scientificgamer.com/blog/wpcontent/uploads/2012/05/differential.jpg>
- (e) [http://2.bp.blogspot.com/aFNrS6Cdz8o/TvtPp8480I/AAAAAAAAA3y8/En08kQVEdoE/s1600/326478\\_298632460174617\\_100000835975026\\_829662\\_1223940593\\_o.jpg](http://2.bp.blogspot.com/aFNrS6Cdz8o/TvtPp8480I/AAAAAAAAA3y8/En08kQVEdoE/s1600/326478_298632460174617_100000835975026_829662_1223940593_o.jpg)
- (f) [http://ciencia1.nasa.gov/media/medialibrary/2009/04/15/01apr\\_deepsolarminimum\\_resources/zurich\\_spanish.gif](http://ciencia1.nasa.gov/media/medialibrary/2009/04/15/01apr_deepsolarminimum_resources/zurich_spanish.gif)
- (g) <http://4.bp.blogspot.com/mQ5nV7uUU94/T2vR5Kcmvil/AAAAAAAAAtU/gxx15FCK4rl/s400/manchas%2Bsolares.jpg>
- (h) [www.sws.bom.gov.au/Educational/2/2/3](http://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/2/3)
- (i) <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/114/img/6.gif>
- (j) <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/114/img/7.gif>
- (k) <http://www.educa.madrid.org/web/cc.nsdelasabiduria.madrid/Ejercicios/2b/CTMA/atmosfera/capesatmosfera.jpg>
- (l) <http://www.ceac.es/blog/wpcontent/uploads/2012/12/tierranube.jpg>
- (m) [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/71/Atmosphere\\_with\\_Ionosphere\\_es.svg/250pxAtmosphere\\_with\\_Ionosphere\\_es.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/71/Atmosphere_with_Ionosphere_es.svg/250pxAtmosphere_with_Ionosphere_es.svg.png)
- (n) [http://qsl.net/xe2pna/images/capas\\_de\\_la\\_ionosfera.gif](http://qsl.net/xe2pna/images/capas_de_la_ionosfera.gif)
- (o) [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b4/Outer\\_core\\_convection\\_rolls.jpg/220px-Outer\\_core\\_convection\\_rolls.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b4/Outer_core_convection_rolls.jpg/220px-Outer_core_convection_rolls.jpg)
- (p) <http://s1135.photobucket.com/user/abeldomi/media/nohotlink.jpg.html>
- (q) [http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/50/280px-Structure\\_of\\_the\\_magnetosphere\\_mod\\_ES.svg.png](http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/50/280px-Structure_of_the_magnetosphere_mod_ES.svg.png)
- (r) [http://scienceblogs.com/startswithabang/files/2011/08/02\\_03.gif](http://scienceblogs.com/startswithabang/files/2011/08/02_03.gif)

- (s) [https://books.google.com.mx/books?id=pn3cw3oLn\\_kC&pg=PA75&lpg=PA75&dq=van+allen+rings+Space+Weather,+Environment+and+Societies&source=bl&ots=bcy4LnBBGZ&sig=H8k9YSVmWO5ZRXCik9SEubiQuY&hl=es419&sa=X&ei=RVdIVZvMHsKcsAWh44DYBA&ved=0CC0Q6AEwAg#v=onepage&q=van%20allen%20rings%20Space%20Weather%2C%20Environment%20and%20Societies&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=pn3cw3oLn_kC&pg=PA75&lpg=PA75&dq=van+allen+rings+Space+Weather,+Environment+and+Societies&source=bl&ots=bcy4LnBBGZ&sig=H8k9YSVmWO5ZRXCik9SEubiQuY&hl=es419&sa=X&ei=RVdIVZvMHsKcsAWh44DYBA&ved=0CC0Q6AEwAg#v=onepage&q=van%20allen%20rings%20Space%20Weather%2C%20Environment%20and%20Societies&f=false)
- (t) <http://www.public.iastate.edu/~sdk/fick2003/images/p4a.jpg>
- (u) [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Solar\\_storm.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Solar_storm.JPG)
- (v) <http://www.mitosyfraudes.org/images-21/solar-6.jpg>
- (w) <http://www.elclima.com.mx/gif/nino1.jpg>