

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



**CAMBIOS CLIMÁTICOS EN LA TIERRA POR
PERTURBACIONES ASTRONÓMICAS**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEOLOGO**

**PRESENTADO POR:
TEODOSIO JUAN CHAVEZ CAMPOS**

**Lima - Perú
2010**

Dedicatoria

**A mi madre
Constanza**

**e hijos
Israel y Nadia**

Agradecimientos

Al Instituto Geofísico del Perú-Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) a su Director Dr. Ronald Woodman. Y a mis colegas del Radio Observatorio de Jicamarca por el apoyo recibido. Jorge Chau, Luis Condori, Oscar Veliz.

Al Dr. Carlos Calderón Chamocho con quien compartimos años de trabajo dedicados a la investigación en el Radio Observatorio de Jicamarca.

Al Dr. Mateo Casaverde por su apoyo permanente en mi aprendizaje de Geomagnetismo.

A mis asesores de Tesis, Ing. Atilio Mendoza A. e Ing. Graciela Gonzales de la Facultad de Geología de la UNI. A Oscar Silva MSc., decano de la Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica

Finalmente a todas aquellas personas que directa o indirectamente influyeron en mi formación profesional, sin ellas no habría sido posible la culminación de esta tesis.

ÍNDICE

CAMBIO CLIMATICO EN LA TIERRA POR PERTURBACIONES ASTRONOMICAS

	Pag.
Resumen	8
Prólogo	11
INTRODUCCION	12
1.- Planteamiento del Problema	12
2.- Hipótesis y Variables de la Investigación	12
2.1.- Determinación de las variables	12
3.- Objetivos	13
4.- Justificación de la investigación	13
CAPITULO I	
MOVIMIENTO DE LA TIERRA Y SISTEMAS DE COORDENADAS	14
1.0.- Galaxia-Vía Láctea y la Tierra	14
1.0.1.- Constelación	15
1.0.2.- Sistema Planetario Solar	16
1.1.- Movimientos de la Tierra	17
1.1.1.- Movimiento de rotación	17
1.1.2.-Bamboleo de Chandler	19
1.1.3.- Movimiento de traslación	20
1.1.4.- Movimiento de nutación	21
1.1.5.- Variaciones orbitales	21
1.1.5.1.- Precesión del eje de la Tierra	22
1.1.5.2.- Oblicuidad	23
1.1.5.3.- Excentricidad orbital	24
1.2.- Sistemas de Coordenadas Celestes	24
1.2.1.- La eclíptica y el punto Aries	24
- Los 2 Equinoccios	24
- Los 2 Solsticios	25
1.3.- Relación entre Coordenadas Terrestres y Celestes	26
CAPÍTULO II	
GEOMAGNETISMO Y EL ECUADOR MAGNETICO	28
2.1 Elementos del Campo Geomagnético	28
2.2 Geomagnetismo	29
2.3 Referencia del Campo Geomagnético Internacional (IGRF)	30
2.4 El ecuador Magnético	32
2.4.1 El ecuador magnético en el Mundo	32
2.4.2. El ecuador magnético en el Perú	33

2.4.3 Estabilidad del ecuador magnético	36
CAPÍTULO III	
PUNTO VERNAL Y EL ELECTROCHORRO ECUATORIAL	37
3.1 El Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ)	37
3.1.1.- Historia del Radio Observatorio de Jicamarca	39
3.1.2.- Radar Principal	39
3.1.2.1.- Componentes de Radar	39
3.1.2.2.- Modos de transmisión del Radar	40
3.1.3.- Radar JULIA	40
3.1.4.-Otros Instrumentos	40
3.1.5.-Principales Áreas de Investigación	40
3.1.6.-Ecos de Dispersión Coherente	42
3.1.7.- Estudios no convencionales	43
3.1.8.- Ionosonda: observaciones de la ionosfera en Jicamarca	43
3.2 Electrochorro Ecuatorial	44
3.2.1.- Estudios del electrochorro ecuatorial desde satellites	46
3.2.1.1.- CHAMP y el electrochorro ecuatorial	46
3.2.1.1.1.- Algunas investigaciones realizadas con el CHAMP sobre el Electrochorro Ecuatorial	47
3.3.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en la Tierra	48
3.3.1.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en Sudamérica	48
3.3.1.1.- Perú, Bolivia y Brasil	49
3.3.2.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en Filipinas	49
3.3.3.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en India	50
3.4.- Relación luni - solar con el electrochorro ecuatorial	52
3.5.- Correlación de las manchas solares y la componente H	52
3.5.- Relación entre la actividad magnética y los ciclos orbitales	53
CAPÍTULO IV.	
PUNTO VERNAL, ECUADOR MAGNETICO Y EL ELECTROCHORRO ECUATORIAL	54
4.1.- Geomagnetismo y la Precesion del eje de la Tierra	54
4.1.1. La Deriva Polar	55
4. 2 Inversiones del campo magnetico	56
4.3.- Paleomagnetismo y los ciclos orbitales	57
4.3.1.- Escala de tiempo en la polaridad geomagnetica (GPTS) y milankovitch	57
4.3.2.- El GPTS y la Magnetoestratigrafia (magnetostratigraphy)	58
4.3.3.- Astrocronologia (Astrochronology)	58
4.4.- Punto vernal en Aquarius y el electrochorro ecuatorial	60
4.4.1.- Definición de Punto vernal	61
4.4.2.- AGI y Huancayo mayor intensidad del EEJ en los Equinoccios	63
4.5.- Nuevo meridiano base para el estudio de datos geofísicos	64
4.5.1.- Cusco meridiano base ($72^{\circ}W \equiv 0^{\circ}$)	65
4.5.2.- Meridiano base del Cusco y el proyecto LISN	66
4.5.3.- Proyecto LISN y el meridiano $70^{\circ} W$	66
4.5.4.- Red LISN	67
4.5.5.- Primer Taller de LISN	69

CAPITULO V	
PALEOCLIMA DE LA TIERRA	70
5. Introducción	70
5.1. Precámbrico.	70
5.1.1. El calor del principio	70
5.1.2. La intervención de la vida.	71
5.1.3. ¿Se congeló la Tierra?	72
5.2. Era Primaria (Paleozoico).	72
5.2.1. La explosión cámbrica.	72
5.2.2. El clima en el Cámbrico y Ordovícico.	74
5.2.3. Glaciación del Ordovícico.	74
5.2.4. Silúrico, Devónico y Carbonífero: un clima cálido y húmedo.	74
5.2.5. Glaciación de final del Carbonífero.	75
5.2.6. La catástrofe del Permo-Trías (P/T).	75
5.3. Era Secundaria (Mesozoico).	75
5.3.1. Aridez y calor en Pangea	75
5.3.2. Jurásico y Cretácico: el clima de los dinosaurios	77
5.3.3. La catástrofe K/T (o K/Pg)	78
5.4. Era Terciaria.	78
5.4.1. El clima cálido del Paleoceno y Eoceno	78
5.4.2. Oligoceno: el hielo recubre la Antártida,	79
5.4.3. Mioceno, un clima cambiante,	79
5.4.4. El clima cálido del Plioceno,	80
5.4.5. La transición al Cuaternario,	80
5.5. Glaciaciones Cuaternarias.	80
5.5.1. Las causas	80
5.5.2. Períodos	80
5.6. El interglacial Eemiense	80
5.7. La Última Glaciación	81
5.8. Variabilidad climática durante la Última Glaciación.	81
5.9. El Último Máximo Glacial.	81
5.10. La Deglaciación.	81
5.11. El Holoceno.	82
CAPÍTULO VI	
ACTIVIDAD SOLAR Y EL CLIMA DE LA TIERRA	83
6.1 La actividad solar	83
6.1.1.- Energía radiante del Sol. Constante solar	83
6.1.2.- Composición de la energía solar	84
6.1.3.- Radiación reflejada y absorbida por la Tierra	84
6.2.- La Tierra y sus estaciones	85
6.3 Predicción de la actividad Solar	86
6.3.1.- Modelos de Predicción de manchas solares	87
6.3.2.- Modelo recientes de las manchas solares	89
6.3.2.1.-Mínimo de manchas solares desde 2008-2010	90
6.4.- Ciclo de Gleissberger (70-90 años)	91
6.5.- El Sol y Ciclos de 2000 años y el ciclo de Gleissberg (70-90 años)	91
6.6.- Mayor Actividad Solar desde 1940	93

6.7. - Relación longitud del ciclo de manchas solares y el cambio climático desde 1940	93
6.8.- El papel del Sol en el cambio climático	94
CAPÍTULO VII	
PUNTO VERNAL Y EL CAMBIO CLIMATICO DE LA TIERRA	96
7.1. El sistema climático	96
7.1.1.- Componentes del sistema climático	97
7.2 Causas de los cambios Climáticos	99
7.3.- Clima y los Ciclos Orbitales de la Tierra	101
7.3.1.- La precesión de los equinoccios	102
7.3.1.1.- Consecuencias climáticas	103
7.3.2.- Excentricidad de la órbita	104
7.3.3.- Inclinación del eje terrestre	105
7.4.- Punto Vernal y el cambio climático de la Tierra	105
7.5.- Temperaturas del Ártico se calienta aproximadamente desde 1940	107
CAPÍTULO VIII	
PUNTO VERNAL Y EL MODELO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA TIERRA	109
8.1.- Introducción	109
8.2.- Principales rasgos de la comprensión del sistema climático y del cambio climático en los albores del siglo XXI.	109
8.2.1.- Periodos antiguos e Instrumental	109
8.2.2.- Presente y sistema de referencia	111
8.2.3.-Futuro	112
8.3.- Modelo Científico	112
8.4.- Tipos de Modelos	112
8.5.- Los modelos climáticos ¿cómo se construyen y cómo se aplican?	113
8.6.- Hacia una mayor comprensión	114
8.6.1. - Datos	114
8.6.2. - Los procesos climáticos y la modelización	114
8.6.3. - Aspectos relacionados con el ser humano,	115
8.6.4. - El marco internacional para hacer Gestión del conocimiento	115
8.7.- Mapa de Predicción numérica del Tiempo y clima del Perú	115
8.7.1. - El Modelo MM5	116
8.7.2. -Monitoreo de la Costa Peruana	117
8.7.3. - Imágenes de Satélite	118
8.8. Modelos climáticos	
8.8.1. – Propuesta de un modelo	120
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFIA	124
RELACION DE GRAFICOS	129

Resumen

En el capítulo I, se considera los principales movimientos de la Tierra: rotación, bamboleo de Chandler, traslación, nutación. Entre las variaciones orbitales tenemos: Precesión del eje de la Tierra, oblicuidad, y excentricidad orbital. En los sistemas de coordenadas celestes, se considera la ascensión recta (AR) y la declinación (δ) son análogas a la longitud y latitud terrestres respectivamente. Por ejemplo la declinación celeste -11.5° sur, corresponde aproximadamente a la latitud 11.5° sur. Precesionalmente, esta declinación celeste marca aproximadamente el inicio de la constelación de Aquarius.

En el capítulo II para comprobar la entrada del punto vernal a la constelación de Aquarius, se considera el estudio del campo magnético de la Tierra. Para estudiar su comportamiento es a través de modelos entre ellos el IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Donde se estudia el desplazamiento de norte a sur del ecuador magnético en Sudamérica y se estabiliza a partir de la latitud 11.5° S en territorio peruano-boliviano hasta la fecha (2010).

En el Capítulo III, para verificar en la Tierra la entrada del punto vernal a la constelación de Aquarius, se considera el fenómeno del Electrochorro Ecuatorial fue identificado primero usando datos del observatorio magnético de Huancayo (Peru). Luego fue estudiado en el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ). El Ecuador Magnético constituye la referencia más importante del "electrochorro ecuatorial". El electro-chorro, es una banda estrecha de corriente eléctrica, centrada sobre el ecuador magnético, fluye de oeste a este a una altura aproximada de 100 km, con máxima intensidad cerca del medio día. Actualmente para su estudio se realiza desde el satélite Alemán, siendo uno de ellos, el CHALLENGING Minisatellite Payload (CHAMP). Comparando el Electrochorro Ecuatorial alrededor de la Tierra, lo tenemos en: Perú, Brasil Filipinas, en India, siendo más intenso en los equinoccios en Perú-Bolivia. Se observa una relación luni - solar con el electrochorro ecuatorial. Además hay una buena correlación entre las manchas solares y la componente H del campo magnético

En este Capítulo IV, se tiene una relación entre la precesión de los equinoccios (retrogradación del Punto vernal), geomagnetismo y el electrochorro ecuatorial en Sudamérica (mayor intensidad en los equinoccios en Perú-Bolivia). Se afirma considerando otra disciplina denominada Paleomagnetismo y su relación con los ciclos orbitales de milankovitch (entre ellas la Precesión). Se define el punto vernal es un eje sensitivo de conductividad máxima en los equinoccios del EEJ en Perú y Bolivia durante del paso del sol por la intersección del ecuador celeste con la eclíptica. Se confirma la mayor intensidad del electrochorro ecuatorial en los equinoccios durante El Año Geofísico Internacional – AGI (1957 - 1958). En la XXIV Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica realizado del 2-13 de Julio del 2007 en la ciudad de Perugia (Italia), se propuso al Cusco como meridiano base (72° W $\equiv 0^\circ$) para el estudio de datos geofísicos (Cusco base meridian for the study of geophysical data). Actualmente el Instituto Geofísico del Perú (IGP) auspicia el proyecto *Low-Latitude Ionospheric Sensor Network* (LISN) sobre el meridiano 70° W con la finalidad de realizar trabajos de investigación científica en torno a los fenómenos ionosféricos en el ecuador magnético y sobre la electrodinámica en la ionósfera y termósfera (ITE: ionosphere-thermosphere-electrodynamics).

En el capítulo V, el estudio de los cambios climáticos acontecidos en el pasado es de gran importancia para conocer en profundidad el sistema climático terrestre. Desde el Precámbrico, el calor del principio, la intervención de la vida, se puede decir que la característica principal de la atmósfera durante el Arqueozoico era que el aire apenas contenía unas trazas. En la Era Primaria (Paleozoico). Se tiene la explosión cámbrica, el clima en el Cámbrico y Ordovícico, la Glaciación del Ordovícico, donde en el Silúrico, Devónico y Carbonífero tenemos: un clima cálido y húmedo, la Glaciación de final del Carbonífero, y la catástrofe del Permo-Trías (P/T). En la Era Secundaria (Mesozoico). Se tiene la Aridez y calor en Pangea, Jurásico y Cretácico: el clima de los dinosaurios, y la catástrofe K/T (o K/Pg). En la Era Terciaria. El clima cálido del Paleoceno y Eoceno, Oligoceno: el hielo recubre la Antártida, Mioceno, un clima cambiante y el clima cálido del Plioceno. La Era Cuaternaria es, por lo tanto, una época de inestabilidad climática y de bruscos e importantes cambios ambientales, que han afectado con mayor o menor intensidad a todas las latitudes. Las causas, se cree que el disparador de las glaciaciones cuaternarias fue de carácter astronómico, los ciclos astronómicos de Milankovitch.

En el capítulo VI, se considera la actividad solar y el clima de la Tierra, donde se considera a la Tierra y sus dos movimientos principales estrechamente relacionados con el clima y sus variaciones: el de *traslación* y el de *rotación*. Estas cuatro estaciones están determinadas por cuatro posiciones principales, reciben el nombre de *solsticios* y *equinoccios*. Predicción de la actividad Solar de 11 años promedio. Hay una serie de Modelos de Predicción de manchas solares entre ellos: series de tiempo, Método de McNish – Lincoln, Método Corrector–Predictor, Transformada de Fourier, Transformada Rápida de Fourier y Espectro de Potencia, Modelo recientes: “Predictive Flux-transport Dynamo Model” y pronósticos, basados en registros históricos de tormentas geomagnéticas. El Ciclo de Gleissberger (70-90 años), se correlaciona con la retrogradación del punto vernal de un grado aproximadamente cada 72 años. Así mismo la retrogradación promedio del punto vernal cada 2000 años, se ha encontrado una relación del Sol con una Ciclicidad de 2000 años Se indica una mayor actividad solar desde 1940. Y se observa una buena correlación entre la longitud del ciclo de manchas solares y el cambio climático y el cambio se ve desde 1940

En el Capítulo VII, buscamos relacionar el punto vernal y el cambio climático de la Tierra, donde el sistema climático esta integrado por cinco grandes componentes: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la superficie terrestre y la biosfera, y las interacciones entre ellos. Los componentes del sistema climático esta compuesto de: Entradas o inputs (Energía radiante del Sol, etc). Parte central (configuración del tiempo y clima, movimientos del aire y reparto del calor). Salidas u outputs (Climas regionales y globales del planeta). Dentro de las causas de los cambios climáticos, tenemos la radiación del Sol, sobre todo en la superficie. Los aerosoles (partículas o gotitas microscópicas en el aire), la actividad volcánica, y la actividad humana. En la relación del Clima y los Ciclos Orbitales de la Tierra, propuesto por Milutin Milankovitch en 1920, hay tres tipos de oscilaciones de la órbita terrestre: Excentricidad orbital, Oblicuidad del eje terrestre, y la precesión de los equinoccios. Se correlaciona la entrada del Punto Vernal en 1940 a la Constelación de Aquarius y la variación de la anomalía de la temperatura de la Tierra aproximadamente en los años 1938-1940 Y se comprueba que desde 1940, las temperaturas del Ártico son ahora las más elevadas de los últimos 2.000 años.

En este capítulo VIII, se resume sobre el Punto vernal como base para el diseño de modelos del cambio climático en la Tierra y que tiene su base en un informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988. Los modelos climáticos generales se basan en leyes de la física representadas por ecuaciones matemáticas que se resuelven utilizando una rejilla tridimensional sobre el globo terráqueo. Se propone un modelo general del sistema climático, considerando un sistema de referencia, la entrada del punto vernal a la constelación de Aquarius (21 de marzo de 1940).

Prólogo

El Perú, territorio de contrastes geográficos, está formado por ocho regiones Naturales: chala o costa, yunga, quechua, suni, puna, janca o cordillera, selva alta y selva baja. En estas se presentan una diversidad de climas y microclimas que van desde el costero árido y cálido, pasando por los climas de los valles interandinos de tipo templado, frígido y polar, hasta los de tipo cálido y lluvioso de la selva. Tres son los factores que determinan básicamente el clima del Perú: la situación del país en la zona intertropical, las modificaciones altitudinales que introducen la Cordillera de los Andes y la Corriente Peruana o de Humboldt, cuyas aguas recorren las costas del país.

El sistema climático terrestre está conformado por los procesos físicos y químicos internos de la atmósfera en constante interacción con los océanos, los continentes, las grandes masas de hielo y los organismos vivos de la tierra que son los principales componentes del medio ambiente. El estudio del clima local se sustenta en el análisis de las diferentes variables climáticas como la temperatura, humedad, presión de los vientos y precipitaciones, teniendo en cuenta los factores de latitud, altitud y continentalidad que ejercen influencias sobre estas. El efecto invernadero natural de la Tierra es producido fundamentalmente por el vapor de agua presente en las nubes y los gases de efecto invernadero que conforman la atmósfera de la Tierra; sin embargo la actividad antrópica se ha convertido en el principal factor contaminante del ambiente terrestre por la magnitud e intensidad de estos tipos de gases que se producen y se incorporan a la atmósfera, como consecuencia de las actividades desarrolladas por el hombre.

No hay ninguna duda de que el Sol y sus diferentes ciclos de actividad magnética constituyen la principal fuente de energía para todos los procesos que tienen lugar en la atmósfera y en la superficie de nuestro planeta. Cualquier cambio en dicha energía ha tenido que haber dejado huellas indudables en el clima de nuestro planeta, lo está haciendo en la actualidad y lo seguirá haciendo en el futuro. En la actualidad se disponen de datos meteorológicos de los pasados 150 años, que nos permiten afrontar el problema del cambio climático desde una perspectiva científica. Estos datos indican que la temperatura media de la superficie terrestre se ha elevado medio grado en dicho intervalo de tiempo.

Varias estrategias son posibles para atacar el estudio de las variaciones climáticas. Por un lado podemos utilizar el principio de que el presente es la clave para entender el pasado. Para comprender el sistema climático terrestre, se debe considerar tomando como base un sistema de referencia (unión de espacio - tiempo). A partir de ahí se debe considerar un enfoque multidisciplinario e interdisciplinario que engloba todas las ciencias experimentales (astronomía, física, biología, geología), junto con gran parte de las sociales (economía, sociología, política, etc.). Con una visión de considerar la Tierra como un sistema dinámico, este problema puede ser mejor comprendido y posteriormente resuelto.

INTRODUCCION

1. Planteamiento del Problema

El Perú esta expuesto en alto grado a desastres naturales de origen geofísico: terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, deslizamiento o avalanchas, y variaciones climáticas, especialmente causadas por el fenómeno de El Niño. Adicionalmente, el cambio climático ha incrementado la amenaza de eventos meteorológicos extremos.

Los riesgos asociados con el cambio climático fueron reconocidos desde hace ya mucho tiempo. El Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (GICC –en inglés IPCC), fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial –OMM y por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA -en inglés UNEP). El GICC es una organización en la que trabajan más de 2000 científicos (de variadas especialidades: meteorólogos, botánicos, climatólogos, químicos, geólogos, etc.) de todo el mundo quienes, partiendo de los resultados científicos ya obtenidos, evalúan las consecuencias de la intensificación del efecto invernadero por la actividad humana. El problema del calentamiento global de nuestro planeta, engloba aspectos de prácticamente todas las ciencias experimentales (física, biología, geología), junto con gran parte de las sociales (economía, sociología, política, etc.).

En la mayoría de los casos, los países pobres con un ingreso per cápita anual de menos de 200 US \$, son los más afectados por el cambio climático; como Mozambique por inundaciones y Etiopía por sequias. Se tratan de países que emiten poca cantidad de gases de efecto invernadero. En el caso de Perú, siendo un país megadiverso, posee una de las concentraciones de diversidad biológica más grandes del planeta, por lo que cabe esperar que los impactos del cambio climático no aumenten el riesgo de pérdida de biodiversidad. Es posible que la reducción de las poblaciones de batracios y pequeños mamíferos observadas en América Central y Sudamérica tenga alguna vinculación con el cambio climático. Buena parte de los bosques que quedan están amenazados por la combinación de tala indiscriminada, aumentos en la frecuencia y escala de incendios forestales, y disminución de las precipitaciones. A su vez, las precipitaciones se ven afectadas por la menor evapotranspiración (producto de la desertificación y la tala de bosques), al calentamiento global ya eventos como el fenómeno de El Niño.

Los aumentos en la temperatura afectarán las condiciones de salud en entornos con mayores problemas ambientales. El Niño produce cambios en la distribución de la población y su propensión ante ciertas enfermedades, como ocurre con la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua en países como Brasil, Perú, Bolivia, Argentina y Venezuela. El planteamiento del problema lo podemos sintetizar, en proponer un sistema de referencia dinámico que sincronice espacio y tiempo para estudiar el cambio climático

2. Hipótesis y Variables de la Investigación

2.1.- Determinación de las variables

En el presente proyecto podemos considerar las siguientes variables:

* Variables dependientes:

- desplazamiento del punto vernal

* Variables independientes:

- Ecuador magnético, electrochorro ecuatorial y Cambio climático

3. Objetivos

La presente investigación tiene los siguientes objetivos:

- Analizar la relación entre el punto vernal como sistema de referencia con el campo magnético de la Tierra (ecuador magnético) y el electrochorro ecuatorial.
- Relación del punto vernal en el cambio climático de la Tierra.

4. Justificación de la investigación

El Perú es un país megadiverso, posee una de las concentraciones de diversidad biológica más grandes del planeta, por lo que cabe esperar que los impactos del cambio climático aumenten el riesgo de pérdida de biodiversidad. En todas estas regiones se desarrolla una biodiversidad de flora y fauna únicas en el mundo.

Hoy por hoy vivimos en un mundo de vertiginosos cambios, cambios constantes, cambios a los cuales nos tenemos que adaptar, cambios que requieren reaccionar rápida y oportunamente. Charles Darwin decía, que no es la especie más fuerte la que sobrevivirá, ni la más inteligente, sino aquellas que respondan mejor al cambio.

Sintetizando diremos en la importancia del problema, que se debe considerar un sistema de referencia para comprender el cambio climático en la Tierra. Considerando como sistema de referencia el punto vernal para estudiar la Tierra y su comportamiento climático.

CAPITULO I

MOVIMIENTO DE LA TIERRA Y SISTEMAS DE COORDENADAS

1.0.- Galaxia-Vía Láctea y la Tierra

El Universo está constituido por todas las galaxias conectadas entre sí formando cúmulos. Una galaxia es un sistema masivo de estrellas, nubes de gas, planetas, polvo, materia oscura, unidos gravitacionalmente. La cantidad de estrellas que forman una galaxia es variable, desde las enanas, con 10^7 , hasta las gigantes, con 10^{12} estrellas (según datos de la NASA del último trimestre del 2009). Formando parte de una galaxia existen subestructuras como las nebulosas, los cúmulos estelares y los sistemas estelares múltiples.

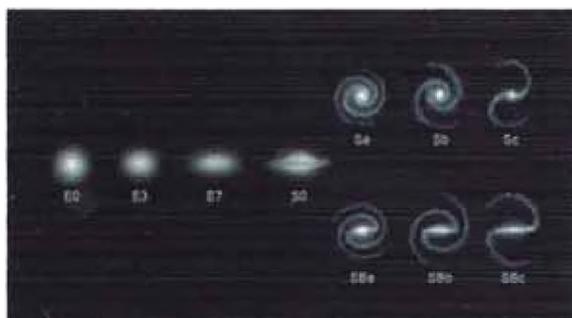


Fig.1.1, Tipos de galaxias de acuerdo al esquema de clasificación de Hubble.

Nuestra galaxia, la **Vía Láctea** es una galaxia espiral en la que se encuentra el sistema solar y, por ende, la Tierra. Según las observaciones, posee una masa de 10^{12} masas solares y es una espiral barrada; con un diámetro medio de unos 100.000 años luz, se calcula que contiene entre 200 mil millones y 400 mil millones de estrellas. La distancia desde el Sol hasta el centro de la galaxia es de alrededor de 27.700 años luz (8,5 kpc, es decir, el 55 por ciento del radio total galáctico). La Vía Láctea forma parte de un conjunto de unas cuarenta galaxias llamado Grupo Local, y es la segunda más grande y brillante tras la Galaxia de Andrómeda (aunque puede ser la más masiva).

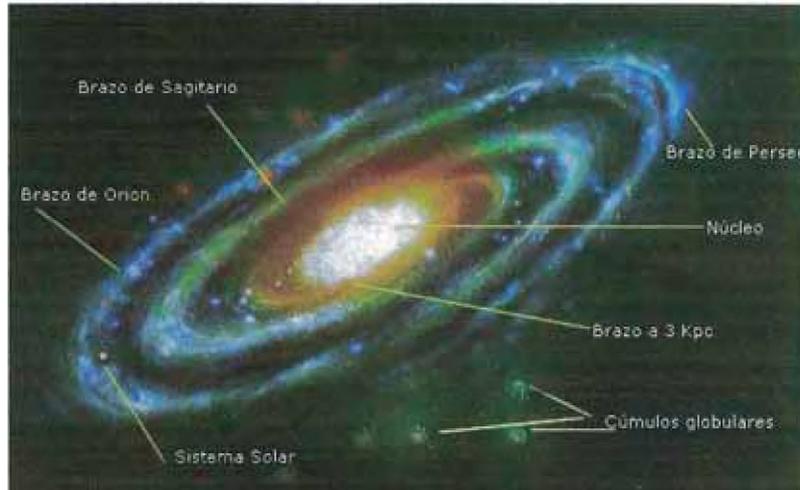


Fig.1.2. El Sistema Solar está en uno de los brazos de la espiral, a unos 30.000 años luz del centro y unos 20.000 del extremo.

El nombre *Vía Láctea* proviene de la mitología griega y en latín significa *camino de leche*. Ésa es, en efecto, la apariencia de la banda de luz que rodea el firmamento, y así lo afirma la mitología griega, explicando que se trata de leche derramada del pecho de una diosa. Sin embargo, ya en la Antigua Grecia un astrónomo sugirió que aquel haz blanco en el cielo era en realidad un conglomerado de muchísimas estrellas. Se trata de Demócrito (460 a. C. 370 a. C.), quien sostuvo que dichas estrellas eran demasiado tenues individualmente para ser reconocidas a simple vista. Su idea, no obstante, no halló respaldo, y tan sólo hacia el año 1609 de la era común, el astrónomo Galileo Galilei haría uso del telescopio para observar el cielo y constatar que Demócrito estaba en lo cierto, ya que adondequiera que mirase, aquél se encontraba lleno de estrellas.

1.0.1.- Constelación

Una constelación, en astronomía, es una agrupación convencional de estrellas cuya posición en el cielo nocturno es aparentemente tan cercana que los astrónomos de las civilizaciones antiguas decidieron vincularlas mediante líneas imaginarias, ideando así figuras sobre la bóveda celeste. A partir de 1928, la Unión Astronómica Internacional (UAI) decidió reagrupar oficialmente la esfera celeste en 88 constelaciones con límites precisos, tal que todo punto en el cielo quedara dentro de los límites de una figura. Estas fronteras utilizan como guía las líneas de declinación y ascensión recta para la época 1875,0. El trabajo de delimitación definitiva de las constelaciones fue llevado a cabo fundamentalmente por el astrónomo belga Eugène Joseph Delporte y publicado por la UAI en 1930. Desde entonces, y debido a la precesión (el desplazamiento del eje de la Tierra con respecto a las estrellas), esos límites se han desplazado, pero el área cubierta por cada signo se ha mantenido igual.

De las 88 constelaciones adoptadas por la UAI, casi la mitad provienen de la imaginación de los astrónomos griegos. El Zodíaco, dividido en doce constelaciones, surgió en Babilonia durante el reinado de Nabucodonosor II siglo VI a. C., vinculado a las doce lunaciones anuales. Lo adoptará la cultura griega, dándole a las constelaciones los actuales nombres. El Zodíaco.- es una zona limitada por dos planos paralelos a la Eclíptica, cuya distancia angular es 16° . La palabra zodiaco procede del griego y significa "Casa de

animales", por alusión a los nombres de las doce constelaciones. Todos los planetas (excepto Plutón) tienen órbitas cuya inclinación respecto de la Eclíptica es menor de 8° , por lo que dentro del zodiaco se mueven los planetas del Sistema Solar, así como los asteroides o planetas menores.



Fig.1, 3. Constelación de Aquarius

1.0.2.- Sistema Planetario Solar

El sistema planetario solar, está formado por una única estrella llamada sol, que da nombre a este sistema, más ocho planetas que orbitan alrededor de la estrella: mercurio, venus, la tierra, marte, júpiter, saturno, urano y neptuno; más un conjunto de otros cuerpos menores: planetas enanos (plutón, eris, makemake, haumea y ceres), asteroides, satélites naturales, cometas... así como el espacio interplanetario comprendido entre ellos. La Tierra, nuestro planeta posee una aceleración de la gravedad igual a $9,78 \text{ m/s}^2$, su masa es de $5,7 \times 10^{24}$ se encuentra ubicado a una distancia al sol de 149 600 000 kilómetros. La atmósfera está compuesta por diversos elementos los cuales son Nitrógeno (77%), Oxígeno (21%) y otros elementos que llegan a representar el 2% restante. Como todos sabemos, nuestro planeta demora aproximadamente 24 horas en girar sobre su propio eje (para ser más exactos lo hace en 23,93 horas), mientras que tarda 365,256 días en gira en movimiento traslacional respecto del sol.

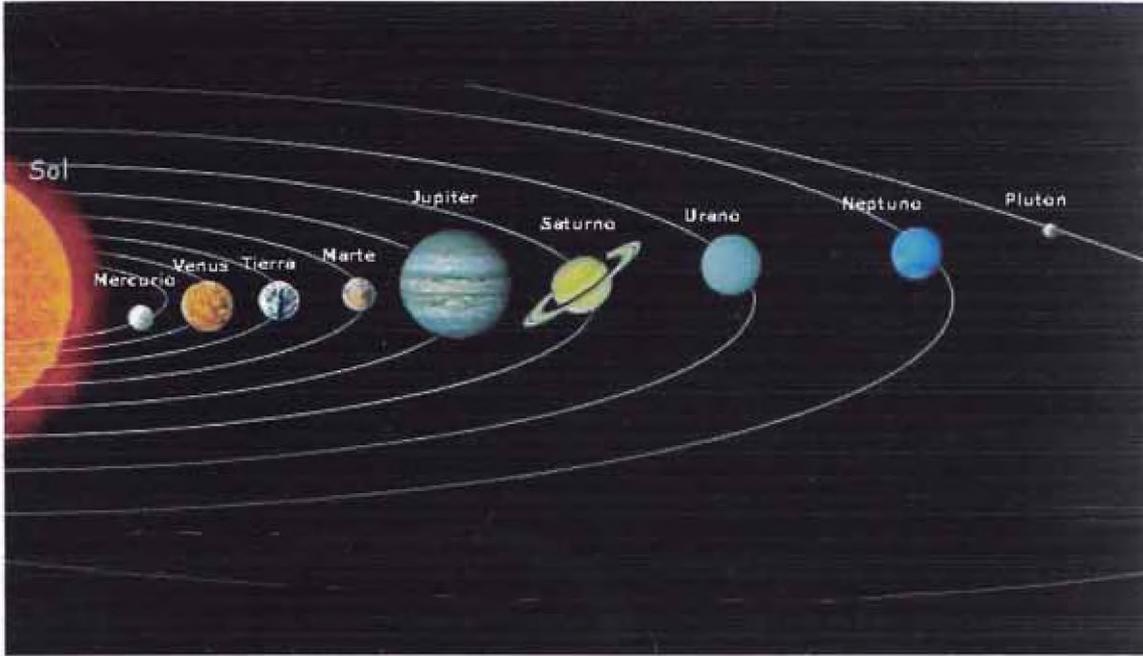


Fig.1.4. Sistema planetario solar y la Tierra

1.1- Movimientos de la Tierra

La Tierra, está sometida a más de diez movimientos de diversa índole. Los principales movimientos de la Tierra son los movimientos de rotación, traslación, precesión y nutación.

1.1.1.- Movimiento de rotación

Es un movimiento que efectúa la Tierra girando sobre sí misma a lo largo de un eje ideal denominado Eje terrestre que pasa por sus polos. Una vuelta completa, tomando como referencia a las estrellas, dura 23 horas con 56 minutos y 4 segundos y se denomina día sidéreo. Si tomamos como referencia al Sol, el mismo meridiano pasa frente a nuestra estrella cada 24 horas, llamado día solar, los 3 minutos y 56 segundos de diferencia se deben a que en ese plazo de tiempo la Tierra ha avanzado en su órbita y la Tierra debe de girar algo más que un día sidereal para quedar frente al Sol. La primera referencia tomada por el hombre fue el Sol, cuyo movimiento aparente, originado en la rotación de la Tierra, determina el día y la noche, dando la impresión que el cielo gira alrededor del planeta. Los parámetros de rotación de la tierra no pueden descubrirse mediante la teoría, pero debe determinarse mediante observaciones reales por un tiempo internacional y latitud de servicio. Por los últimos 80 años este servicio se basó principalmente en observaciones astronómicas.

A principios de los años setenta del pasado siglo, se produjo otro desarrollo técnico e instrumental que habría de producir avances extraordinarios en nuestros conocimientos acerca de una serie de fenómenos geodésicos y geofísicos de escala global, ligados a la rotación de la Tierra. Nos estamos refiriendo al desarrollo de las técnicas radioastronómicas de la Interferometría de Muy Larga Base, más conocidas por sus siglas en inglés, como

técnicas de VLBI (Very Long Baseline Interferometry). En esta técnica, radiotelescopios situados a distancias de miles de kilómetros (emplazados incluso en distintos continentes) observan simultáneamente una misma radiofuente celeste, obteniéndose imágenes de la estructura de la misma con una resolución angular (fracciones de milisegundo de arco) inalcanzable por cualquier otra técnica observacional utilizada en Astronomía.

Utilizando estas técnicas de VLBI, se han puesto de manifiesto observacionalmente, y medido con una gran precisión (del orden de 1 cm), una serie de fenómenos geodésicos y geofísicos de escala global imposibles de evidenciar por otras técnicas. Se han producido así conocimientos fundamentales sobre la tectónica de placas y la rotación de la Tierra que constituyen una de las aportaciones científicas más impresionantes de entre las muchas que se han realizado el pasado siglo.

En lo que a la rotación de la Tierra se refiere, las técnicas de VLBI han permitido determinar con una gran precisión y, lo que es muy importante, en tiempos de observación muy corto de minutos u horas (lo que para el tipo de fenómenos estudiados puede considerarse en tiempo real) los dos parámetros fundamentales de la misma, ésta es, la velocidad de giro (tiempo universal UT1) y la orientación del eje de giro (movimiento de los polos). Se han abierto así nuevos campos de estudio en las Ciencias de la Tierra que han venido a demostrar la influencia sobre el giro de la Tierra de determinados fenómenos atmosféricos, oceánicos y de la corteza sólida, o a establecer la relación que tiene el acoplamiento del giro del núcleo interno sólido de la Tierra (de unos 2.000 km de diámetro) con el giro de las capas más externas, y que se manifiesta por el movimiento de los polos observado mediante VLBI.

El uso de las técnicas de VLBI para una observación continua durante varios años de la rotación de la Tierra con vistas a proveer a la comunidad científica internacional de un banco de datos de una calidad, precisión y extensión ininterrumpida en el tiempo sin precedentes, permitirá estudiar la respuesta integral de nuestro planeta a los distintos procesos de intercambio de fuerzas ligadas a la rotación (momentos) tales como fuerzas gravitacionales externas, mareas oceánicas y terrestres, distribución de vientos y masas atmosféricas, acontecimientos episódicos como los terremotos (ver figura 1.5), etc.

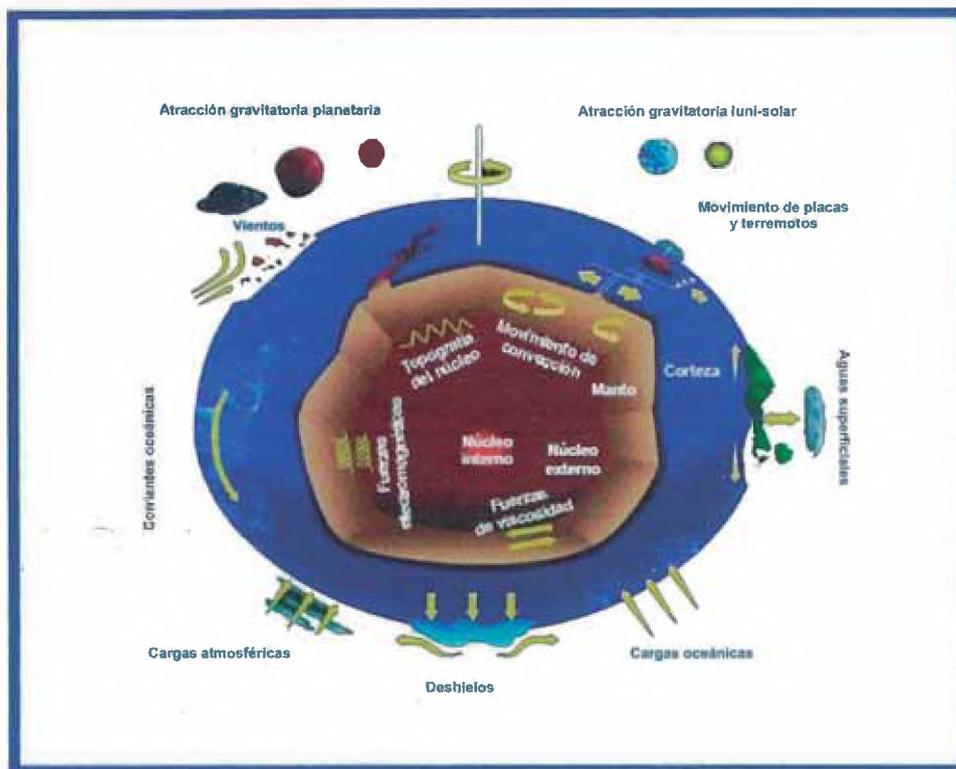


Fig. 1.5. La Tierra y los distintos procesos internos y externos de intercambio de fuerzas ligadas a la rotación

1.1.2.-Bamboleo de Chandler

Se trata de una pequeña oscilación del eje de rotación de la tierra que añade 0,7 segundos de arco (cerca de 15 metros sobre la superficie de la Tierra) en un período de 435 días. Fue descubierto por el astrónomo norteamericano Seth Carlo Chandler en 1891, Pero hoy aún no estamos muy seguros de cuál es su causa, aunque se han propuesto varias teorías (fluctuaciones climáticas causantes de cambios en la distribución de la masa atmosférica, posibles movimientos geofísicos bajo la corteza terrestre, etc.). Una idea bastante extendida es que el período de Chandler es estimulado por los terremotos. Algunas hipótesis recientes son las siguientes: Büsse, sugirió que la precesión del núcleo interno de la Tierra podía acoplarse aun movimiento del manto mediante fuerzas de presión que aparecerían a causa de su forma elipsoidal, y de esta manera excitarían el período de Chandler. El Jet Propulsion Laboratory (el 18 julio 2000) anunció que "la causa principal del bamboleo de Chandler es la fluctuación de la presión sobre la parte inferior del océano, causado por la temperatura y cambios de salinidad y cambios en la deriva de los vientos en la circulación de los océanos."

En la figura 1.6 se observa claramente que una parte de la variación tiene un período exactamente de un año, y esto puede explicarse perfectamente por los movimientos estacionales de la atmósfera. El resto, que es a lo que llamamos período de Chandler, tiene una duración que se extiende entre 13 y 15 meses.

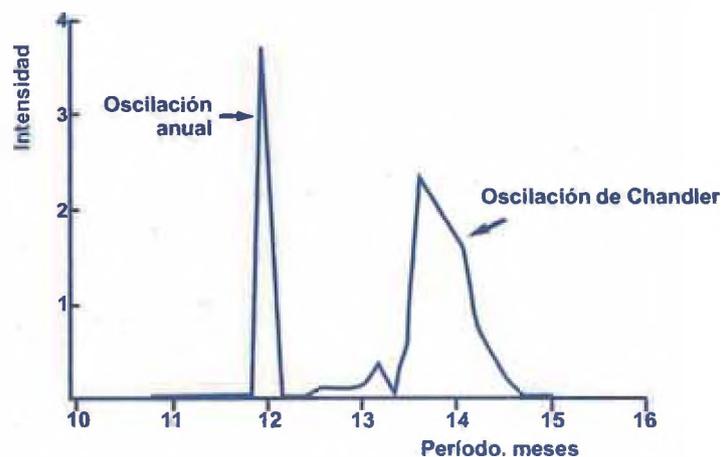


Fig. 1.6. Este gráfico muestra cómo la energía de la variación de la latitud se extiende en una banda de tiempo (oscilación de Chandler). Se obtuvo de los análisis de observaciones del Servicio Internacional de latitudes entre 1900 y 1954.

1.1.3.- Movimiento de traslación

Es un movimiento por el cual la Tierra se mueve alrededor del Sol. La causa de este movimiento es la acción de la gravedad, originándose cambios que, al igual que el día, permiten la medición del tiempo. Tomando como referencia el Sol, resulta lo que se denomina año tropical, lapso necesario para que se repitan las estaciones del año. Dura 365 días, 5 horas y 47 minutos. El movimiento que describe es una trayectoria elíptica de 930 millones de kilómetros, a una distancia media del Sol de prácticamente 150 millones de kilómetros ó 1 U.A. (Unidad Astronómica: 149.675.000 km). De esto se deduce que el planeta se desplaza con una rapidez media de 106.200 kilómetros por hora (ó 29,5 kilómetros por segundo, que es lo mismo).

El Sol ocupa uno de los focos de la elipse y, debido a esta excentricidad, la distancia entre el Sol y la Tierra varía a lo largo del año. A primeros días de enero se alcanza la máxima proximidad al Sol, produciéndose el perihelio, donde la distancia es de 147,5 millones de km.; mientras que en los primeros días de julio se alcanza la máxima lejanía, denominado afelio, donde la distancia es de 152,6 millones de km.

La Tierra, en su movimiento anual alrededor del Sol, provoca distintos tipos de iluminación. Los dos extremos contrarios de iluminación terrestre son los solsticios de verano e invierno, siendo los equinoccios de primavera y otoño idénticos en cuanto a iluminación terrestre (ver figura 1.7 y 1.8).

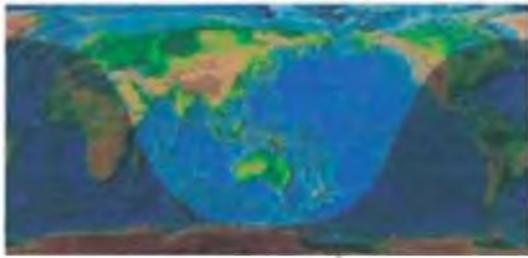


Fig. 1.7. Iluminación del Ártico desde el 21 marzo al 23 de setiembre

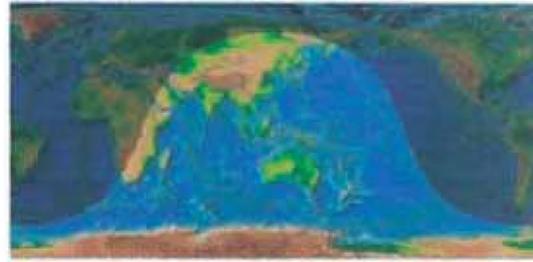


Fig.1.8. Iluminación de la Antártida desde setiembre al 21 de marzo

1.1.4.- Movimiento de nutación

El eje de rotación de la Tierra y su plano ecuatorial no son fijos en el espacio, pero rotados con respecto a un sistema inercial, esto resulta de la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol en el Pandeo Ecuatorial de la Tierra. El movimiento total esta compuesto de un significativo componente secular (Precesión) y un componente periódico (Nutación). Como la Tierra no es esférica, sino achatada por los polos, la atracción de la Luna sobre el abultamiento ecuatorial de la Tierra provoca el fenómeno de nutación. (Del lat. *nutatio*, *ōnis*, bamboleo), que es una oscilación periódica del eje de la Tierra en un periodo de 18,6 años, ver figura 1.9

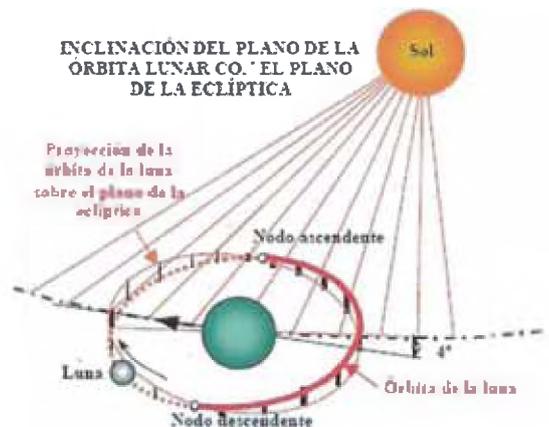


Fig. 1.9. Movimiento de nutación

1.1.5.- Variaciones orbitales

La relación entre los ciclos orbitales de la Tierra con los Cambios Climáticos comenzaron a ser estudiados por el matemático francés Joseph Adhemar en 1842, y el escocés James Croll en 1860 mencionado en su libro *El clima y las épocas*, Estos dos científicos fueron los primeros en comprender y estudiar el problema.

Posteriormente Milutin Milankovitch (1879-1958), astrofísico serbio, fue otro de los visionarios en desarrollar teorías relativas al movimiento de la Tierra y sus influencias a

largo plazo en los cambios climáticos. Dedicó su carrera a desarrollar teorías matemáticas del clima, basadas en la variación de estaciones y latitud, dependiendo de la radiación solar recibida por la Tierra. La Teoría de Milankovitch se basa en tres magnitudes básicas de la órbita de la Tierra:

1.1.5.1.- Precesión del eje de la Tierra

El fenómeno de la precesión de los equinoccios es conocido desde hace más de veinte siglos por la humanidad. Fue el astrónomo y matemático griego Hiparco quien, hacia el año 130 a. de J.C., logró deducir la existencia de un desplazamiento secular del punto Aries, origen de medida del sistema de coordenadas ecuatoriales y eclípticas, a lo largo de la eclíptica y en sentido retrógrado, a razón de $50",3$ por año. El origen de este fenómeno reside en última instancia en la ley de atracción universal de Newton. La Tierra, como casi todos los cuerpos del Sistema Solar, resulta no ser perfectamente esférica, mostrando un ligero achatamiento por los polos.

Como consecuencia, el Sol y la Luna (ver figura 1.10) ejercen un par gravitatorio sobre la Tierra, es decir, el eje de rotación de la misma tiende a desplazarse, lo que, unido al propio movimiento rotatorio de la Tierra, proporciona a este eje un movimiento circular alrededor del eje de la eclíptica, semejante al de una peonza. En definitiva, el eje de la Tierra o eje del mundo, que define el polo Norte y Sur celestes, traza sobre la esfera celeste un círculo con centro en el polo de la eclíptica. El período de este movimiento circular es igual a 26.000 años. (Para hallar este valor, divida el lector $360'$ expresados en segundos de arco entre $50",3$).

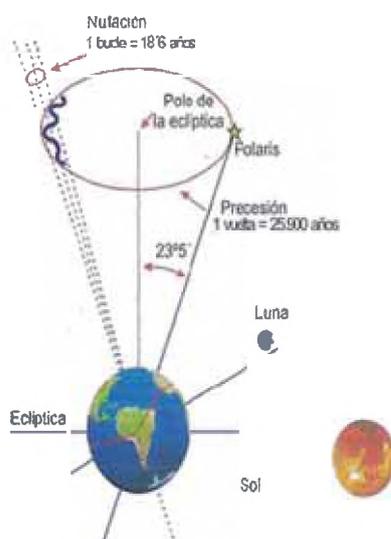


Fig. 1.10. Movimientos de la precesión de los equinoccios y de nutación.

Este movimiento del eje del mundo se denomina precesión de los equinoccios. Alternativamente, podemos decir que el punto Aries, una de las intersecciones de la eclíptica con el ecuador celeste, efectúa un desplazamiento a lo largo de la eclíptica; de ahí el añadido «de los equinoccios» a la palabra «precesión», más general. Sea como fuere, es fácil intuir que, debido a este efecto, el sistema de coordenadas ecuatoriales se desplaza con

respecto al fondo de estrellas y, como resultado, las coordenadas ecuatoriales de una estrella varían con el tiempo, si bien en ligera magnitud.

Debido a la precesión de los equinoccios se dan las siguientes consecuencias:

1) La posición del polo celeste va cambiando a través de los siglos. Actualmente la estrella Polar (se llama así porque está cerca del Polo Celeste), a Umi, es una estrella que no coincide exactamente con el Polo Norte Celeste, siendo la distancia de la Polar al Polo de aproximadamente 1° , se irá aproximando hasta el año 2015 llegando a una distancia de $30'$, luego se alejará paulatinamente describiendo un inmenso círculo para volver un poco cerca de su posición actual después de transcurrir 25.765 años.

2) El desplazamiento de la retícula de coordenadas astronómicas (ascension recta, A.R. y declinación, D) respecto a las estrellas. El Punto Aries y las coordenadas de las estrellas varían continuamente.

3) El lento pero continuo deslizamiento que tiene lugar entre las constelaciones y los signos zodiacales, que vinculados a las estaciones siguen a la Tierra en su movimiento. Mientras que ahora, durante las noches invernales, observamos algunas constelaciones como Tauro y Géminis, el Sol se encuentra en las constelaciones estivales como Escorpio y Sagitario. Bien, dentro de 13.000 años en las noches de invierno se observarán a Escorpio y Sagitario mientras que el Sol se encontrará en las constelaciones como Tauro y Géminis, constelaciones que se habrán convertido en estivales. Veamos un dibujo de este movimiento.

1.1.5.2.- Oblicuidad

La oblicuidad es el ángulo de inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto a la vertical. Actualmente la inclinación es de $23^\circ 26' 24''$, fluctuando esta desviación entre $21,5^\circ$ y $24,5^\circ$ a lo largo de un período de 40 000 años. Al aumentar el ángulo de inclinación, las estaciones resultan mas extremas, en ambos hemisferios, y se producen veranos más cálidos e inviernos más fríos. La Agencia Espacial Italiana (ASI) informó que el terremoto de $9,15^\circ$ en la escala de Richter registrado el 26 de diciembre de 2004 en el sudeste asiático (Sumatra) modificó de modo considerable la inclinación del eje de rotación terrestre. El eje alrededor del cual gira el planeta se desplazó unos cinco o seis centímetros lineales, ver figura 1.11.



Fig. 1.11. Oblicuidad de la Tierra

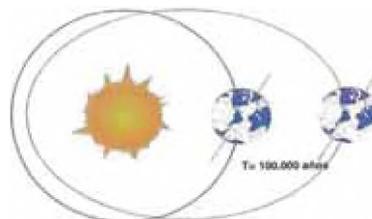


Fig.1.12. Excentricidad de la Tierra

1.1.5.3.- Excentricidad orbital

La excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del Sol es una medida de la elipse; si la órbita es más elíptica, la excentricidad es mayor. Es la desviación de la órbita respecto a una circunferencia perfecta que tendría $E=0$. La excentricidad actual es $E = 0,017$ (ver figura 1.12). La excentricidad tiene un periodo aproximado de 100 000 años (100 K). Cuanto mayor es la excentricidad, mayor es la diferencia entre la máxima y mínima distancia de la Tierra al Sol, lo que intensifica el efecto de la precesión. También es de notar que al cambiar la excentricidad varía la insolación global, lo que modifica la temperatura media. La diferencia entre máximo y mínimo es de un 3%, es decir, unos 5 millones de kilómetros en el lugar más próximo llamado *perihelio*, el cual ocurre cerca del 3 de Enero, y la parte más alejada se produce aproximadamente el 4 de Julio y se denomina *afelio*. Cuando la órbita es altamente elíptica, la cantidad de insolación recibida en el perihelio puede llegar a ser del orden de un 20 a 30 por ciento mayor que durante el afelio.

1.2.- Sistemas de Coordenadas Celestes

1.2.1.- La eclíptica y el punto Aries

La trayectoria que sigue el sol en la esfera celeste recibe el nombre de Eclíptica. Esta Trayectoria en la esfera celeste es un círculo máximo que forma con el ecuador celeste un ángulo de $23^{\circ} 27'$ llamado inclinación del Sol u oblicuidad de la Eclíptica. La denominación de Eclíptica proviene del hecho de que los eclipses solo son posibles cuando la Luna se encuentra sobre la Eclíptica o muy próximo a ella, es decir en los llamados nodos. En la Eclíptica destacan cuatro puntos importantes:

- Los 2 Equinoccios

El plano ecuatorial es uno de lo más importante en astronomía, este intersecta el plano de la eclíptica y nos da un punto de referencia en el espacio, por el cual nosotros podemos medir la posición de las estrellas. Este plano también divide la tierra en mitades, el mitad norte será el hemisferio norte, la otra mitad será el hemisferio sur. La intersección de estos planos es una línea, el cual por conveniencia nosotros podemos llamarlo la línea de los equinoccios. La definición real del equinoccios es el punto sobre la esfera celeste, el cual intersecta esta línea, pero desde la esfera celeste es una esfera imaginaria con cualquier tamaño, los equinoccios son realmente líneas. También, también para algunos propósitos e ilustraciones, esto es más conveniente pensar de los equinoccios como una línea extendida en el espacio. Para otros propósitos, esto es conveniente pensar de los equinoccios como dirección (ver figura 1.13).

- Aproximadamente el 21 de marzo ($AR = 0^{\circ}$ y $D = 0^{\circ}$), cuando el Sol cruza el ecuador celeste, iniciándose la primavera en el hemisferio norte y el otoño en el hemisferio sur. El Sol se encuentra en dicho día en el llamado Punto Aries. Este punto no es un punto fijo, se mueve sobre la esfera celeste sometido principalmente al movimiento de Precesión y en menor medida al movimiento de Nutación

- Aproximadamente el 22 de septiembre ($AR = 180^\circ$ y $D = 0^\circ$), el Sol corta al ecuador celeste en la posición del Punto Libra

- Los 2 Solsticios

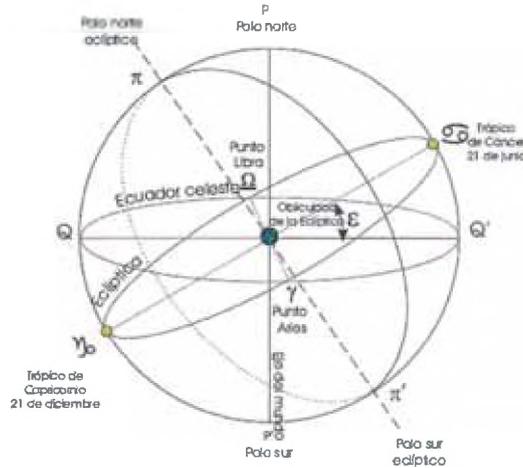


Fig 1.13 . Los equinoccios y los solsticios.

La figura 1.14, muestra las diferentes fechas de ingreso del equinoccio vernal en el calendario gregoriano acordado con la inserción del año bisiesto, desde 1960 hasta 2040, comprendidos entre el 20 y 21.4 de marzo.

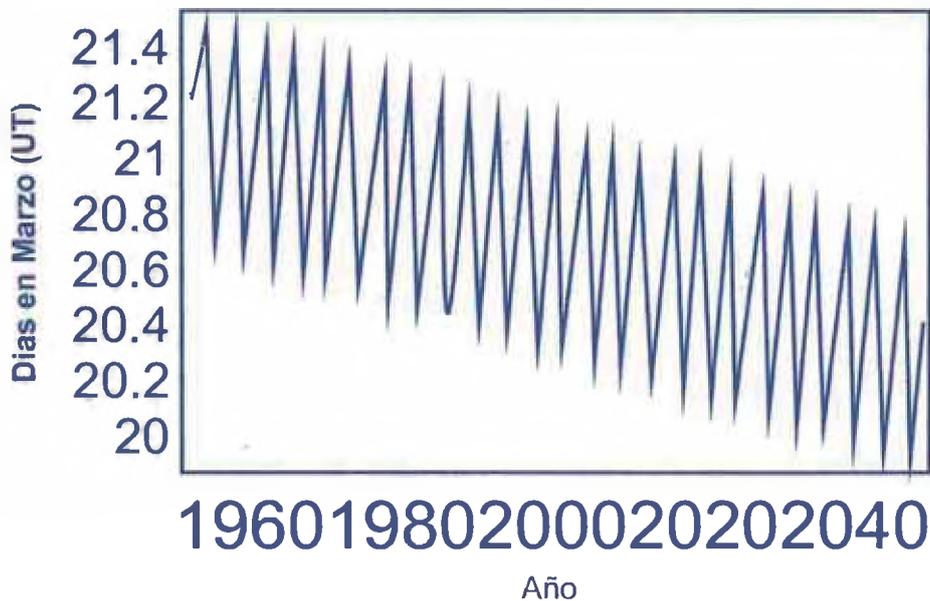


Fig. 1.14.- Diferentes días de ingreso del punto vernal desde 1960 - 2040

En la Tabla 1.15, se muestra la hora de entrada en tiempo universal (TU) del punto vernal desde 1980 hasta el 2009 calculado con el software mathematica, encontrándose un error de 15 minutos calculado por el U.S. Naval Observatory

Tabla 1.15. Ingreso del punto vernal en Tiempo Universal desde 1980 -2009

Fecha	UT	Fecha	UT	Fecha	UT
03-20-1980	11:05	03-20-1990	21:15	03-20-2000	07:25
03-20-1981	16:54	03-21-1991	03:04	03-20-2001	13:14
03-20-1982	22:43	03-20-1992	08:53	03-20-2002	19:03
03-21-1983	04:32	03-20-1993	14:42	03-21-2003	00:52
03-20-1984	10:21	03-20-1994	20:31	03-20-2004	06:41
03-20-1985	16:10	03-21-1995	02:20	03-20-2005	12:30
03-20-1986	21:59	03-20-1996	08:09	03-20-2006	18:19
03-21-1987	03:48	03-20-1997	13:58	03-21-2007	00:08
03-20-1988	09:37	03-20-1998	19:47	03-20-2008	05:57
03-20-1989	15:26	03-21-1999	01:36	03-20-2009	11:46

1.3.- Relación entre Coordenadas Terrestres y Celestes

Los sistemas de coordenadas astronómicas se utilizan para localizar objetos en el cielo, de la misma forma en que la latitud y longitud se utilizan para localizar puntos de la superficie terrestre. En cualquier sistema de coordenadas astronómicas se utiliza un plano como referencia básica para determinar puntos posicionales. Cuando el plano del ecuador terrestre se extiende hacia la esfera celeste, se forma el ecuador celeste. Uno de los puntos de intersección entre el ecuador celeste y la *eclíptica* (el plano aparente de revolución del Sol en el cielo), se denomina el *Primer Punto de Aries, Equinoccio Vernal o Punto Vernal* (γ) Forman un sistema de coordenadas astronómicas la Ascensión Recta y la declinación. **La Ascensión Recta (AR):** Es el ángulo medido desde el punto vernal hasta la proyección del objeto sobre el ecuador celeste; este ángulo se mide en *horas: minutos: segundos* a lo largo del ecuador celeste en sentido contrario a las agujas del reloj. Es importante notar que la Ascensión Recta aumenta hacia el Este. Y la **Declinación (δ):** Es la separación angular de una estrella respecto al plano ecuatorial. Esta separación es independiente de la rotación de la Tierra. Se mide en grados, desde -90° en el polo sur celeste hasta $+90^\circ$ en el polo norte celeste. La ascensión recta (AR) y la declinación (δ) son análogas a la longitud y latitud terrestres respectivamente. Por ejemplo la declinación celeste -11.5° sur, corresponde aproximadamente a la latitud 11.5° sur. (ver figura 1.16 y 1.17). Precesionalmente, esta declinación celeste marca aproximadamente el inicio de la constelación de Aquarius.

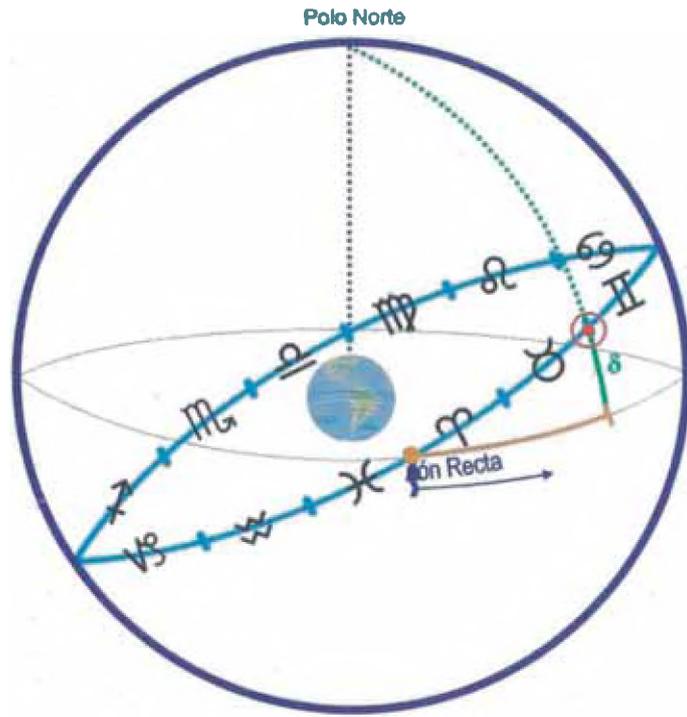


Fig. 1.16 Sistema de coordenadas astronómicas: Ascensión Recta (AR) y Declinación (δ) Norte

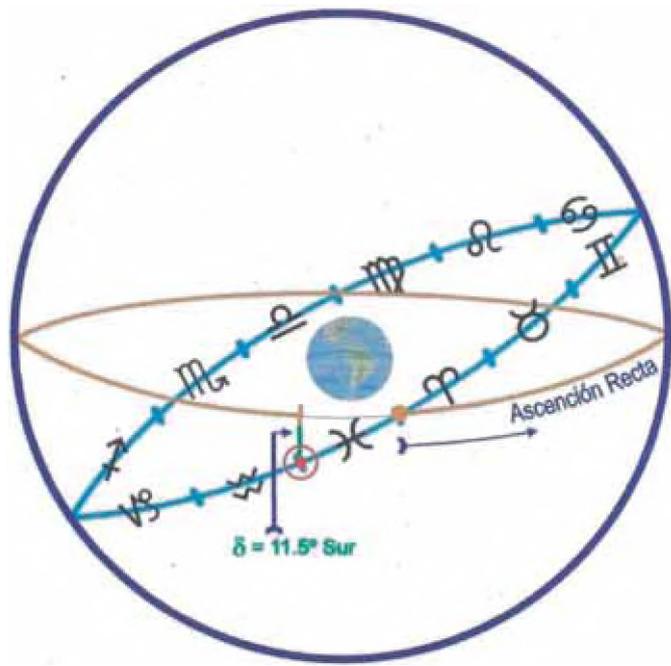


Fig. 1.17. Sistema de coordenadas astronómicas: Ascensión Recta (AR) y Declinación (δ) Sur

CAPÍTULO II

GEOMAGNETISMO Y EL ECUADOR MAGNETICO

2.1 Elementos del Campo Geomagnético

En cualquier punto de la Tierra, si dejamos una aguja magnética libre, de manera que pueda girar no sólo en el plano horizontal, sino también en el vertical, ésta toma una dirección definida por la del vector F (que indica la presencia del campo magnético de la Tierra), el cual se define por tres elementos: intensidad de la componente horizontal H , su declinación D con respecto al norte y la intensidad en la componente vertical Z . El campo magnético de la tierra está descrito por siete parámetros y estos son: declinación (D), inclinación (I), intensidad horizontal (H), intensidad vertical (Z), intensidad total (F), y la componente norte (X) y la componente este (Y) de la componente horizontal (ver figura 2.1).

El campo geomagnético de la tierra se parece al campo generado por un dipolo magnético (i.e. un imán recto en el polo norte y sur) ubicado en el centro de la tierra y el eje del dipolo es compensado desde el eje de rotación de la Tierra aproximadamente 11 grados. Esto significa que los polos norte y sur geográfico y el polo norte y sur magnético no están ubicados en el mismo lugar. En cualquier lugar el campo magnético es caracterizado por una dirección y una intensidad que puede ser medido.

Los polos geomagnéticos son localizados en el área donde las líneas de fuerza son perpendiculares a la superficie de la tierra, la ubicación actual de los polos magnéticos son:

78.5 grados N y 103.4 grados W cerca a la isla Ellef Rignes- Canada
65.0 grados S y 139.0 grados W en la bahía Commonwealth-Antartida

El campo magnético de la Tierra esta descrito por 7 parámetros y estos son: declinación (D), inclinación (I), intensidad horizontal (H), intensidad vertical (Z), intensidad total (F) y la componente norte (X) y la componente este (Y) de la componente horizontal (ver figura 2.1).

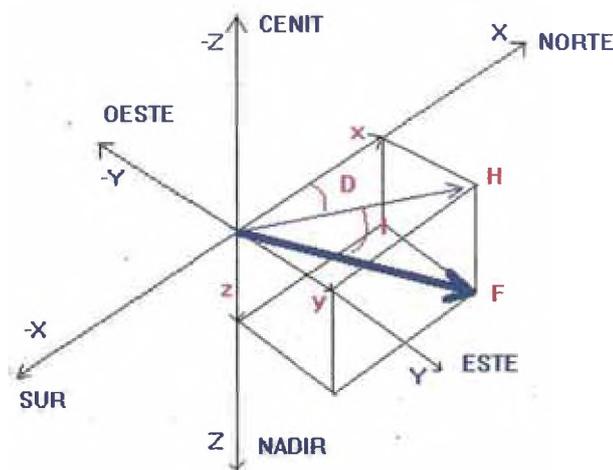


Fig.2. 1. Definición y convención de signos para los elementos geomagnéticos.

Los elementos geomagnéticos relacionados entre si a través de las ecuaciones tenemos:

$$H = F * \text{Cos}(I) \quad Z = F * \text{Sen}(I) = H * \text{Tan}(I) \quad X = H * \text{Cos}(D) \quad Y = H * \text{Sen}(D)$$

$$X^2 + Y^2 = H^2 ; X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2 = F^2$$

D e I son medidos en grados y minutos. Los otros elementos, X, Y, Z, H y F, son medidos en nanotesla (nT)

2.2 Geomagnetismo

El campo magnético terrestre que para los andinos es el Amaru, la fuerza que surge del interior de la tierra, fue descubierto en el siglo XII por los chinos, quienes inventaron un sencillo instrumento, la brújula, con la cual se puede ubicar el Norte, incluso en la noche más cerrada. Durante cuatro siglos, los navegantes usaron la pequeña aguja sin preguntarse cómo ni por qué funcionaba. En 1600 el inglés William Gilbert, médico de la reina Isabel I, propuso que la Tierra era un gran imán esférico. Aparte de este genial apunte, Gilbert no daba más luces sobre el fenómeno. La ciencia debió esperar otros 250 años, hasta que el matemático alemán Karl Friedrich Gauss publicara su *Teoría General del Magnetismo* (1846), obra que inicia el estudio moderno del magnetismo terrestre.

La gran mayoría de los términos y ecuaciones propuestos por Gauss siguen vigentes. Hoy conocemos con precisión las manifestaciones del campo magnético terrestre, pero no podemos explicar con certeza su origen ni la causa de sus variaciones en el tiempo, especialmente aquellas que ocurren en el tiempo geológico. Es en el interior de la Tierra, entre los tres y cinco mil kilómetros de profundidad, que el metal fundido se mueve en pesadas corrientes, generadas por la rotación de la Tierra. Éste podría ser el origen del magnetismo básico del planeta. A éste se superponen pequeñas variaciones producidas por corrientes ionosféricas y el efecto de chorro de partículas ionizadas, es decir, el viento solar, provenientes del Sol. Además de las variaciones de muy largo plazo, de las variaciones diurnas y otras producidas por el Sol, el geomagnetismo registra cambios significativos en el curso de las décadas, que se denominan *variaciones seculares*.

Desde el siglo XV, los navegantes han tomado nota de la diferencia entre el norte magnético y el norte geográfico. En Sudamérica los primeros registros de esta diferencia, llamada declinación magnética, datan del siglo XVI. Los exploradores científicos de los siglos XVIII y XIX hicieron registros sistemáticos en el mar y tierra adentro. Alexander von Humboldt (1759-1859), padre de la geografía moderna, pasó por el Perú en 1802 y ubicó el ecuador magnético en Micuipampa, cerca de Cajamarca en la latitud 7° Sur. El matemático Gauss (1777-1855) usó el registro obtenido por Humboldt en Micuipampa como unidad básica de medida para su teoría general del magnetismo terrestre.

Así, el Perú ingresa inadvertidamente en el estudio de este fascinante fenómeno, y se convierte en el fundamento para confirmar la entrada del punto vernal a la constelación de Aquarius. La Institución Carnegie destinó grandes recursos al estudio del geomagnetismo. Sus científicos llegaron al Perú en el año 1917 atraídos por la cercanía del ecuador magnético y -quizás- siguiendo el noble sendero de Humboldt y Gauss. Pacchapampa, una

llanura a 14 kilómetros de Huancayo, cerca al pueblo de Huayao, fue elegida para levantar el Observatorio Magnético de Huancayo (OMH), que la Carnegie inauguró en marzo de 1922. Funciona hasta la actualidad, y desde 1948 bajo la dependencia del Instituto Geofísico del Perú. Merece anotarse lo expresado por A. Romaña y O. Cardenz, del Observatorio del Ebro, España: “Pocos hechos particulares habrán contribuido tanto al desarrollo del magnetismo terrestre como el establecimiento del Observatorio de Huancayo en el Perú”.

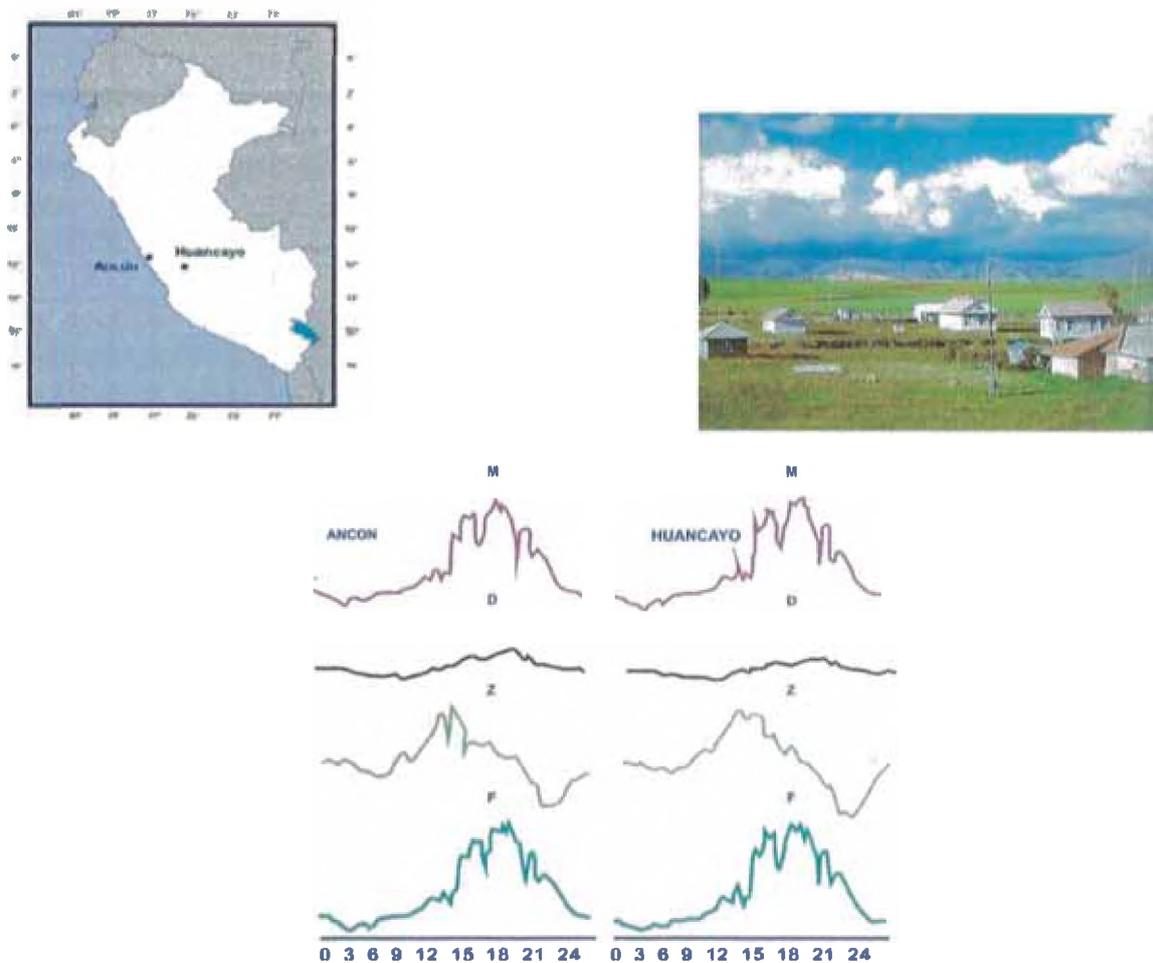


Figura 2.2. Ubicación y Registros de las Estaciones Magnéticas Huancayo (superior) y los valores de de las componentes H, D, Z y la Intensidad total F en la Estación Magnética de Ancón y el Observatorio permanente de Huancayo.

2.3 Referencia del Campo Geomagnético Internacional (IGRF)

Existen una serie de modelos para estudiar el comportamiento del campo magnético de la Tierra, utilizaremos el IGRF (International Geomagnetic Reference Field) es una serie de modelos matemáticos del campo magnético principal y de su variación secular. Cada modelo

consiste en un conjunto de coeficientes de armónicos esféricos o de Gauss, los g's y h's en una expansión de series del potencial geomagnético.

$$V = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (a/r)^{n+1} (g_n^m \cos(m * \phi) + h_n^m \sin(m * \phi)) * P_n^m \cos(\theta)$$

donde a es el radio promedio de la Tierra (6372.2 km); r es la distancia radial desde el centro de la Tierra; ϕ es la longitud este medido desde Greenwich; θ es la colatitud geocéntrica; y $P_n^m(\cos(\theta))$ es la función asociada de Legendre de grado n y orden m normalizada, de acuerdo con la convención de Schimdt (Langel,1987)

La Asociación Internacional del Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) da a conocer la 10ava Generación de la Referencia del Campo Geomagnético Internacional (IGRF), la última versión de una descripción matemática estándar del principal campo magnético de la Tierra y usado ampliamente en estudiar el interior de la Tierra, su corteza, su ionosfera y la magnetosfera.

Los coeficientes para este grado y orden 13 del modelo del campo principal fueron finalizado por el grupo de trabajo del IAGA en diciembre 2004. El IGRF es el producto de un esfuerzo cooperativo entre modeladores del campo magnético y las instituciones implicados en reunir los datos diseminados del campo magnético desde satélites y de observatorios e inspecciones alrededor del mundo. El programa de IGRF requiere de varios parámetros de entrada. Requiere la latitud y la longitud de la posición donde usted desean los valores del campo geomagnéticos.. Los elementos del campo, que pueden evaluar son:

- Declinación
- La intensidad horizontal del campo.
- Inclinación, el ángulo que el vector de campo hace con el horizontal, positivo abajo del horizontal.
- El componente del norte del campo.
- El componente Este del campo.
- El componente vertical del campo (positivo hacia abajo).
- La intensidad total del campo.

Resumen de las nomenclaturas de los IGRF

Nombre		Valido para	Definitivo para
GRF 10 th generación (revisado 2005)	IGRF-10	1900.0-2010.0	1945.0-2000.0
GRF 9 th generación (revisado 2003)	IGRF-9	1900.0-2005.0	1945.0-2000.0
GRF 8 th generación (revisado 1999)	IGRF-8	1900.0-2005.0	1945.0-1990.0
GRF 7 th generación (revisado 1995)	IGRF-7	1900.0-2000.0	1945.0-1990.0
GRF 6 th generación (revisado 1991)	IGRF-6	1945.0-1995.0	1945.0-1985.0
GRF 5 th generación (revisado 1987)	IGRF-5	1945.0-1990.0	1945.0-1980.0
IGRF 4 th generación (revisado 1985)	IGRF-4	1945.0-1990.0	1965.0-1980.0
IGRF 3 rd generación (revisado 1981)	IGRF-3	1965.0-1985.0	1965.0-1975.0
IGRF 2 nd generación (revisado 1975)	IGRF-2	1955.0-1980.0	-
IGRF 1 st generación (revisado 1969)	IGRF-1	1955.0-1975.0	-

2.4 El ecuador Magnético

El ecuador magnético (ver figura 2.3), donde la inclinación del campo es cero grados, actualmente atraviesa el continente sudamericano al sur del ecuador geográfico entre la latitud 11- 15 Sur. Se conocen los valores de I por mediciones esporádicas durante el siglo XVIII; a partir de 1802 las mediciones son cada vez más frecuentes y confiables. Con el establecimiento del Observatorio Magnético de Huancayo, en Perú en 1922, se cuenta con información precisa y continua. Se analiza el progresivo desplazamiento del ecuador magnético desde 1712 en Perú y el Mundo desde 1900.

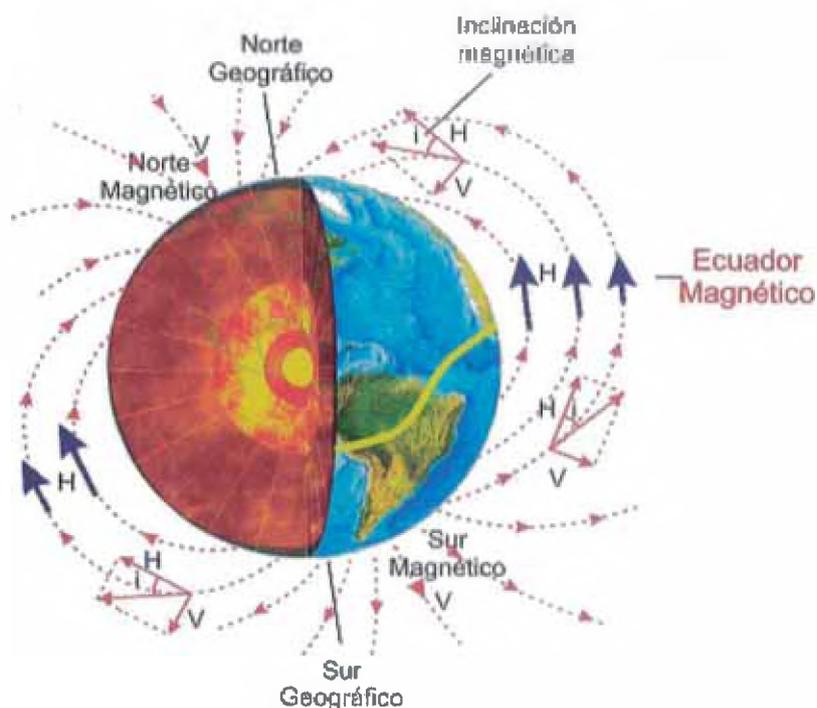


Fig. 2.3: Se observa parte del núcleo de la Tierra, y los elementos V , H e I del campo magnético, donde la componente H es paralelo a la superficie (ecuador magnético).

2.4.1 El ecuador magnético en el Mundo

G.K. Rangarajan y L.M. Barreto, en su artículo, *Secular change in the location of the magnetic dip equator in the twentieth century*, mencionan que: La situación geográfica del ecuador magnético (inclinación = 0°) en diferentes longitudes ha sido calculada, usando los coeficientes de armónicos esféricos definidos en Modelos de Campo Geomagnético de Referencia Internacional durante 21 épocas de 1900 a 2000. Se ha demostrado que la tendencia migratoria en el ecuador magnético es sumamente diferente en los sectores americano, africano e hindú. Grandes cambios se han visto de los 30° W a 40° W. mientras que prácticamente no existe movimiento por más de cien años en los 30° longitud Este (ver figura 2.4).

Se ha visto que la longitud geográfica del ecuador magnético está mucho más lejana del ecuador geográfico en el sector americano que demuestra una migración hacia el oeste del orden de $-0.2^\circ/\text{año}$, cuyo promedio es mejor que la deriva hacia el oeste del campo no-

dipolar, tratada en publicaciones. Las distancias entre el eje magnético del dipolo inclinado, el eje terrestre y el eje de la Anomalía Geomagnética del Atlántico del Sur (SAGA), la migración local mínima de la longitud del ecuador magnético en el eje americano están linealmente relacionadas.

Además la deriva hacia el oeste en la línea límite sobre el ecuador geográfico en el sector americano es indicativa de las contribuciones desde las condiciones no-dipolar y está también relacionado linealmente con los tres parámetros. Como la ubicación observada del ecuador magnético en el sector americano se ajusta muy bien a los resultados del modelo, se sugiere que la identificación de la longitud geográfica del ecuador magnético en la zona americana basado sobre un levantamiento de un área pequeña puede proporcionar información útil sobre otros parámetros de la deriva hacia el occidente del campo geomagnético.

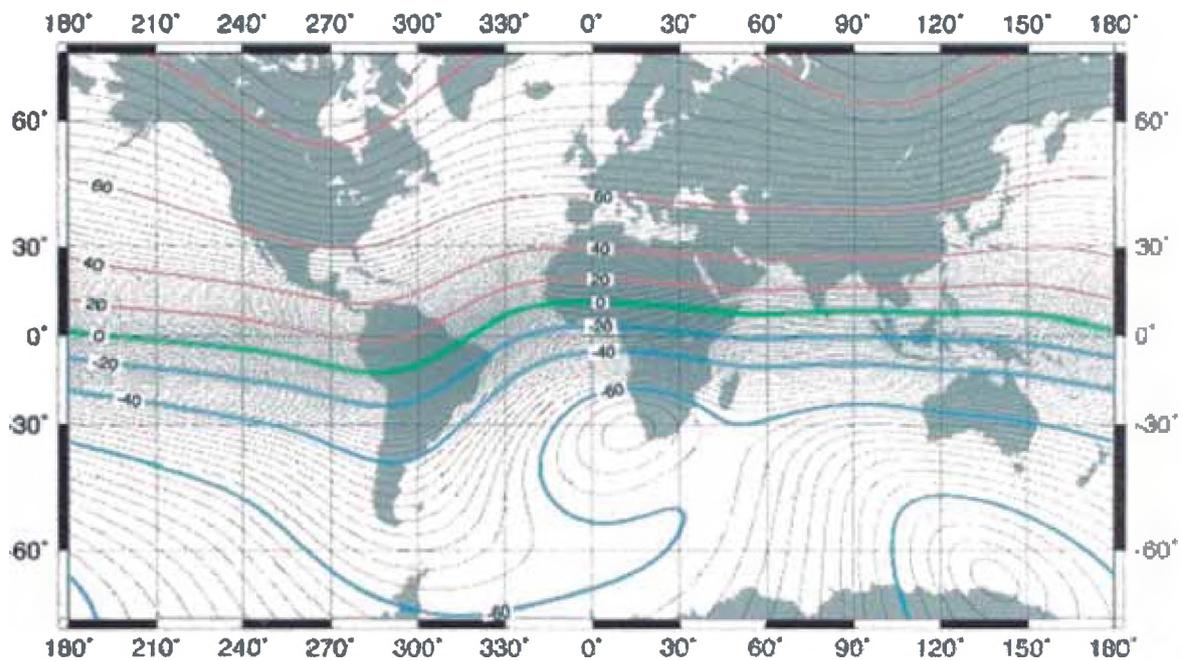


Fig. 2.4. Inclínación magnética (magnetic dip) del año 2000, desde el World Magnetic Model (WMM 2000), Rojo- positivo (down), Azul-negativo (up), Verde-cero (dip equator). la proyección es mercator. Este es un ejemplo de un mapa de isóclinas. *Imágenes Cortesía de NGDC-NOAA ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/Solid_Earth/Mainfld_Mag/images/*

2.4.2. El ecuador magnético en el Perú

La morfología de la ionosfera terrestre es controlada por un gran número de procesos radiactivos, químicos, térmico y la circulación electrodinámica global. La ionosfera ecuatorial, esta caracterizada por las líneas horizontales del campo magnético, es donde ocurren muchos fenómenos únicos de procesos electrodinámicos y ondas, lo cual afecta significativamente la propagación de ondas de radio a muy largo rango de frecuencias.

Las propiedades básicas de la ionosfera ecuatorial ha sido determinado por observaciones in-situ puestos en tierra de la densidad electrónica, y la temperatura de electrones y iones,

composición de iones y de vientos neutrales y la velocidad de derivada del plasma (Kelley, 1989). La alta distribución de la densidad electrónica ionosférica lo cual es de importancia fundamental para la propagación de ondas, depende sobre todo de otros parámetros.

El Ecuador geomagnético es una línea imaginaria que envuelve al globo terrestre en los lugares donde una aguja imantada y balanceada toma una posición horizontal o cuando $I=0$ y $Z=0$.

Las anomalías sobre el ecuador geomagnético son:

a).-Altas anomalías del campo eléctrico observados en el atardecer, parecen ser creados por vientos de iones donde culminan en el ecuador geomagnético.

b).-Propagación de relámpagos de campos eléctricos en la ionosfera, creado como la energía que sigue la dirección del ecuador magnético.

c).- "Valles" en la población de la densidad electrónica en la ionosfera de día alineados sobre el ecuador magnético. Creados por campos eléctricos, este fenómeno es conocido como el "efecto fuente" o la anomalía ecuatorial.

d).-Arcos tropicales que siguen los contornos del ecuador geomagnético emisiones de aereoluminiscencia son creados por el efecto fuente actuando en los iones de oxígeno.

e).-Efectos especiales (e. g. en mediciones de vientos y temperatura) observados en la media atmósfera (en la región de 30-60 millas de altura) que son únicos debidos a la carencia del efecto coriolis en el ecuador

f).-Estudios comparativos con mediciones hechas en otras latitudes ejecutadas para averiguar contribuciones en la atmósfera media de fuentes antropogénicas.

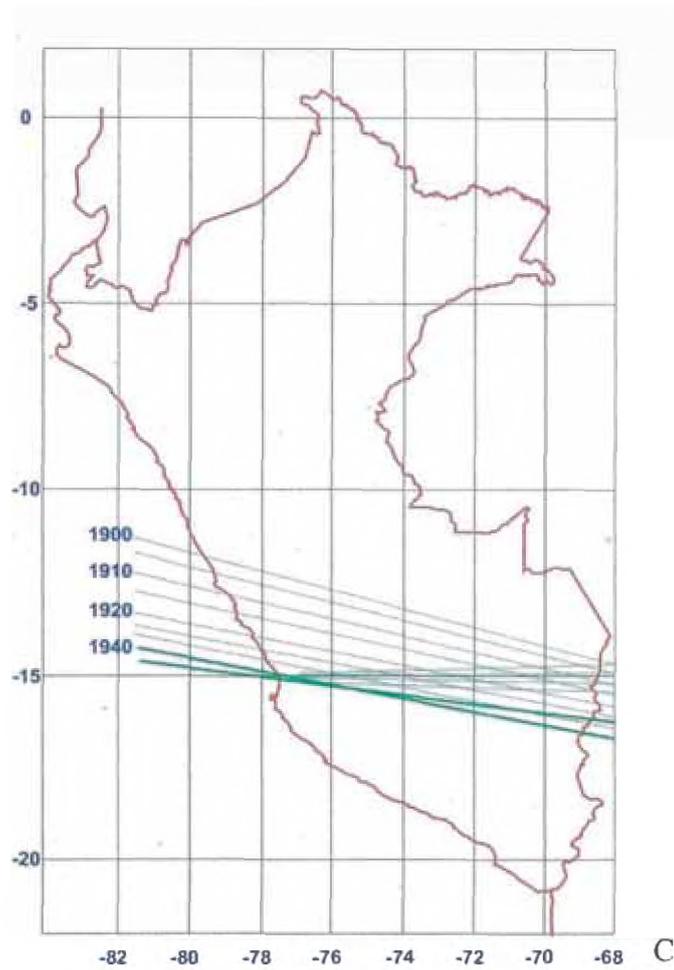
En Sudamérica, el ecuador magnético ($I = 0^\circ$) cruza el Perú, Bolivia y Brasil, que son los lugares donde las líneas de fuerza del campo magnético total son horizontales o paralelas a la superficie terrestre. Es importante señalar que en el año 1802, el ecuador magnético estaba ubicado aproximadamente entre la latitud 5° y 6° Sur (Cajamarca); luego desciende estas líneas horizontales hasta la latitud 11.5° sur, donde empieza a estabilizarse aproximadamente desde el año 1940 hasta la fecha (ver figura 2.5, A, B y C). La inclinación del campo magnético tiene una gran influencia en el comportamiento de la ionosfera por la horizontalidad del campo magnético (cuando la inclinación es igual a cero, se denomina ecuador magnético). Entonces se producen dos fenómenos ionosféricas que cabe resaltar: uno es el Electrochorro Ecuatorial y el otro es el fenómeno de la F-Dispersa.



A



B



C

Fig.2.5: A-El ecuador magnético en Sudamérica. B- Desplazamiento del ecuador magnético (línea rojo) de norte a sur, en Perú. C. Mapa del Ecuador magnético modelado con el IGRF, desde 1900-2000 con intervalo de 5 años, se desplaza de norte a sur (líneas verdes) y a partir de 1940 empieza a estabilizarse.

En el mapa C, se observa como el ecuador magnético calculado con el IGRF, desde 1900 desciende hacia el sur hasta el año 1939-1940, iniciando su “estabilidad” aproximadamente desde la latitud 12° S. Se complementa con la figura 2.6.

2.4.3 Estabilidad del ecuador magnético

Cuando se estabiliza el ecuador magnético (ver figura 2.6), aproximadamente en el año 1939 -1940, forma un eje sensitivo de conductividad máxima generado por el electrochorro ecuatorial en los equinoccios. Y sincronizado con el ingreso del punto vernal a la constelación de Aquarius. En trabajos realizados por diferentes investigadores, se encuentra que esta banda eléctrica es más intensa en el Perú y Bolivia que en Nigeria y la India.

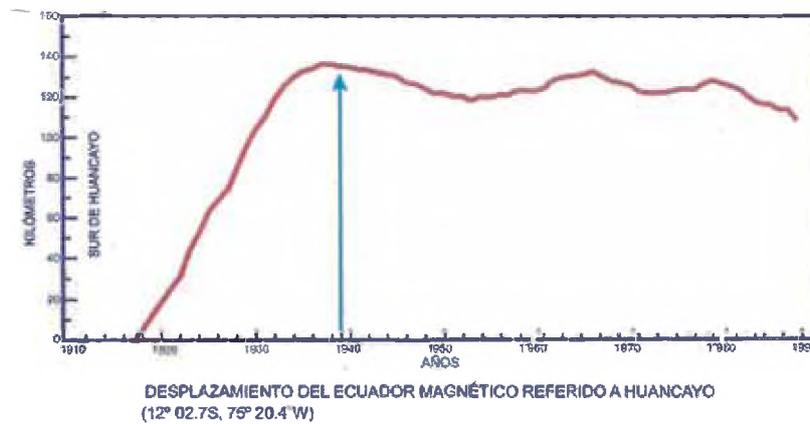


Fig. 2.6 Se observa que a partir de 1939-1940 se estabiliza el ecuador magnético

CAPÍTULO III

PUNTO VERNAL Y EL ELECTROCHORRO ECUATORIAL

3.1 El Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ)

Es una estación ecuatorial de la cadena de radio observatorios de dispersión incoherente (ISR, por sus siglas en inglés Incoherent Scatter Radar) del Hemisferio Oeste que se extiende desde Lima, Perú hasta Søndre Strømfjord, Groenlandia. El ROJ es la primera facilidad científica en el mundo para el estudio de la ionosfera ecuatorial. El Observatorio (ver figura 3.1) se ubica a media hora de viaje en automóvil hacia el este de Lima y a 10 km de la Carretera Central (latitud: $11^{\circ}57'05''S$ y longitud: $76^{\circ}52'27.5''O$, 520 msnm). Su ángulo de inclinación magnética es aproximadamente 1° , pero varía ligeramente con la altitud y la estación del año.

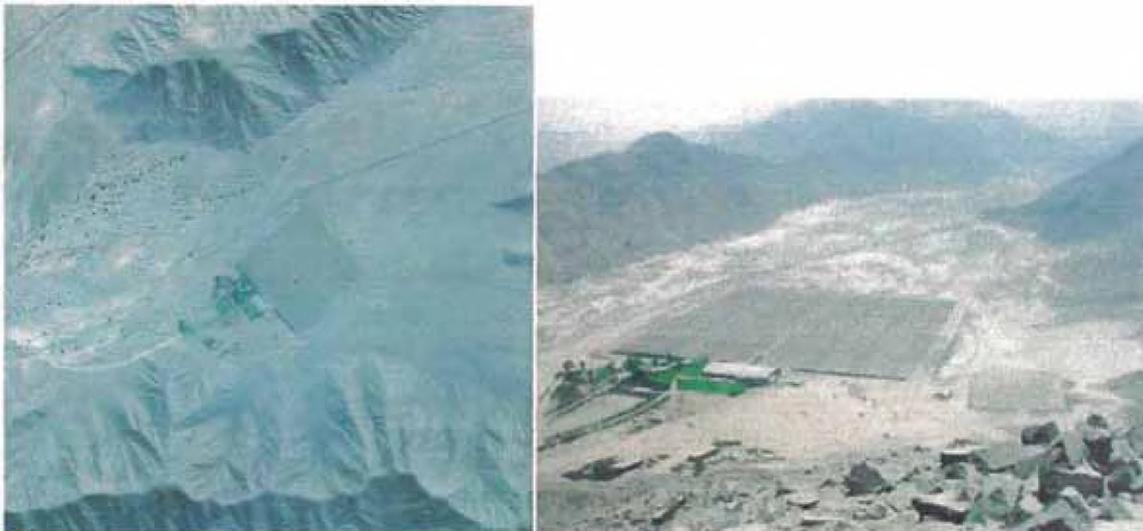


Fig 3.1. Dos vistas del Radio Observatorio de Jicamarca

El radar puede determinar la dirección del campo magnético terrestre (B) con gran precisión y puede ser apuntado perpendicularmente a B en las altitudes a lo largo de la ionósfera. El estudio de la ionósfera ecuatorial ha logrado un gran desarrollo debido, en gran parte, a las contribuciones realizadas por el ROJ en radio-ciencia.

La antena principal del radar del ROJ es la más grande entre los radares de dispersión incoherente en el mundo, la cual consiste en un arreglo cuadrado de $300\text{ m} \times 300\text{ m}$ y está conformada por 18,432 antenas dipolo. Las principales áreas de investigación del observatorio son: la ionosfera ecuatorial estable (ver figura 3.2 y 3.3), irregularidades del campo alineado ionosférico, dinámica de la atmósfera ecuatorial neutra y física de meteoros.

El observatorio es una instalación del Instituto Geofísico del Perú, el cual es operado con el apoyo de la US National Science Foundation a través de un acuerdo cooperativo con la Universidad Cornell.

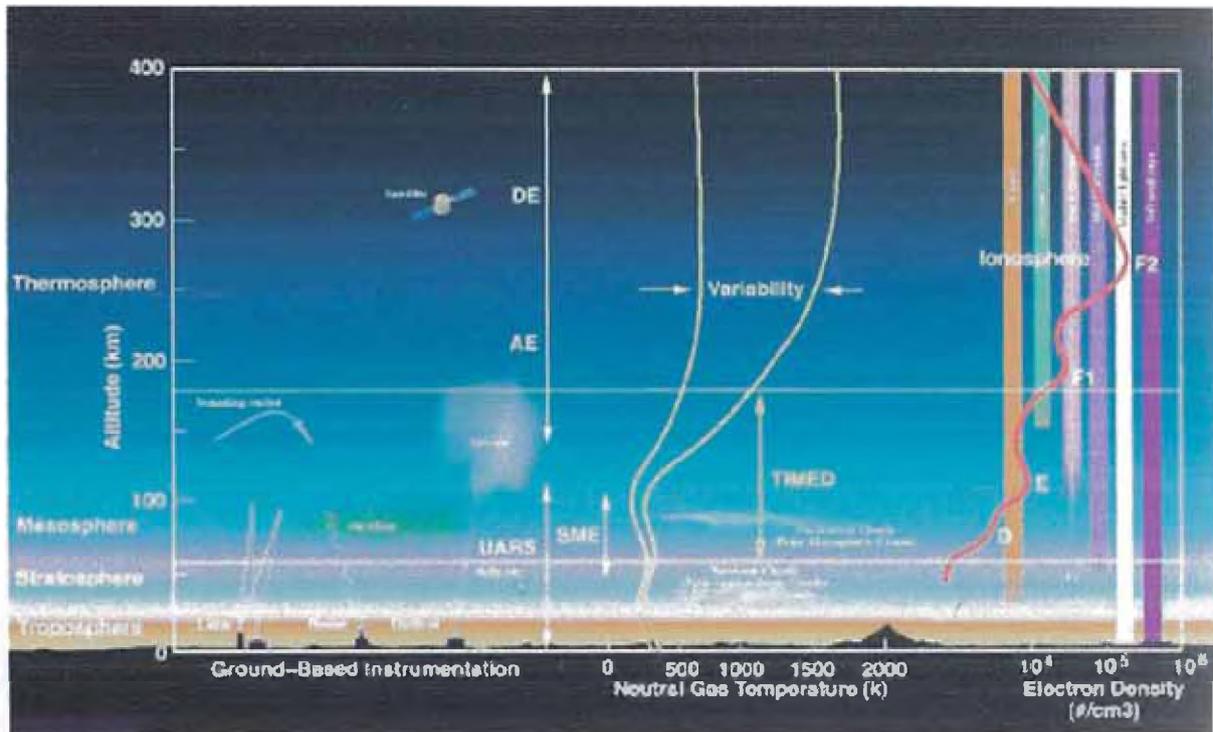


Fig. 3.2. Espacio cercano-Ionosfera-alta atmosfera

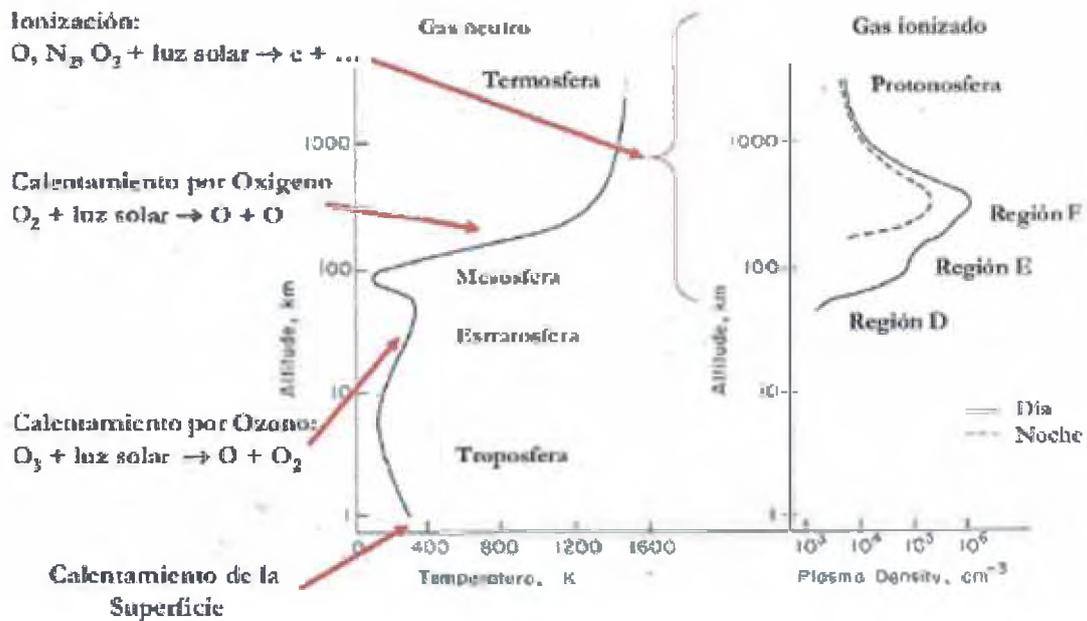


Fig. 3.3. Atmosfera Terrestre (ionosfera - electrochorro ecuatorial a 108 km).

3.1.1.- Historia del Radio Observatorio de Jicamarca

El Radio Observatorio de Jicamarca fue construido en 1960-61 por el Laboratorio Central de Radio Propagación (Central Radio Propagation Laboratory, sus siglas en inglés CRPL) del National Bureau of Standards (NBS) de Estados Unidos. Posteriormente, este laboratorio formaría parte del Environmental Science Service Administration (ESSA), la cual finalmente se convertiría en la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). El proyecto fue dirigido por el Dr. Kenneth L. Bowles, quien es considerado como el “padre del ROJ”. Apartir de 1969, la mayoría de componentes del radar habían sido reemplazados y modernizados con hardware y software “hecho en casa”, diseñado y construido por ingenieros y técnicos peruanos. Más de 60 estudiantes de Doctorado (Ph.D) de instituciones de los EEUU, habían realizado sus investigaciones asociados con Jicamarca y de los cuales más de 15 eran peruanos.

3.1.2.- Radar Principal

El ROJ tiene como instrumento principal el radar VHF, el cual opera a 50 MHz y es utilizado para estudiar la física de la ionosfera ecuatorial y la atmósfera neutra. Como cualquier otro radar, sus principales componentes son: antenas, transmisores, receptores, controladores de radar y sistemas de adquisición y procesamiento. El radar del ROJ se distingue principalmente por: (1) su antena (la más grande en el mundo) y (2) por sus potentes transmisores.

3.1.2.1.- Componentes de Radar

- Antena. La antena principal esta conformada por 18,432 dipolos de media longitud de onda en polarización cruzada, cubriendo un área total de 288 m × 288 m. El arreglo está subdividido en cuartos, cada uno está formado de 4×4 módulos. El haz principal de la antena puede ser manualmente orientado +/-3 grados de su posición perpendicular, mediante el cambio de los cables de alimentación en cada módulo.
- Transmisores. Actualmente, el ROJ posee 3 transmisores, capaces de emitir una potencia pico de 1.5 MW cada uno. Próximamente, se contará con un cuarto transmisor, lo cual permitirá transmitir 6 MW como en las primeras épocas. Cada transmisor puede ser alimentado independientemente y conectado a cualquier otra sección del arreglo principal. Esta flexibilidad permite transmitir en cualquier polarización: lineal, circular o elíptica.
- Otros. Los demás componentes del radar del ROJ están en constante evolución y actualización de acuerdo a la tecnología disponible. Se utilizan dispositivos electrónicos modernos para ensamblar receptores, controladores de radar y sistemas de adquisición. La primera computadora en el Perú, llegó al ROJ a inicios de 1960, desde entonces, se han utilizado diferentes generaciones de computadoras y sistemas.

3.1.2.2.- Modos de transmisión del Radar

El radar opera principalmente en dos modos: (1) modo de dispersión incoherente (ISR, sus siglas en inglés) y (2) modo de dispersión coherente (CSR, sus siglas en inglés). En el modo ISR se utilizan los transmisores de alta potencia, y se realizan mediciones de la densidad de los electrones, temperatura de electrones e iones, composición de iones, y campos eléctricos verticales y zonales en la ionosfera ecuatorial. Dada su ubicación y frecuencia de operación, Jicamarca tiene la capacidad de medir la densidad absoluta de electrones mediante la rotación Faraday, y los campos eléctricos ionosféricos con gran precisión, apuntando el haz perpendicularmente hacia el campo magnético de la tierra. En el modo CSR, el radar calcula los ecos que son más fuertes en 30 dB a los ecos de ISR. Estos ecos provienen de irregularidades ecuatoriales generadas en la troposfera, estratosfera, mesosfera, electrochorro ecuatorial, región E y región F. Debido a la fuerza de los ecos, se utilizan los transmisores de baja potencia y secciones más pequeñas de antenas.

3.1.3.- Radar JULIA

JULIA (*Jicamarca Unattended Long-term Investigations of the Ionosphere and Atmosphere*) significa investigación desatendida y prolongada de la Ionosfera y Atmósfera, un nombre descriptivo para un sistema diseñado para observar las irregularidades del plasma ecuatorial y ondas atmosféricas neutra por largos periodos de tiempo. JULIA utiliza un sistema de adquisición de datos basado en una computadora personal, utiliza también alguna de las etapas de excitación del radar principal a través de la antena principal. En muchas formas, este sistema duplica la función del radar de Jicamarca, excepto que, éste no usa los transmisores principales de alta potencia, los cuales son costosos y requieren de una labor intensa para operar y mantener. JULIA también puede operar sin supervisión por largos periodos de tiempo. Con sus dos transmisores pulsados de 30 kW de potencia pico, alimentan el arreglo de antena de 300 m × 300 m, JULIA es un formidable radar de dispersión coherente. Este ha sido preparado para estudiar, día a día, la variabilidad de las irregularidades ecuatoriales en largos periodos de tiempo, las cuales hasta ahora han sido investigadas esporádicamente o en campañas.

3.1.4.-Otros Instrumentos

Además del radar principal y JULIA, el ROJ alberga y/o ayuda en la operación de una variedad de radares así como también instrumentos de radio y ópticos para complementar sus principales observaciones. Estos instrumentos son: Varios magnetómetros base tierra distribuidos a lo largo del Perú, una ionosonda digital, muchos receptores GPS en Sudamérica, un radar de cielo-completo para meteoros, un radar biestático Jicamarca-Paracas CSR para la medición de la región E del perfil de densidad de electrones, receptores de cintilaciones en Ancón, un interferómetro de Fabry-Perot en Arequipa, un pequeño prototipo de radar UHF AMISR

3.1.5.-Principales Áreas de Investigación

Las principales áreas de investigación del ROJ (ver figura 3.4) son: el estudio de la ionósfera ecuatorial estable, irregularidades en el alineamiento de campo, dinámica de la atmósfera ecuatorial neutra y física de meteoros. Aquí algunos ejemplos:

- Ionosfera Estable
 - Superior: ¿Qué controla la distribución de iones de luz? ¿Por qué los perfiles ecuatoriales son tan diferentes a aquellos en Arecibo? ¿Cual es el tiempo de respuesta de la tormenta en las capas superiores?
 - Región F: ¿Las teorías actuales explican completamente el balance térmico de los electrones e iones? ¿Entendemos los efectos de la colisión de los electrones en la teoría ISR ahora? ¿Cual es el efecto de la dinámica de la región F cerca a la puesta de sol para la generación de pluma ESF? ¿Cuales son los efectos de los vientos N-S en el transporte interhemisférico?
 - Región E: ¿Cuáles son los parámetros básicos de respaldo en la región E ecuatorial? ¿Cuál es la morfología de la densidad de perfiles en esta región? ¿Cómo esta morfología afecta la dinámica de región E?
 - Región D: ¿Cuáles son los efectos de la ablación de meteoros y la combinación mesosférica en la composición en esta región?
- Ionosfera Inestable
 - Región F:

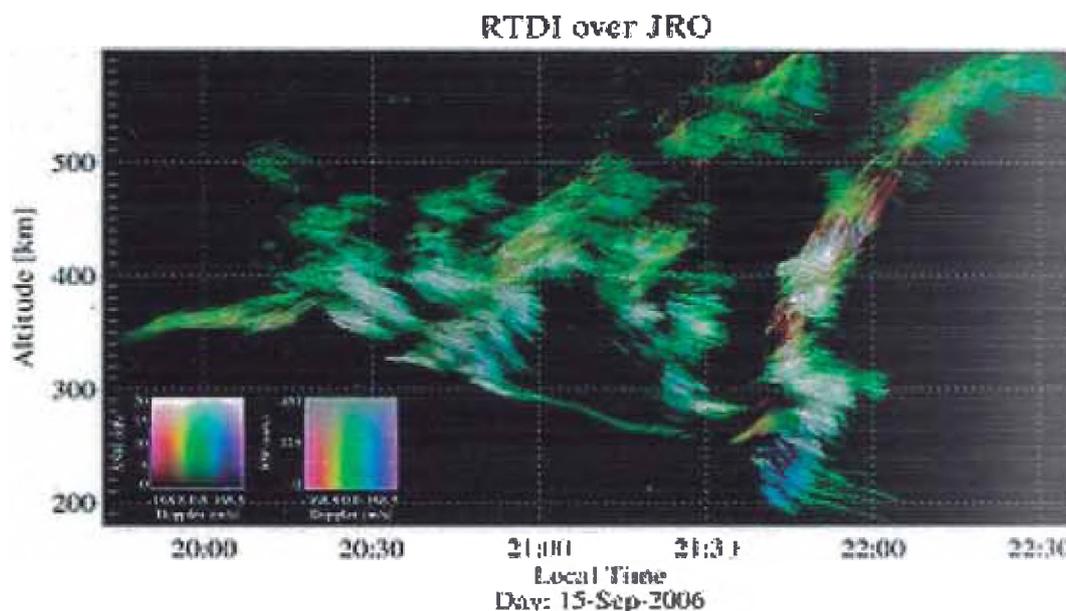


Fig.3.4. Mapa de altura versus tiempo del fenómeno del F dispersa, usual en nuestras latitudes. Los colores representan las velocidades con las que se mueven estas “nubes” ionosféricas.

¿Cuales son los procesos fundamentales del plasma, incluyendo los procesos no lineales, que gobiernan la generación de plumas de plasma? ¿Cuáles son los fenómenos precursoros, en la tarde, de la región F que controlan si o no las plumas de la región F? ¿Las plumas serán generadas después de la puesta de sol?

- Ecos Valley diurnos (o llamados ecos de 150 km). ¿Cuáles son los mecanismos físicos que los causan? (sigue siendo un misterio después de más de 40 años!)

- Región E: ¿Cuáles son los procesos no lineales de la física del plasma que controlan el estado final de las inestabilidades del electrochorro ecuatorial? ¿En que medida estas inestabilidades afectan la conductividad de la región E, y por extensión, la conductividad de la zona auroral de la región E, donde similarmente, con más fuerza y de manera más complicada, existen inestabilidades?
- Dinámica de la atmósfera neutra. ¿Cuales son los componentes en bajas latitudes para las diferentes temporadas y alturas? ¿Cual es la fuerza de las cizalladuras de viento en la mesósfera? ¿Cuales son las características de las ondas gravitatorias? ¿Podemos ver la evidencia de acoplamiento de las ondas gravitatorias en la baja atmósfera con la ionosfera?
- Física de meteoros. ¿De donde vienen los meteoritos? ¿Cuál es la masa y el tamaño de los meteoritos? ¿Cuál es el equivalente de la magnitud visual de meteoros detectados en el ROJ? ¿Podemos utilizar los ecos de meteoros para diagnosticar la atmósfera y la ionosfera a altitudes donde éstos se producen?

3.1.6.-Ecos de Dispersión Coherente

Ecos Coherentes Ionosféricos/Atmosféricos más comunes				
Ecos	Abr.	Altitud (km)	Hora del día	Fuerza ISR (dB)
Electrochorro Ecuatorial	EEJ	95-110 90-130	Diurno Nocturno	30-60 20-50
Ecos 150-km	150 km	130-170	Diurno	10-30
Atmósfera Neutral	MST	0.2-85	Todo el día	30-50
Cabeza de Meteoro	Cabeza	85-130	Todo el día	20-40
Meteoro No-Especular	No-Especular	95-115	Todo el día	20-50
Meteoro Especular	Especular	80-120	Todo el día	30-60

3.1.7.- Estudios no convencionales

Además de las observaciones ISR y CSR, el sistema principal del ROJ ha sido utilizado como radio telescopio, un calentador VHF y radar planetario. Como radio telescopio, el arreglo principal ha sido utilizado para estudiar el sol, las radio estrellas (como Hydra), la radiación sincrotrón de la magnetósfera, la radiación Júpiter. En los 60's, el ROJ fue utilizado para estudiar Venus y la superficie de la luna, y recientemente para estudiar el sol. Últimamente, el electrochorro ecuatorial ha sido ligeramente modulado utilizando el ROJ como un calentador VHF a fin de generar ondas VLF.

3.1.8.- Ionosonda: observaciones de la ionosfera en Jicamarca

La característica más importante de la ionosfera en términos de las comunicaciones radiales es la capacidad de refractar ondas de radio. Sin embargo, sólo estas ondas serán refractadas dentro de un cierto rango de frecuencia. El rango de frecuencia refractada depende de diversos factores (ciclo solar, variación diaria y estacional, posición geográfica). Varios métodos han sido utilizados para investigar la ionosfera y el instrumento más utilizado para éste propósito es la ionosonda. Cabe resaltar que muchas referencias sobre comunicaciones ionosféricas hablan sobre la reflexión de la onda, siendo un proceso de refracción lo que en realidad ocurre, pero seguiremos usando el mismo término por cuestiones bibliográficas.

Una ionosonda es un radar de frecuencia alta (HF) el cual envía un pulso de onda de radio verticalmente hacia la ionosfera. Si la frecuencia de radio no es tan alta, el pulso es reflejado de vuelta a tierra. La ionosonda registra el tiempo de retardo entre la transmisión y la recepción de los pulsos. Mediante la variación de la frecuencia de oscilación de los pulsos se obtiene un registro del retardo a diferentes frecuencias. A inicios del año 1992, el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) empezó a contar en sus instalaciones con una moderna ionosonda (Digisonda) diseñada por el Centro de Investigaciones Atmosféricas de la Universidad de Lowell (ULCAR), Massachusetts, USA; así, el ROJ ingresó a la red mundial de digisondas, que en la actualidad ha llegado a 84 estaciones.

Los perfiles de densidad de electrones y los parámetros de comunicación HF proporcionados en tiempo real y mostrados en internet por éste instrumento son de importancia para usuarios como operadores y científicos. Después de cada barrido de frecuencias, la Digisonda ejecuta el programa ARTIST (Automatic Real Time Ionogram Scaler with True Height, que es desarrollado por ULCAR), el cual, analiza el ionograma (ver figura 3.5) con el fin de extraer los parámetros de la ionosfera, extrae los trazos de la región E y F para establecer el perfil de densidad de electrones.

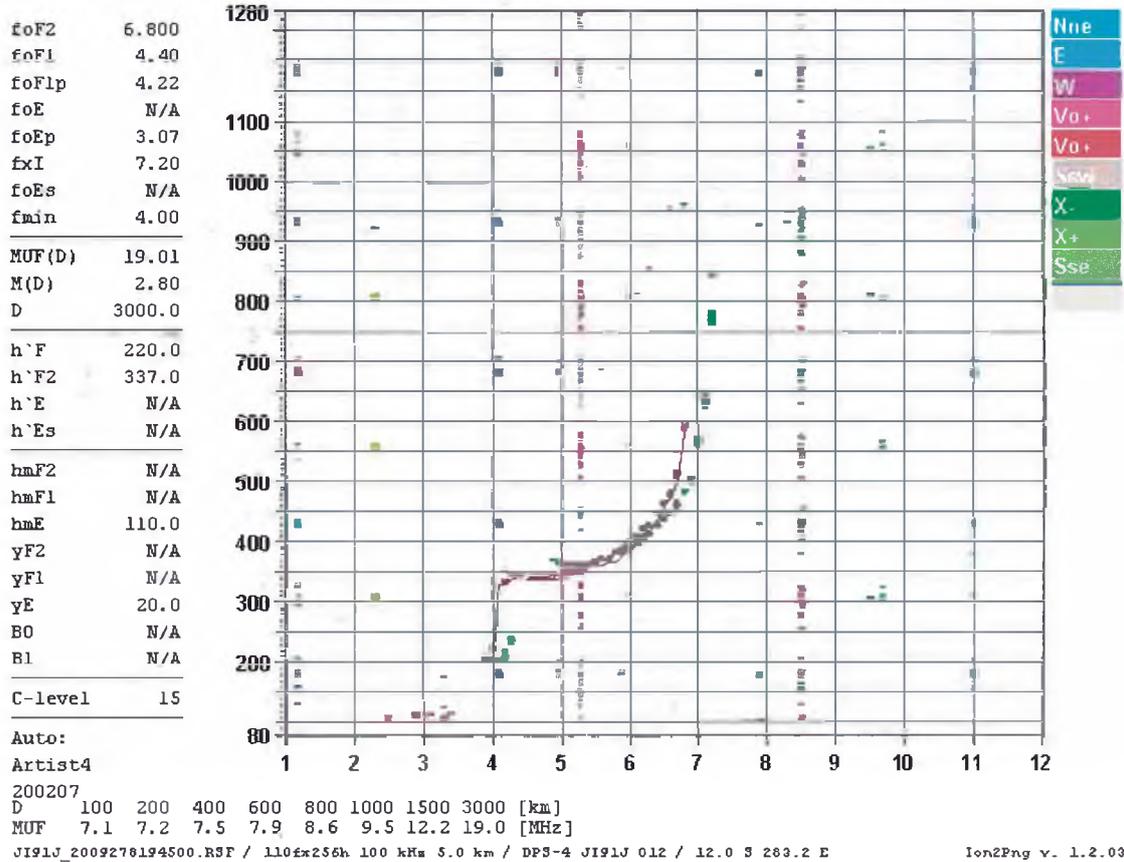


Fig. 3.5. Ionograma digital con auto-escalamiento (perfil N(h)), perfil de la densidad de electrones que da cuenta de la frecuencia del plasma versus la altura), se pone en evidencia los ecos O y ecos X (trazo oscuro y trazo claro, respectivamente). Jicamarca, Perú, 95 de octubre del 2009. Los más importantes parámetros autescalados se listan a la izquierda.

3.2 Electrochorro Ecuatorial

El Electrochorro Ecuatorial es una corriente eléctrica, confinada entre los 95 y 110 kms. de altura, espacio concentrado en una banda de apenas 600 kms de ancho en los equinoccios. Esta corriente está centrada en el ecuador magnético, que circula de Este a Oeste o de Oeste a Este (según la hora). El electrochorro ecuatorial es un flujo de electrones de origen solar. (ver figura 3.6 a y b). Manifiesta su máximo efecto en la componente H, a lo largo del ecuador magnético, produciendo un efecto de inducción dentro de la Tierra. Registra su máxima intensidad en los equinoccios (21 de marzo y 23 de septiembre), y es más débil en los solsticios (22 de junio y 22 de diciembre). Durante el día, la intensidad aumenta, aproximadamente, de 11 a 13 horas en el Perú y Bolivia.

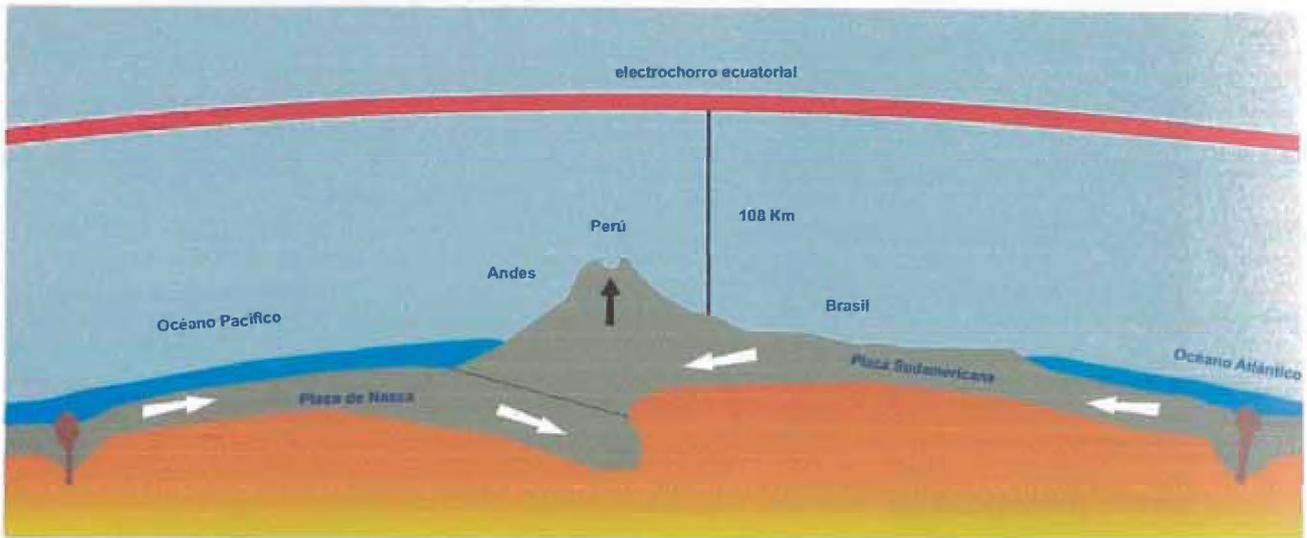


Fig. 3.6a Perfil de los andes, donde se observa el EEJ a la altura promedio de 108 km,

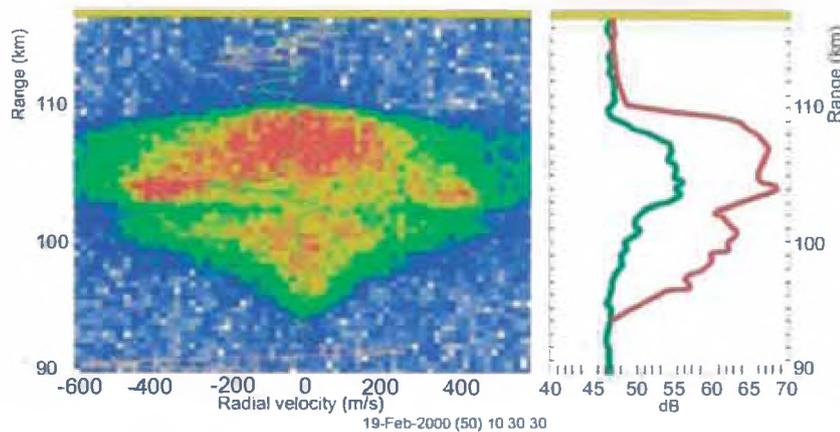


Fig. 3.6b. Variación estacional de la intensidad del EEJ medida en Jicamarca [Alken, 2009]

El Ecuador Magnético constituye la referencia más importante del "electrochorro ecuatorial". El electro-chorro, es una banda estrecha de corriente eléctrica, centrada sobre el ecuador magnético, fluye de oeste a este a una altura aproximada de 100 km, con máxima intensidad cerca del medio día. En el caso del Perú, el ancho y la intensidad de esta banda varían inversamente con el ciclo solar; tiene unos 600 km de ancho durante la época de máxima actividad solar y algo más de 800 km durante la época de mínima actividad. Conviene aclarar que se define el ancho del electro-chorro arbitrariamente el ancho virtual, se mide como la distancia (en función de la latitud geográfica) entre los puntos de inflexión del rango de la variación diurna máxima y mínima de la componente vertical magnética. Mediciones detalladas de la variación diurna del campo geomagnético en la región del ecuador magnético realizadas durante el Año Geofísico Internacional 1957/58, a lo largo de la costa occidental de América del Sur dieron a conocer, por primera vez, la morfología latitudinal del electro-chorro y su relación con el ecuador magnético.

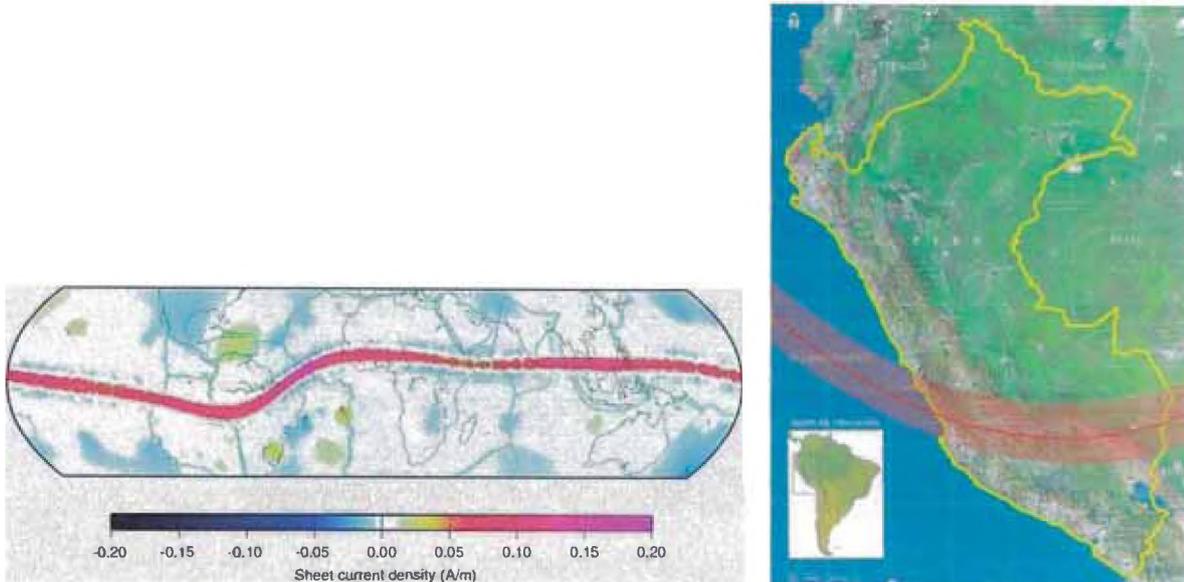


Fig.3.7 El electrochorro ecuatorial inferida desde 2600 pases del satellite CHAMP, sobre el Ecuador magnetic entre las 11 y 13 horas local.

3.2.1.- Estudios del electrochorro ecuatorial desde satellites

El fenómeno del Electrochorro Ecuatorial (ver figura 3.7) fue identificado primero usando datos de observatorio magneticos principalmente del Observatorio magnetico de Huancayo (Perú). Posteriormente los estudios de Electrochorro Ecuatorial fueron iniciados con la llegada de los datos de la serie de satelites POGO ((Polar Orbiting Geophysical Observatories- Observatorios geofisicos de orbita polar) desde 1967-1970. Actualmente los datos magnéticos desde los satélite Ørsted (1999 - el presente) y CHAMP (2000 - el presente) han mejorado vastamente nuestros conocimientos del Electrochorro Ecuatorial

3.2.1.1.- CHAMP y el electrochorro ecuatorial

El CHALLENGING Minisatellite Payload (CHAMP) es un satélite alemán dedicada a mejorar los modelos del campo magnetico y gravitatorio de la Tierra EL CHAMP (ver figura 3.8) fue propuesto en 1994 by Christoph Reigber de GeoForschungsZentrum Postdam en respuesta a una iniciativa de la Agencia especial alemana (DLR) para apoyar la industria espacial alemana La parte magnética de la mission CHAMP fue lanzada con el vehículo cosmos de Rusia el 15 de Julio del 2000 a una órbita baja de la Tierra. Planeado su mission al 2005 se ha extendido al 2008. La página web del CHAMP es [http:// op.gfz-potsdam.de/champ](http://op.gfz-potsdam.de/champ)

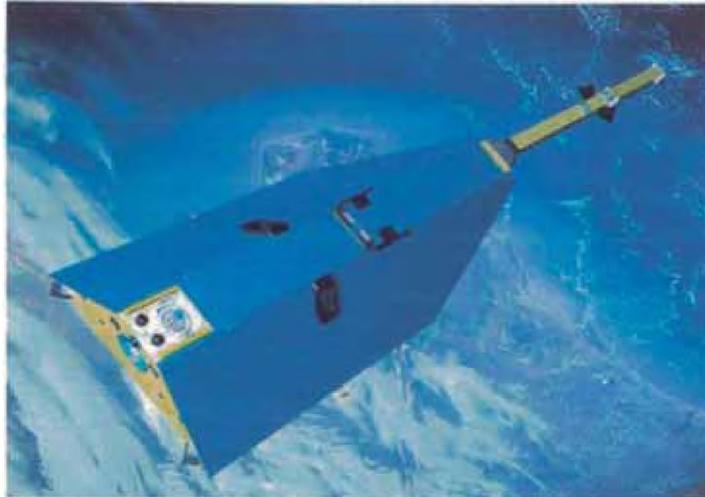


Fig.3.8. Modelo del satélite CHAMP

3.2.1.1.1.- Algunas investigaciones realizadas con el CHAMP sobre el Electrochorro Ecuatorial

1.- El campo del electrochorro ecuatorial desde los datos del CHAMP (The field of the equatorial electrojet from CHAMP data). En esta investigación una de las principales conclusiones de este análisis es que la intensidad del electrochorro ecuatorial decrece con la actividad solar, lo cual sugiere que es fuertemente dependiente de la radiación UV (ultravioleta) Y en la figura 3.9 se muestra la variación del EEJ en tiempo universal a las 06:00 (a), 11:00 (b) y 17:00 (c). (J. L. Le Mouel, et. al. 2006).

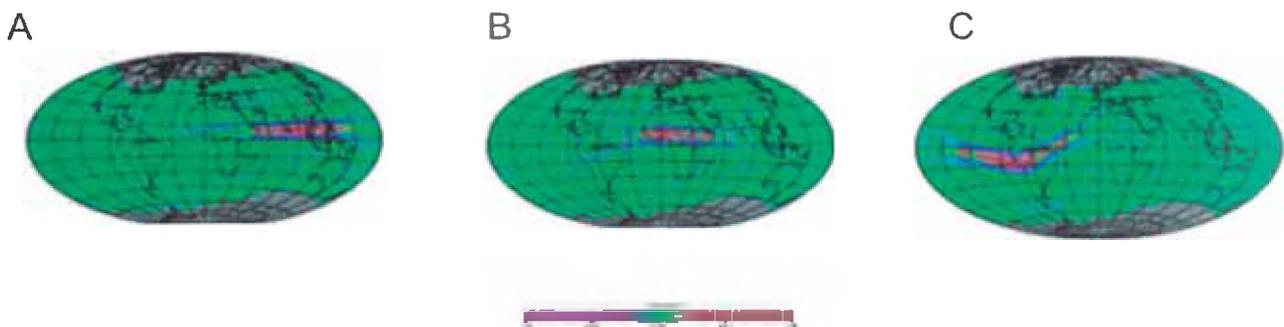


Fig. 3.9. Variación en Tiempo Universal de la segunda derivada del campo del EEJ en sus componentes longitudinales a las 06:00 (a), 11:00 (b) y 17:00 (c).

2.- Mejorando y evaluando el modelo empírico del electrochorro ecuatorial con datos del satellite CHAMP (Improving and testing the empirical equatorial electrojet model with CHAMP satellite data)

Estos autores reproducen en la figura 3.10, el perfil longitudinal del EEJ obtenido inicialmente por Doumouya et al. (2003) usando las variaciones basados en tierra, con valores de picos al mediodía. Un fuerte realce del EEJ en Peru, y al rededor de 100° E (Vietnam) son mostrado en el grafico Longitudinal basado en el satellite. Los datos del

CHAMP han sido extraídos desde campo total, usando el campo principal del modelo del IGRF para la época de 2001.5. Para aislar el efecto del EEJ (línea sólida roja). La forma de fondo ha sido suavizado usando una función de polinomio (interlíneas negras) y restado desde el residuo total.

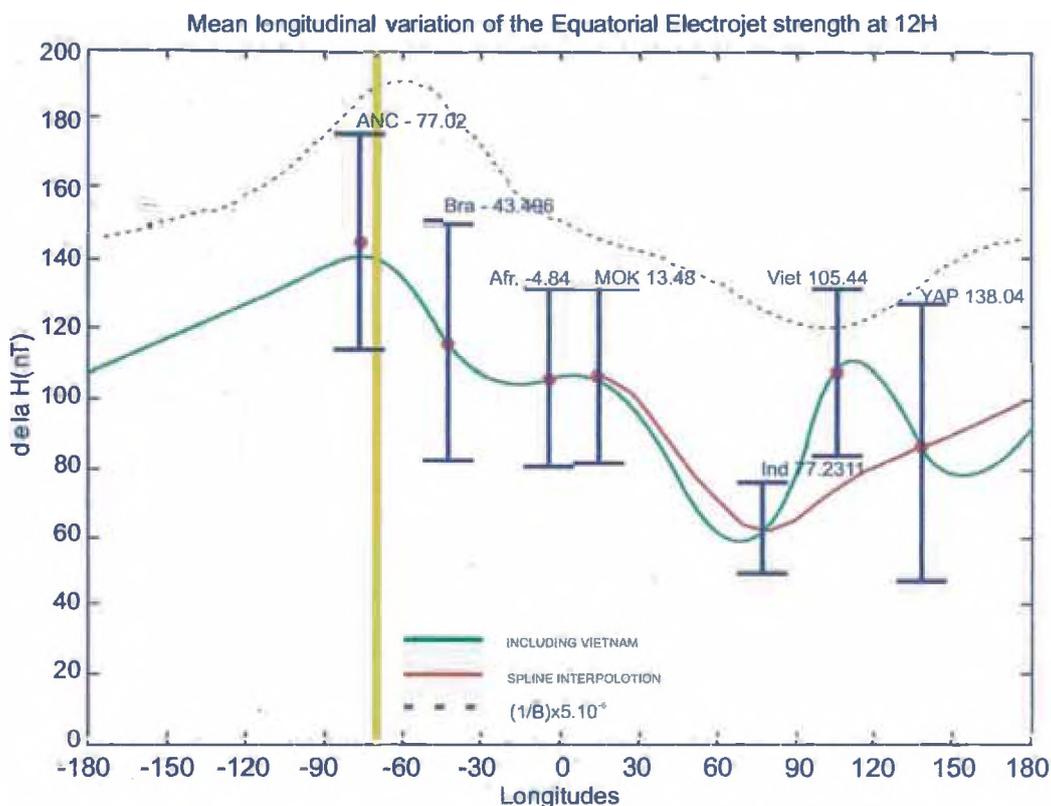


Fig. 3.10. La variación media longitudinal del efecto magnético del EEJ (líneas sólidas) desde IEEYY datos magnéticos basados en tierra a las 12h, y la inversa del campo del campo principal 1/B exagerado 5×10^6 veces (dashed line). La línea verde representa la variación longitudinal del efecto magnético del EEJ a las 12H, incluyendo datos desde Baclieu (observatorio de Vietnam), mientras que la línea roja no toma en cuenta los datos desde Baclieu. El error de barra representa la desviación estándar de 1H. La curva 1/B es obtenida en un intervalo regular en longitud.

3.3.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en la Tierra

El electrochorro ecuatorial aproximadamente se ubica a 108 km de altura sobre el ecuador magnético y es banda que va la vuelta a toda la Tierra

3.3.1.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en Sudamérica

En Sudamérica el electrochorro ecuatorial cruza por la parte centro sur del Perú y norte de Bolivia, luego cruza el centro norte de Brasil, siendo más intenso y estable su desplazamiento en Perú y Bolivia, en cambio en Brasil es menos intenso y fluctúa a mayor velocidad.

3.3.1.1.- Perú, Bolivia y Brasil

Por Perú, Bolivia y Brasil, cruza el EEJ, hay diferentes publicaciones de un estudio comparativo, entre ellos, tenemos en “Comparison of equatorial electrojet characteristics at Huancayo and Eusébio (Fortaleza) in the South American region”, indican que en la region de Eusébio (Fortaleza-Brazil) el EEJ es mas débil (R.P Kane y N.B Trivedi, 1982). Y se encuentra una asimetria en el EEJ alrededor del sector N-E de Brazil (Rastogi R. G. y N. B. Trivedi 2009).

3.3.2.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en Filipinas

El estudio comparativo entre Perú y Filipinas (ver figura 3.11), los tenemos en el trabajo de T.W. Fang, et. al, “Model simulation of the equatorial electrojet in the Peruvian and Philippine sectors”. Donde en el grafico de la variación diurna ΔH para F10.7 $\frac{1}{4}$, 200 (círculos), 140 (triángulos), and 80 (cruces) en Peru (rojo) and Filipinas (azul) Las observaciones satelitales revela que la magnitud de ΔH , es generalmente mas fuerte en el sector de PERU que en FILIPINAS (T.W. Fang, et. al. 2008).

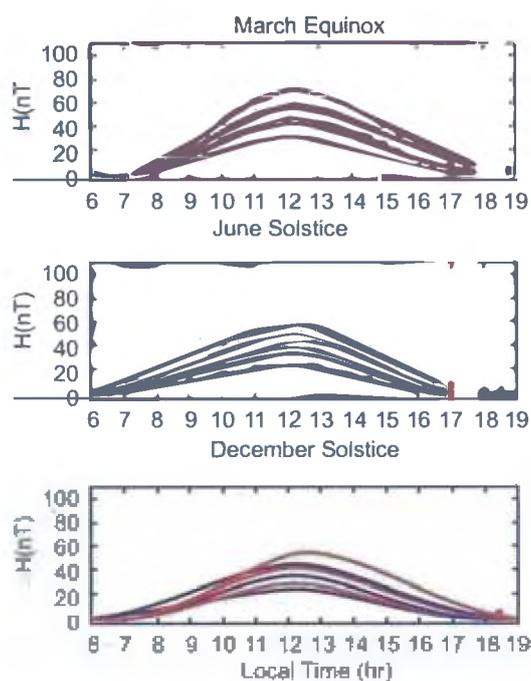


Fig. 3.11. Variación diurna de ΔH para F10.7 $\frac{1}{4}$ 200 (círculos), 140 (triángulos), y 80 (cruces). En el sector Peruano (rojo) y en el Filipino (azul). Las observaciones del satellite revela que las magnitudes de ΔH en el sector de PERU, generalmente son mas intensos que en sector de FILIPINAS.

3.3.3.- Comparación del Electrochorro Ecuatorial en India

Varios investigadores estudiaron cualitativamente y cuantitativamente el electrochorro ecuatorial (Osborne, 1973, Kane, 1974, el Bhargava *et al.*, 1983, etc.). La fuerza del electrochorro ecuatorial depende de muchas variables, entre ellas, de la ionosfera. Patil a.r, en su trabajo “Equatorial Electrojet Strengths in the Indian and American Sectors. During Low and High Solar Activity”, JGG, 1990, hallaron las variaciones media diaria anual del ΔH (indica el valor del electrochorro ecuatorial, dado en nanoteslas-nT).

Entre las estaciones de Sudamérica (Huancayo (HUA) y Fuquene (FUQ) y la diferencia (HUA-FUQ) en longitud es 75° W. Y entre la India Trivandrum (TRD), y Alibag (ABG), la diferencia (TRD-ABG) de longitud es 75° E. En ambos sectores, las estaciones fueron evaluadas con el mismo método en cuanto a alta actividad solar (1958-59). Se observa que es más intenso en Huancayo (zona centro-sur de Perú) ver figura 3.12-A. Y en baja actividad solar (1964-65) se observa en el gráfico (ver figura 3.12-B) que la intensidad es mayor en Huancayo.

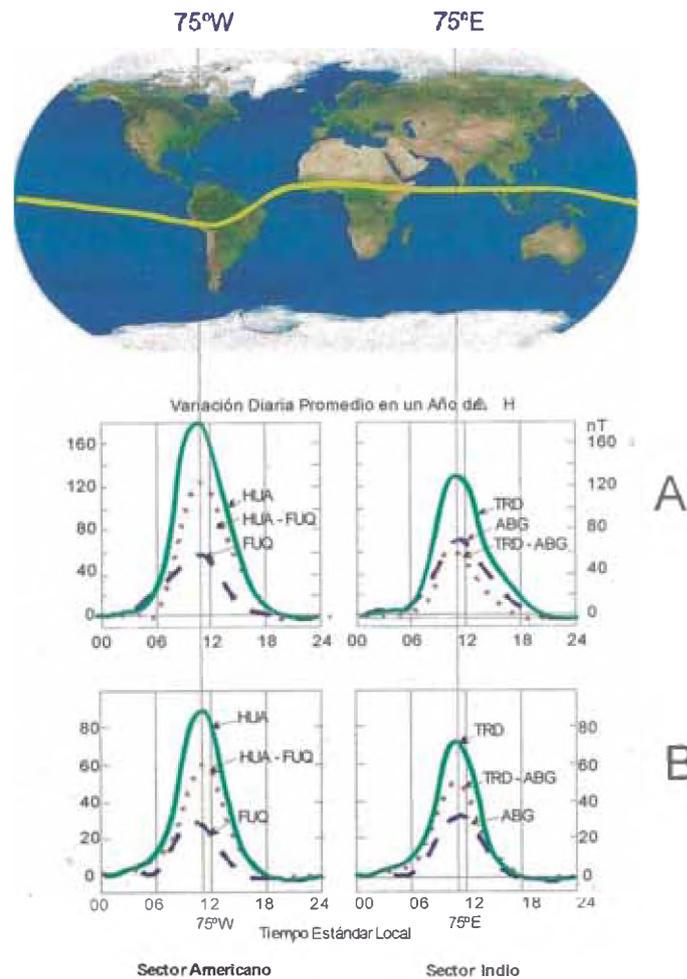


Fig 3.12 La intensidad del electrochorro ecuatorial, en alta actividad solar (1958-59) (figura A), y en baja actividad solar (1964-45) (figura B). En ambos casos es más intensa en Sudamérica (75° W- Huancayo) que en la India

De igual manera en “Longitudinal variation in the equatorial electrojet” menciona que, el realce del rango diurno de la componente horizontal (H) del campo magnético de la Tierra, sobre el ecuador magnético, creemos que es debido al electrochorro ecuatorial, y se observa que es mas pronunciado en la lado peruano y menos en la zona de la India. (R. G. Rastogi, 1962)

Asi mismo en el articulo “Local time and longitude dependence of the equatorial electrojet magnetic effects”, menciona que, la naturaleza de las desigualdad longitudinales en la intensidad de EEJ indica que el electrojet ecuatorial es más fuerte en South America (80° - 100° W) y más débil en el sector indio (75° E) (V. Doumouya, et.al, 2003).

Durante el Año geofísico Internacional (IGY), muchos observatorio geomagnéticos fueron establecidos dentro de la franja del EEJ. En Perú nuevos observatorios en Yauca, Chimbote, Chiclayo and Talara cubriendo todo el ancho del EEJ. In India nuevos observatorios fueron establecidos en Trivandrum and Annamalainagar. Observatorios del EEJ fueron organizados en Koror, Jarvis and Ibadan. En la Tabla 3.13 se tiene las coordenadas y los parámetros del campo magnetico de alguna de estos observatorios.

Observatory	Code	Geog. Lat Deg.	Geog. Long. Deg.	H nT	Z nT	I Deg.
Huancayo	HUA	12.1°S	75.3°W	27225	985	1.9°N
Yauca	YUC	15.9°S	74.7°W	27900	-2149	4.4°S
Chimbote	CMB	9.1°S	78.6°W	29700	3257	6.3°N
Chiclayo	CHL	6.8°S	79.8°W	30300	5381	9.7°N
Talara	TAL	4.6°S	81.3°W	30700	7385	12.5°N
Trivandrum	TRD	8.5°N	77.0°E	39896	-232	0.6°S
Kodaikanal	KOD	10.2°N	77.5°E	39265	2444	3.5°N
Annamalainagar	ANN	11.4°N	79.7°E	40309	4213	5.4°N
Addis-Ababa	AAE	9.0°N	38.8°E	36075	407	0.5°N
Koror	KOR	7.3°N	134.5°E	37959	-404	0.1°S
Jarvis	JAR	0.4°N	160.1°W	34462	778	2.2°N
Ibadan	IBD	7.5°N	3.9°E	32198	-4819	8.5°S
Guam	GUM	13.6°N	144.9°E	35805	7239	12.9°N
Fanning Island	FAN	3.9°N	159.4°W	32928	6148	10.6°N

Tabla 3.13. Lista de observatorios geomagnéticos ecuatoriales con sus respectivas coordenadas y parámetros de campo magnético (H, Z, I)

En la Fig. 3.14 se muestra la variación del rango de la media solar diaria de H, con el ángulo de inclinación de las estaciones ecuatoriales durante el period del IGY/IGC. El nombre de las estaciones y los valores de la component media horizontal del campo geomagnético (en unidades de 1000 nT) también son indicados en la figura 3.14. Los valores de ΔH en el sector peruano son mayores que en el sector de la India.

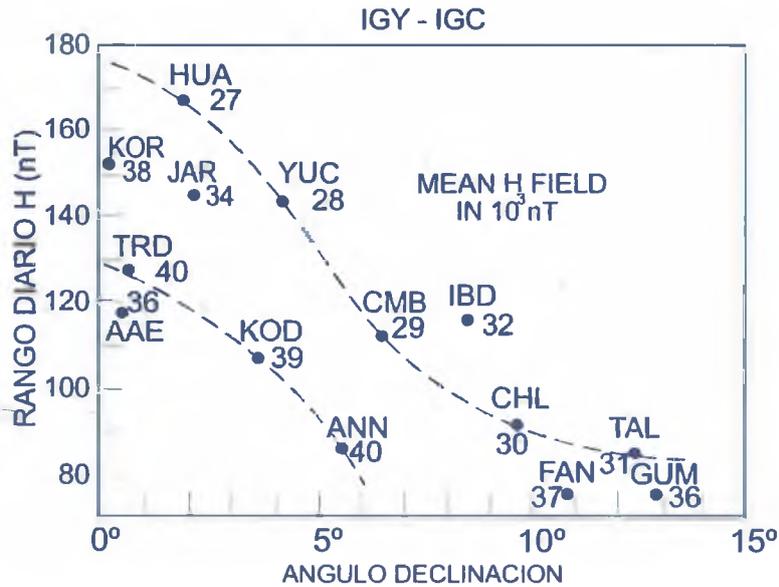


Fig.3.14 Rango diario (Daily range) en H graficado en estaciones de bajas latitudes, como una función del ángulo de inclinación (dip angle) durante el IGY/IGC (Rastogi R. G., 1964)

3.4.- Relación luni - solar con el electrochorro ecuatorial

El fenómeno de la precesion de los equinoccios es causado por el efecto gravitatorio que ejerce el sol y la luna sobre la zona ecuatorial de la Tierra. Así mismo hay una serie de investigaciones entre el Sol y la Luna y su relación con el EEJ mencionemos algunos temas:

- 1.- La variación diarias solares y lunares de corrientes de la Tierra cerca del ecuador magnetic (The solar and lunar daily variations of earth currents near the magnetic equator) (Rosemary Hutton, 1962)
- 2.- Mareas lunares en el Electrochorro ecuatorial y en la ionosfera sobre el ecuador magnetico (Lunar Tides in the Equatorial Electrojet and in the Ionosphere over the Magnetic Equator) (r. g. Rastogi, 1963)
- 3.- Las mareas Luni - solares en H en estaciones dentro del electrochorro ecuatorial (Luni-solar tides in H at stations within the equatorial electrojet) (R.G. Rastogi y N.B. Trivedi, 1970)
- 4.- Estudio de la Interaccion del Sistema Sol - Tierra sobre Vietnam: un proyecto cooperativo internacional (.Sun-Earth System Interaction studies over Vietnam: an international cooperative project) (Amory-Mazaudier, C. et. al. 2006)

3.5.- Correlación de las manchas solares y la componente H

Durante el tercer simposium internacional de aeronomia ecuatorial, realizado en la India (1967), Chernobky,e. j, presenta el tema denominado” Magnetic disturbance at Huancayo during the solar cycle indicated by hourly and daily changes in H .”, donde en la figura 3.15, muestra la media anual de las manchas solares de Zurich (Rz), y la media annual de ΔH de

una hora, y ΔH de 24 horas, desde 1923-1962. Donde se observa una fuerte correlación entre la actividad solar y el ΔH del observatorio magnético de Huancayo, crece la actividad solar y crece la ΔH . (Chernobky, e. j, 1967)

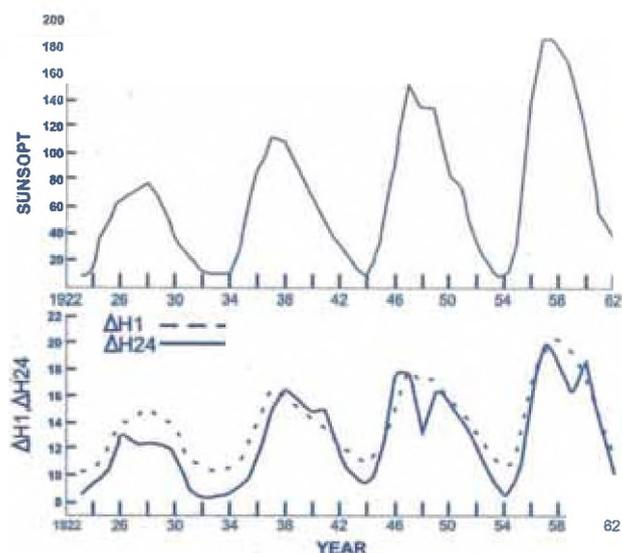


Fig.3.15 Promedio anual de manchas solares, cambio de una hora, y 24 horas en la actividad magnética de Huancayo.

3.5.- Relación entre la actividad magnética y los ciclos orbitales

Un nuevo tipo de ondas magneto - hidrodinámico ha sido descubierta a través de un intento de explicar las variaciones seculares geomagnéticas; y la naturaleza de las tensiones horizontales en la interface del núcleo – manto, que han sido consideradas en el estudio de las fluctuaciones “décadales” en la longitud del día (LOD); y estas evidencias señalan una correlación entre el campo gravitacional y el magnético. (R. Hide).

El proceso de las oscilaciones del fluido del núcleo de la Tierra producido por las mareas luni-solares, junto con la desaceleración secular de la rotación axial de la Tierra, Tales fenómenos podían explicar los episodios a gran escala de la formación de la corteza terrestre, la generación de flujo de basaltos, y los cambios repentinos en la frecuencia de cambio de la inversiones geomagnéticas. (Marianne Greff-Lefftz y Hilaire Legros, 1999)

El decrecimiento secular de Obliquity de la Tierra debido a la cupla del manto-núcleo (M. G. Rochester),

Los intervalos de polaridad del campo magnético de la Tierra, podrían estar relacionados con los efectos de la precesión de los equinoccios actuando en el proceso del dynamo de la Tierra (G. C. J. Suffolk, 1970).

A través de estudios de sedimentos se han encontrado la Modulación Orbital (Excentricidad, Oblicuidad y Precesión de los Equinoccios) de la intensidad del campo magnético de la Tierra (J. E. T. Channell, et. al. 1998).

CAPÍTULO IV.

PUNTO VERNAL, ECUADOR MAGNETICO Y EL ELECTROCHORRO ECUATORIAL

4.1.- Geomagnetismo y la Precesion del eje de la Tierra

La relación entre el Punto Vernal, campo magnético de la Tierra (ecuador magnético) y el electrochorro ecuatorial, lo relacionamos con el ingreso del punto vernal a la constelación de Aquarius (aproximadamente la declinación celeste es 11.5° S) es verificado en la Tierra, en Sudamérica con la estabilidad del Ecuador magnético a partir de la latitud 11.5° S desde el año 1940, hasta ahora (2010), el ecuador magnético esta fluctuando aproximadamente entre la latitud 11.5° S - 18° S (Perú-Bolivia). Y sobre el Ecuador magnético a 108 km de altura de la superficie terrestre se encuentra el electrochorro ecuatorial, en la Tierra siendo mas intenso en Perú y Bolivia.

El núcleo exterior de la Tierra es el sistema de fluido más grande en la Tierra. Es una vigorosa conveccion en gran parte de la historia, impulsado por la energía gravitacional en el enfriamiento secular de la Tierra. Aparte desde el rol esencial en la generación del campo magnético del núcleo (geodinamo), la convección de núcleo afecta y es afectado por las interacciones del núcleo - manto en varias escalas de tiempo desde décadas a millones de años.

En particular, las interacciones del núcleo-manto tienen gran importancia en geodesia, geomagnetismo, y estudios del geodinamo. Un ejemplo es la variación de la rotación de la Tierra que puede ser medida por observaciones geodesicas. Por otro lado, las observaciones geomagnéticas de la superficie pueden ser usadas para obtener la variación de momento angular del núcleo.

Comparando entre los dos conjuntos de observaciones no solamente identifica contribuciones del núcleo para la variación de la rotación de la Tierra, pero tambien provee restricciones sobre las interacciones del núcleo-manto. Recientes resultados sobre la gravedad en la superficie de la Tierra podría también incluir información sobre la dinámica del núcleo, como el resultados de la convección del núcleo resulta en redistribución de masa en escala-larga in el núcleo y cargando la presión dinámica en el borde del núcleo-manto (core-mantle bounding, CMB). La física detrás de todos estos procesos puede ser investigada mejor vía el modelado numérico del geodinamo. Igualmente importante, las observaciones pueden ser usadas para mejores modelos numéricos. Es en el núcleo de la Tierra que la geodesia, geomagnetismo, y geodinamo interactúan cada uno del otro, y las consecuencias llegan lejos más allá del núcleo y la dinámica de núcleo.

La relación entre el fenómeno de la Precesion del eje de la Tierra y el campo magnético de la Tierra aparece en el articulo "Precesion de la Tierra como causa del Geomagnetismo" ("Precession of the Earth as a cause of geomagnetism") de W. V. R. Malkus de la universidad de California. Allí el autor explica que la precesion de los equinoccios juega un rol importante en la distribución de energía del geodinamo de la Tierra (w. v. r. malkus, 1963 y 1968).

1.- J. Vanyo, et. al. en “Experimentos sobre la Precession del flujo en el nucleo liquido de la Tierra” (Experiments on precessing flows in the Earth's liquid core) sugieren que la precesion induce a una variedad compleja de fluidos laminares, incluyendo una variación lenta y/o patrones periódicos , en el núcleo liquido de la Tierra. (Our observations suggest precession induces a complex variety of laminar flows, including slowly varying and/or periodic patterns, in the Earth's liquid core). (J. Vanyo, et. al.).

2.- M. G. Rochester, et.al. menciona si “La precesion puede dar fuerza al dinamo geomagnético” (Can Precession Power the Geomagnetic Dynamo?) (M. G. Rochester, 1975)

3.- J. P. Vanyo , et.al. en “Precesion del núcleo: estructura del flujo y energia” (Core precession: flow structures and energy) menciona que, la configuración de la precesion y el limite entre el núcleo-manto (CMB), son conocidos con certeza y precisión. Dificultades analiticas han sido el obstáculo. Los experimentos ilustran las consecuencias de la precesion y la elipticidad, proporciona criterios para validar modelos analíticos y numéricos. (Precession and core–mantle boundary (CMB), configuration are known with certainty and precision. Analytical difficulties have been the obstacle. Experiments illustrate the consequences of precession and ellipticity, provide criteria for validating analytical and numerical models) (J. P. Vanyo y J. R. Dunn).

4.- M. A. Pais, et.al. en “Precesion-induce flujo en el recipiente liquido-lleeno y el núcleo de la Tierra” (Precession-induced flows in liquid-filled containers and in the Earth's core) (M. A. Pais and J. L. Le Mouél), muestran la correspondencia entre las características observadas en el regimen laminar y que es esperado desde la teoria. También adaptamos las características mencionadas en el caso de la Tierra y discutimso sus implicancias geofisicas (we explicitly show the correspondence between the features observed in the laminar regime and what is expected from theory. We also scale the features mentioned above to the case of the Earth and discuss their geophysical implications).

5.- F. D. Stacey en “ La Cupla del núcleo para la Precesion de la Tierra” (The Coupling of the Core to the Precession of the Earth) (Frank D. Stacey), indica que, el movimiento del núcleo es encontrado para contribuir sobre la precesion y nutacion semi-annual. (Motion of the core is found to contribute to the semi-annual terms of precession and nutation).

La Deriva Polar

S. K. Runcorn, durante los 50's, descubrió que durante los últimos 500 Ma, la posición del polo magnético (ver figura 4.1) había migrado de manera gradual desde una posición próxima a Hawaii, hacia el norte a través de Siberia, hasta llegar a su posición actual. Esta idea fue apoyada al determinar que para el carbonífero Europa se encontraba cerca del Ecuador. Las curvas de migración polar entre Europa y América tienen trayectorias similares, solo que separadas 24° de longitud.



Fig. 4.1. Deriva del polo magnéticos

4. 2 Inversiones del campo magnético

En 1905, B.Brunes, estudiando el magnetismo remanente de las lavas en la región cercana a Clermont-Ferrand, detecto que algunas coladas tenían la polaridad invertida, con respecto al campo actual terrestre y a las lavas de otras coladas. En ambos casos, la dirección de emanación coincidía, aproximadamente, con el campo actual. Estas lavas pertenecen al cuaternario superior, con edades entre 700 mil y 2, 500,000 años. Otros autores entre los que conviene destacar a Matuyama en 1929, estudio las lavas de los volcanes del Japon, constataron que no se trataba de un fenómeno local, sino a escala mundial. La conclusión, por tanto, solo puede ser que el campo magnético terrestre ha sufrido inversiones de polaridad en el transcurso del tiempo. Estas inversiones de polaridad se han detectado también en las muestras de sedimentos marinos obtenidos en sondeos. La correlación de los datos deducidos tanto de lavas como de sedimentos marinos ha dado como resultado el establecer una cronología de las épocas en que el campo magnético terrestre es normal o inverso. Para los últimos 4 millones de años se han establecido cuatro épocas que se denominan de brunhes (normal), Matuyama (inversa), Gauss (normal), Gilbert (inversa). Sin embargo, en cada una de estas épocas hay periodos más o menos cortos denominado sucesos, en los que la polaridad tiene el signo opuesto a la correspondiente de la época. Esto complica la situación multiplicando el número de inversiones. La figura 4.2 muestra el esquema de inversiones del campo magnético en los últimos 4 millones de años.

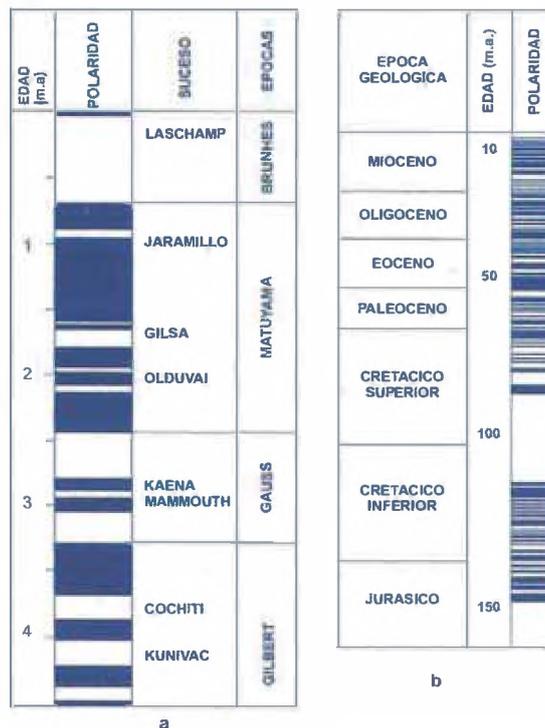


Fig. 4.2. Epocas de polaridad normal (blanco) e invertida (azul) del campo geomagnético: a) reciente hasta 4.5 m.a; b) hasta el Jurásico.

4.3.- Paleomagnetismo y los ciclos orbitales

Uno de los fenómenos que más ha contribuido al conocimiento de las variaciones del campo magnético, es el del magnetismo remanente de las rocas. Este fenómeno se debe a la propiedad de ciertas rocas de adquirir una magnetización producida por la acción de un campo externo, que permanece estable aunque desaparezca o cambie dicho campo.

En general, la magnetización remanente es adquirida durante la formación de la roca y proporciona información sobre el campo magnético terrestre en aquella época. En concreto, las lavas adquieren una magnetización remanente. Esta imanación refleja las características del campo terrestre de la época en la que se formaron las coladas de lava. Se puede considerar éste, por tanto, como un magnetismo fósil. La primera indicación de que la imanación remanente de las rocas está en relación con el campo magnético terrestre del pasado es debida a los estudios de Melloni y Folgerheiter a fines del siglo pasado sobre lavas de volcanes italianos. Los estudios modernos de paleomagnetismo se inician con los trabajos sobre las lavas históricas del Etna por R. Chevallier, en 1925. A partir de 1940, Konisberg, E. Thellier y T. Nagata dieron un gran impulso al paleomagnetismo.

4.3.1.- Escala de tiempo en la polaridad geomagnética (GPTS) y milankovitch

Una lista de las fechas de los cambios de polaridad geomagnética antiguo es conocida como una escala de tiempo en la polaridad geomagnética (geomagnetic polarity time scale, GPTS). En la figura 4.3 se muestra la historia de la polaridad desde la anomalía magnética marina. Se muestra la serie magnoestratigráfica de brumes, gauss

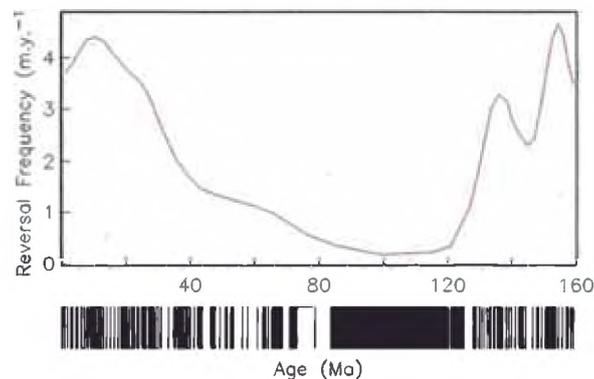


Fig. 4.3. Codigo de Barra: Escala de Tiempo de la Polaridad geomagnética, para los últimos 150 Ma. Trazas de la líneas la frecuencia de reversas (numero de reversas en el interval de 4 millones de años) estimado por Constable (2003). (Barcode: The Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS) for the last 150 Ma (Berggren et al., 1995; Gradstein et al., 1995). Line traces the reversal frequency (number of reversals in a four million year interval) estimated by Constable, 2003).

4.3.2.- El GPTS y la Magnetoestratigrafía (magnetostratigraphy)

La escala de tiempo geológica es una lista de eventos ordenados puesta en un contexto espacio /temporal. Y esta en revisión continúa. El más reciente es de Gradstein et al.. (2004), lo cual probablemente puede ser el estandar de la decada

Una de las herramientas importantes en ensamblar la escala de tiempo geologico es la escala de tiempo de polaridad geomagnetica (GPTS). Identificacion de un cambio de polaridad particular permite la correlación directa de eventos isócronos entre secuencias continentales y marinas, en el hemisferios norte y del sur y en el oceano Pacifico y Atlantico

4.3.3.- Astrocronología (Astrochronology)

Hasta 1990, el GPTS fue datado usando edades numericas sobre la base de la desintegracion de elementos radioactivos (en gran parte el método de k / Ar). Un enfoque alternativo para datar las largas secuencias estratigraficas en uso está basado en la climatologia induciendo cambios en la litologia o en los registros de isotopos estables que son causados por la variacion de las orbitas de la Tierra alrededor del Sol. La relación de las orbitas de la Tierra y el Sol resulta en cambios en cantidad y distribución de latitudinal de radiación solar (asi llamado "Insolacion") alcanzando la Tierra como una función del tiempo. De acuerdo con la hipótesis de Milankovitch (por ejemplo., Hays et al.. 1976), los cambios en insolation en altas latitudes norte varían con periodicidades reflejando: la precesion (alrededor de 21 kyr), oblicuidad (~ 40 kyr) y excentricidad (~ 100 kyr).

Los cambios en insolation resultaron en los cambios medibles en la quimica de los océanos y la atmósfera y dejaron una marca indeleble sobre la litoestratigrafia (por ejemplo., La variacion en carbonato) y los ratios de isotopos de oxigeno (el isótopo ligero de O₁₆ se encuentra preferentemente en el hielo glacial en altas latitudes, dejando los océanos más ricos en O₁₈.)

Porque la precesion, oblicuidad y excentricidad de la órbita de la Tierra puede ser pronosticado robustamente como una función de la edad por lo menos durante varios millones años (y quizás incluso 10s de millones de años), identificación de estos patrones en los registros estratigraficos permite que las edades numéricas sean dado a la secuencia sedimentaria.

Éste es un método conocido como "Astrocronologia". Empezo con Shackleton (1990) e Hilgen et al.. (1991), astrocronologia ha sido aplicado al GPTS (ver por ejemplo., figura 4.4).

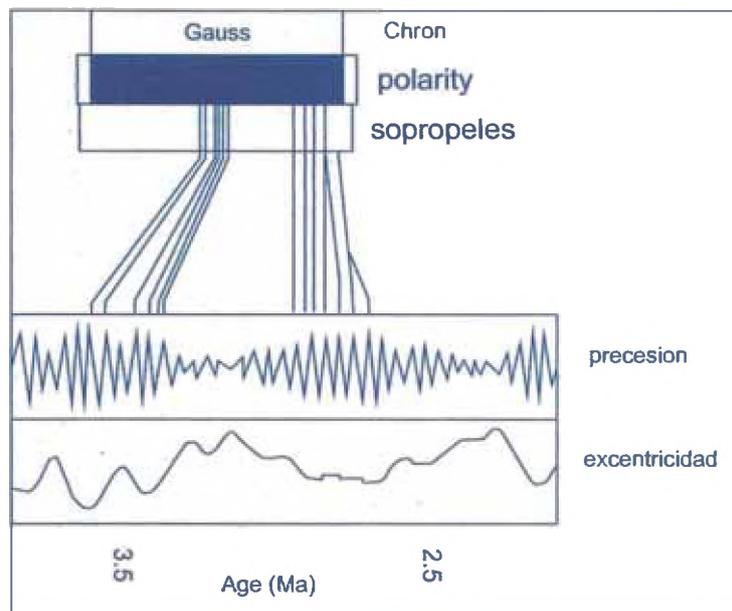


Fig. 4.4. Ilustracion del método de datacion de "Astrocronologia". La secuencia de intervalos de polaridad y inducidos climaticamente en las capas de sapropel es correlacionado al GPTS (izquierdo) y a los ciclos orbitales (derecha). Las edades numéricas de los ciclos orbitales pueden ser tranferidos al GPTS. [Adaptado desde Hilgen et al., 1991.]

Otra evidencia de la relación entre las coordenadas precesionales y el paleomagnetismo, se encuentra en el artículo "Orbital modulation of the Earth's magnetic field intensity" ("Modulación Orbital de la intensidad del campo magnético de la Tierra"), de los autores J. E. T. Channell, D. A. Hodell, J. McManus: & B. Lehman. En este artículo se menciona que en la base de datos de los sedimentos del Pacífico central, se ve que la intensidad del campo geomagnético de la Tierra, puede variar por la oblicuidad orbital de la Tierra (41 kyr), la eccentricidad (100 kyr) y la precesion de los equinoccios (23 Kyr).

Este artículo (Orbital modulation of the Earth's magnetic field intensity) relaciona los ciclos orbitales con la intensidad del campo magnético de la Tierra (J. E. T. Channell, et. al. 1998)

Hace mas de 20 años, sobre la base de datos de sedimentos del Pacifico, sugieren que la intensidad del campo de geomagnetic podría variar con la oblicuidad de la Tierra (centrado

en un período de 41 kyr) Como un resultado del efecto de la oblicuidad sobre la fuerza de precesion en el núcleo de la Tierra (Kent, D. V. y Opdyke, N., 1977).. Aquí, sin embargo, reportamos un análisis espectral de registros sedimentarios de relative paleointensidad geomagnetica desde dos sitios del Atlantico norte en la cual muestra una potencia significativa en la eccentricidad (-100 kyr) y la oblicuidad (41 kyr). El potencia de la excentricidad está también presente en la mayor parte de la propiedades magneticas (como la susceptibilidad) controlado por la eccentricidad en el cambio climatico. El potencia de la oblicuidad aparentemente no es propiedad magnetica importante, y parece ser una propiedad del campo magnetico, por lo tanto prove evidencias para la fuerza orbital de la intensidad del campo magnetico.

Testing the Influence of Orbital Cycles on Paleointensity Records and Timing of Reversals and Excursions (Xuan, C y Channell, 2009)

Los ciclos orbitales con periodos de 100 kyr y 41 kyr, detectados en sedimentos remanentes normalizados (relative paleointensidad) registrados por análisis espectral o el análisis wavelet han sido atribuidos tambien al control orbital sobre el geodinamo. (Orbital cycles with 100 kyr and 41 kyr periods, detected in sedimentary normalized remanence (relative paleointensity) records by power spectral analysis or wavelet analysis, have been attributed either to orbital control on the geodynamo).

4.4.- Punto vernal en Aquarius y el electrochorro ecuatorial

Los ciclos orbitales (Precesion, eccentricidad y oblicuidad) esta relacionado con el campo magnetico terrestre, y la precesion de los equinoccios tiene su punto de partida en el desplazamientoi retrogrado del punto vernal por la diferentes constelaciones en un periodo de 2000 años (subciclo de Milankovitch).

El ingreso del punto vernal (ver figura 4.5) a la Constelacion de Aquarius el 21 de marzo de 1940, en la Tierra se verifica con la estabilidad del ecuador magnético a partir de la latitud 11.5° S, y sobre el ecuador magnético a 108 km de altura aproximadamente se ubica el electrochorro ecuatorial, siendo mas intenso en toda la Tierra en Perú y Bolivia, es especial en los equinoccios (21 de marzo y 22 de septiembre)

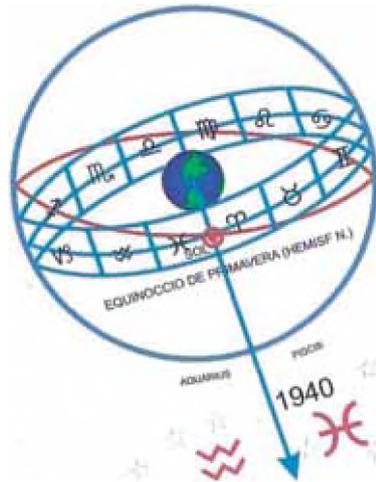


Fig. 4.5.- Entrada del punto vernal a la constelación de Aquariu

4.4.1.- Definición de Punto vernal

Albert Einstein, decía: "...no nos habíamos percatado del hecho de que todas las observaciones deben ser realizadas en un cierto sistema de coordenadas y en lugar de descubrir su estructura, hacíamos caso omiso de su existencia". Así mismo Dercourt-Paquet en su libro de Geología menciona que: es necesario un cronometro natural para coordinar y clasificar las observaciones en la Tierra, en la Tierra ese cronometro natural viene a ser movimiento retrogrado del punto vernal. El campo de los controles de la precesión equinoccial y sus coordenadas deben emanar del punto vernal y para que sean establecidas lo hemos denominado coordenadas precesionales. El punto de referencia o plano fundamental variable del punto vernal (γ) para que converjan las coordenadas, y la metodología de la investigación de las Ciencias de la Tierra.

El punto vernal es un eje sensitivo de conductividad máxima del EEJ en los equinoccios (ver fig. 4.4) en Cusco y Madre de Dios (Perú) y Bolivia, durante del paso del Sol por la intersección del ecuador celeste con la eclíptica.

El ingreso del punto vernal a la constelación de Aquarius es verificado en la Tierra, en Sudamérica, en especial en el Perú y Bolivia, por la estabilidad del ecuador magnético a la latitud 11.5° sur, sincronizado con la declinación celeste 11.5° sur, inicio de la constelación de Piscis y finales de la constelación de Aquarius. Sobre el ecuador magnético desde la superficie de la tierra a 108 Km., se encuentra el electrochorro ecuatorial, cuyas mediciones demuestra que se trata de un eje sensitivo de máxima conductividad, cuyos efectos han alcanzado su mayor intensidad en los equinoccios, (durante el paso del sol, por la intersección del ecuador con la eclíptica).

En el grafico 4.6, se observa en los equinoccio de marzo y setiembre al medio dia local (eje y) y cuya longitud es de 90° W es mas intenso el electrochorro ecuatorial (colo rojo). Y en los solsticio de Junio y diciembre es muy débil.

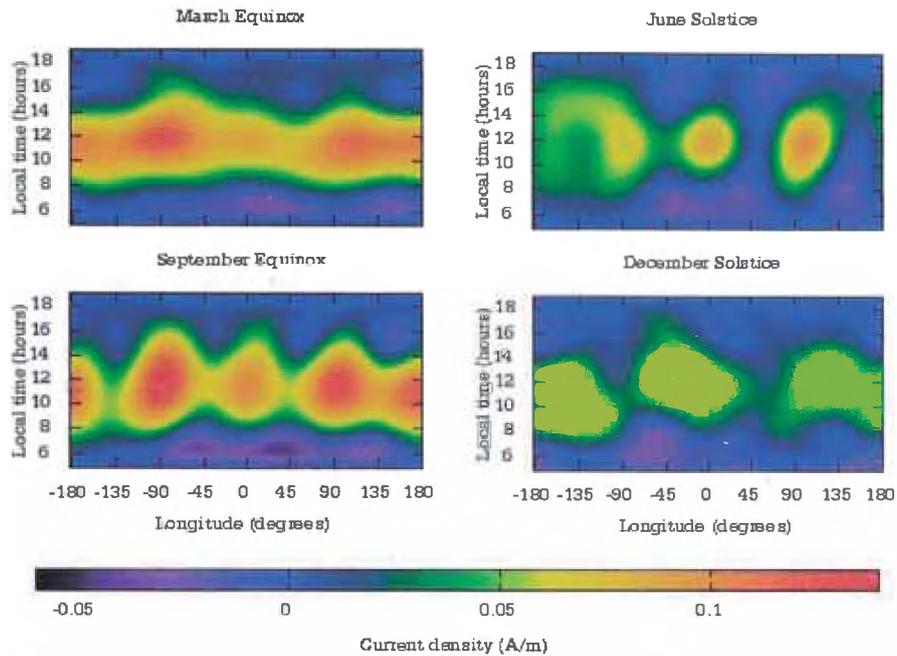


Fig. 4.6. Variación temporal de la intensidad del EEJ a nivel global
 [http://geomag.org/models/EEJ.html]

De igual según los datos tabulados del proyecto Julia (Jicamarca-Peru), ver figura 4.7, se observa que es mas intenso al medio día local (eje x) y en los equinoccios de marzo y setiembre (eje y)

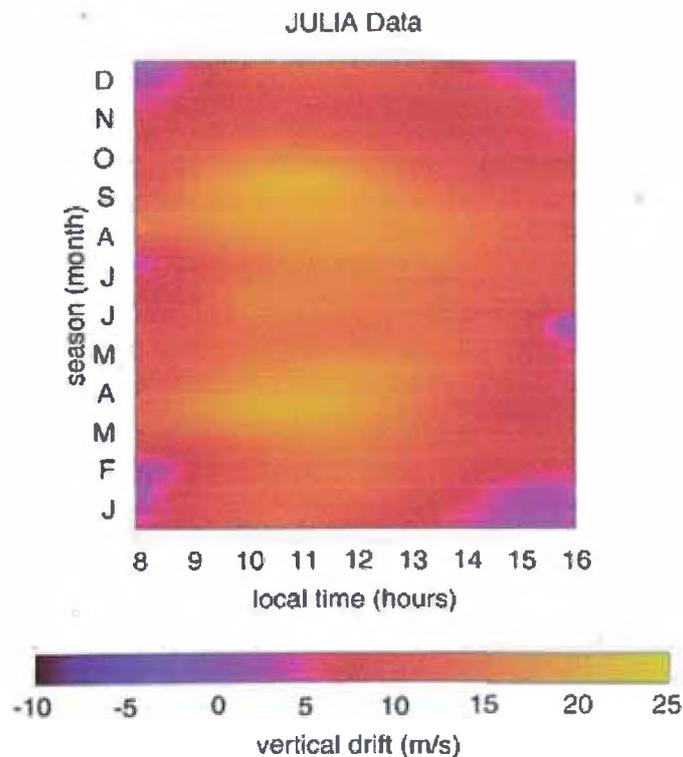


Fig. 4.7. El electrochorro ecuatorial, con datos del proyecto JULIA, (fuente: ROJ)

D.G. Osborne en “Cambios diarios y estacionales del EEJ en Perú” (Daily and seasonal changes of the equatorial electrojet in Peru) (D.G. Osborne, 1964), menciona que, la información sobre los cambios en la intensidad y la latitud del electrochorro ecuatorial diaria es obtenida de un análisis del rango diurno de las componentes magnéticas horizontales y verticales en estaciones cerca del ecuador magnético, y muestra que la mayor intensidad se da en los periodos de los equinoccios

F. N. Okeke, et.al. en “variación diaria geomagnética de H, D y Z en latitudes ecuatoriales” (Daily variations of geomagnetic H, D and Z-field at equatorial latitudes) (F. N. Okeke y Y. Hamano, 2000) menciona que, las variaciones estacionales observadas en la amplitud dH, con un máximo en los equinoccios debe ser debido al mayor realce de la densidad de electrones ecuatoriales en los equinoccios.

4.4.2.- AGI y Huancayo mayor intensidad del EEJ en los Equinoccios

El Año Geofísico Internacional – AGI (1957 - 1958), proyecto internacional para la exploración concentrada y coordinada de la Tierra y de su entorno cósmico. Más de 30.000 científicos y técnicos de 66 países cooperaron en una serie de observaciones sobre la Tierra y sus alrededores cósmicos. Cinco de las once ramas científicas estudiadas en el AGI se hallaban dedicadas específicamente a este tipo de investigación: actividad solar, rayos cósmicos, geomagnetismo, auroras boreales y física ionosférica. El periodo (1957 - 1958) escogido hubo una actividad solar intensa. Se obtuvieron importantes resultados en muchas áreas de la geofísica. Las principales actividades fueron el lanzamiento de satélites artificiales que permitió el descubrimiento de los cinturones de radiación de Van Allen, el sondeo del suelo oceánico que impulsó la teoría integrada de la tectónica de placas y las exploraciones científicas y sistemáticas en la Antártida. El Año Geofísico Internacional tuvo también como resultado el Tratado del Antártico que en 1959 reservó la Antártida para la investigación científica con fines pacíficos. El acuerdo entró en vigor en 1961 y ha sido firmado por un total de 27 países.

El Observatorio Magnético de Huancayo (OMH) tomó parte muy activa durante el Año Geofísico Internacional -AGI- (1957 - 1958). La posición del OMH durante el periodo AGI es en Coordenadas Geográficas (12° 02,3'S, 75° 19,4'O) y en Coordenadas Geomagnéticas (0,6° S, 353,8 E). En este observatorio las variaciones magnéticas son registradas como trazos continuos de las componentes D, H y Z del campo geomagnético en magnetogramas en un variógrafo (S.E.Forbush Y M.Casaverde, 1961).

Joel rojas acuña y jorge a. bravo cabrejos .en su artículo “*variación geomagnética diaria en huancayo durante el año geofísico internacional (1957 – 1958)*”, muestran en la figura 4.8, la variación diaria en Huancayo para las tres componentes del campo geomagnético. Los resultados presentados en este trabajo están basados en todos los datos horarios disponibles del OMH durante los dos años 1957 y 1958, siendo aproximadamente 52.000 los datos usados y procesados.

En el gráfico 4.8 la hora del día es la ordenada y el día durante el periodo AGI la abscisa. El curso de cada línea de contorno indica la hora del día y el día del año cuando la desviación de la media tiene el valor indicado para aquella línea. La máxima desviación positiva de H es alrededor de 150 nT y ocurre cerca de los equinoccios, siendo más pronunciado en el

equinoccio de verano del hemisferio sur. Huancayo se encuentra al norte del Ecuador dip magnético y en el hemisferio sur

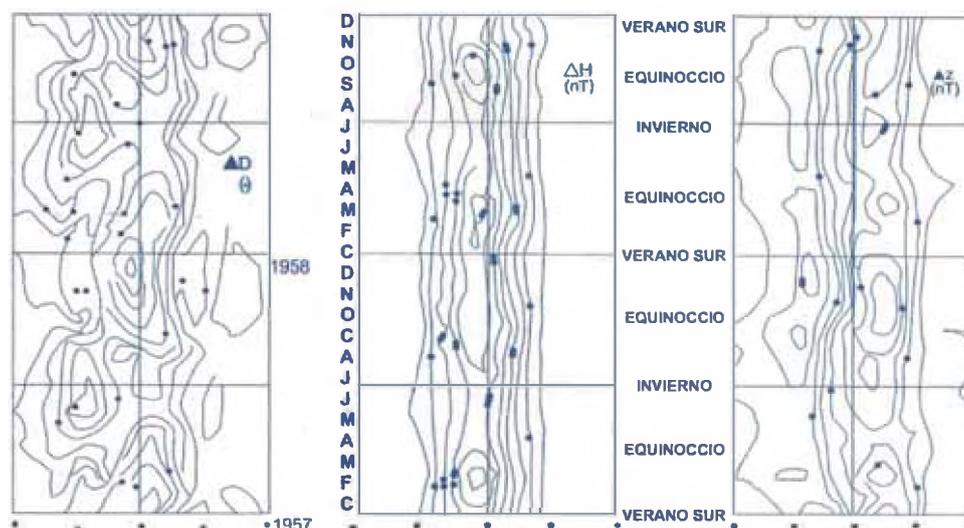


Fig. 4.8. Variación magnética diaria de la componente H del campo geomagnético en Huancayo durante el periodo 1957-1958

4.5.- Nuevo meridiano base para el estudio de datos geofísicos

En la XXIV Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) realizado del 2-13 de Julio del 2007 en la ciudad de Perugia (Italia), se presentó el tema denominado “Cusco base meridian for the study of geophysical data”

El IUGG, es una organización científica no gubernamental, establecida en 1919 para promover y coordinar el estudio de la física, química y propiedades matemáticas de la Tierra y su desarrollo en el espacio. Está integrada por:

- Asociación Internacional de Geodesia (IAG) - www.iag-aig.org
- Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA) www.iugg.org/IAGA/
- Asociación Internacional de ciencias hidrológicas (IAHS) - www.cig.ensmp.fr/~iahs/
- Asociación Internacional de Meteorología y ciencias Atmosféricas (IAMAS) www.iamas.org
- Asociación Internacional para las ciencias físicas de los Océanos (IAPSO) www.iugg.org/iapso/
- Asociación Internacional de sismología y física del interior de la Tierra (IASPEI) - www.iaspei.org
- Asociación Internacional de vulcanología y química del interior de la Tierra (IAVCEI) - www.iavcei.org

4.5.1.- Cusco meridiano base ($72^{\circ}\text{W} = 0^{\circ}$)

El propósito de esta propuesta es tener una mejor comprensión y sincronizar el manejo de una base de datos, en tiempo real, de los diferentes fenómenos que ocurren en la Tierra. Se ha propuesto que el meridiano del Cusco (72°W) sea el meridiano base (0°), en reemplazo del meridiano de Greenwich (ver foto 4.9), que es un semicírculo imaginario que une los polos y que pasa por el antiguo real observatorio de Greenwich, al este de Londres (ver figura 4.10). Se fundamenta esta propuesta con la entrada del punto vernal a la constelación de Aquarius, sincronizado con la estabilidad del ecuador magnético y con la mayor intensidad del electrochorro ecuatorial.



Foto 4.9. El autor en el meridiano de Greenwich (Londres)

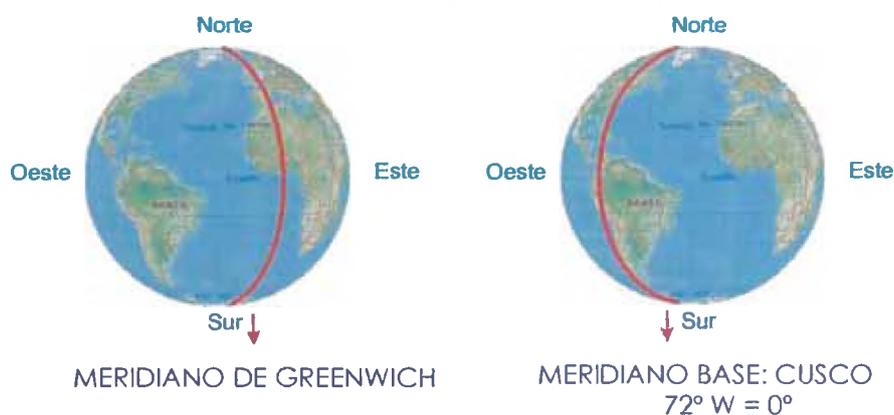


Fig. 4.10. Meridiano de Greenwich y Meridiano base del Cusco. (0°)

4.5.2.- Meridiano base del Cusco y el proyecto LISN

Se presento el tema denominado “Cusco base meridian for the study of geophysical data” en la XXIV Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica realizado del 2-13 de Julio del 2007 en la ciudad de Perugia (Italia). El propósito es tener una mejor comprensión y sincronizar el manejo de una base de datos, en tiempo real, de los diferentes fenómenos que ocurren en la tierra. Se ha propuesto que el meridiano del Cusco (72° W) sea el meridiano base (0°), en reemplazo del meridiano de Greenwich (ver figura 4.10), que es un semicírculo imaginario que une los polos y que pasa por el antiguo real observatorio de Greenwich, al este de Londres (ver foto 4.9). Se fundamenta esta propuesta con la entrada del punto vernal a la constelación de Aquarius, sincronizado con la estabilidad del ecuador magnético y con la mayor intensidad del electrochorro ecuatorial

Añadamos a esta propuesta, que en el reporte final del IUGG (Sapporo-2003, Japón), el Grupo de trabajo de Geociencias: El Futuro, se menciona: “El estudio de la tierra como un sistema dinámico es de lo más importante para comprender nuestro planeta y las condiciones que permiten la vida y el desarrollo de ésta” (The study of the Earth as a dynamic system is of utmost importance to the understanding of our planet and of the conditions that allowed life to develop on it...).

4.5.3.- Proyecto LISN y el meridiano 70° W

A la propuesta presentada sobre el meridiano base 72° W, para sincronizar los datos de los diferentes fenómenos de la Tierra, respalda el proyecto red de sensores ionosféricos de baja latitud (*Low-Latitude Ionospheric Sensor Network - LISN*) sobre el meridiano 70° W para estudiar la Tierra como un sistema dinámico, ver figura 4.11.



Fig. 4.11. Meridiano 70^a W y el proyecto LISN

Proyecto internacional LISN – IGP (PERU) - Boston College (EEUU), es gerenciado por el Perú a través del Instituto Geofísico del Perú (IGP), con la finalidad de realizar trabajos de investigación científica en torno a los fenómenos ionosféricos en el ecuador magnético y

sobre la electrodinámica en la ionósfera y termósfera (ITE: ionosphere-thermosphere-electrodynamics). Durante el desarrollo del mismo se instalará un conjunto de instrumentos geofísicos como: GPSs, magnetómetros y ionosondas, los que formaran parte de un Observatorio Distribuido en América del Sur. Aproximadamente se contará con 50 estaciones de GPS's instaladas en diversos países del continente Sudamericano y a lo largo del meridiano 70°W, en América del Sur, 5 estaciones de magnetómetros y 5 estaciones de ionosondas. Este observatorio funcionará en tiempo real, de forma continua y permanente.

Quienes coordinan el proyecto LISN: C. E. Valladares, Boston College, V. Eccles, Space Environment Corporation, E. Kudeki, University of Illinois, R. F. Woodman, Instituto Geofísico del Perú, y J. W. Wright, University of Colorado

Los 3 tipos de instrumentos que se utilizan en la red LISN se complementan mutuamente y proporcionarán un nuevo tipo de observaciones, continuas en el tiempo y con gran extensión espacial, de los parámetros básicos de la ionosfera, de su velocidad, y de las irregularidades que se desarrollan en la capa F.

1.- IONOSONDA, La primera ionosonda fue instalada en el observatorio de Jicamarca en Junio de 2008 con el fin de realizar una serie de pruebas, ayudar a desarrollar los programas de operación más óptimos, y comparar las mediciones del nuevo sistema con las densidades tomadas con el radar incoherente. También se está estudiando la respuesta en frecuencia de la antena transmisora y su adaptabilidad para operar en frecuencias tan bajas como 900 kHz. Otra de las tareas a desarrollar en Jicamarca consiste en determinar la mejor configuración y la distancia óptima entre los dipolos receptores con el fin de maximizar la capacidad de la ionosonda para medir el lugar originario de los ecos y los gradientes del plasma ionosférico.

2.- GPS, Este proyecto LISN estará constituido por 70 receptores GPS a nivel de Sudamérica, con capacidad para medir parámetros de la ionosfera como el Contenido Electrónico Total (TEC), centelleos de amplitud y fase y perturbaciones ionosféricas más conocidas como TIDs (Traveling Ionospheric Disturbances). La información generada complementa estudios de movimiento relativo entre las placas Nazca y Sudamérica y deformación regional.

3.- MAGNETÓMETRO, El prototipo de un nuevo magnetómetro que mide los tres componentes del campo magnético ha sido diseñado por Oscar Veliz del observatorio de Jicamarca con el fin de contar con un instrumento económico y eficiente que pueda ser usado en América del Sur o en otros lugares con condiciones climáticas parecidas. El nuevo magnetómetro ha sido calibrado para operar con éxito en climas cálidos y húmedos como generalmente se encuentra en la región Amazónica, o fríos y secos como predomina en el lado oeste de los Andes. Se tomarán datos con estos magnetómetros digitales las tres componentes del campo magnético (H, Z, D).

4.5.4.- Red LISN

La red LISN se complementará con un modelo físico asimilativo que permitirá efectuar una predicción actual de las mediciones ionosféricas tales como la densidad electrónica, conductividad, y desplazamientos ExB del plasma incluyendo los vientos de las partículas

neutras. Este nuevo observatorio distribuido permitirá entender la variabilidad de día-a-día así como la estabilidad de la ionosfera en bajas latitudes y hacer predicciones regionales de su estado.

El alto número de sensores disponibles ahora y otros que pronto estarán instalados en América del Sur presenta un nuevo desafío en la síntesis de la información, asimilación de los resultados, y comparación de los datos experimentales con las predicciones de los modelos físicos. El propósito de la asimilación es usar toda la información que está disponible y determinar tan exactamente como sea posible el estado de la ionosfera ecuatorial. La información puede ser directa, como la densidad y vientos medidos con satélites, o indirecta como el TEC medido con receptores GPS y los perfiles de rango-frecuencia registrados con ionosondas.

Los datos de cada instrumento serán transmitidos en tiempo casi real con una cadencia de 15 minutos a un servidor central que se encuentra en las oficinas del Instituto Geofísico del Perú en Lima, ver figura 4.12.

Es importante recalcar que la red LISN junto con la asimilación de datos proporcionará una caracterización en tiempo real de la densidad del plasma ionosférico, las conductividades a lo largo del campo magnético, la velocidad del plasma y el valor del viento meridional. Uno de los propósitos del proyecto LISN, es usar datos del radar de Jicamarca para validar los resultados de la asimilación y luego extender la asimilación incorporando valores de la densidad y velocidad medidos en Jicamarca.

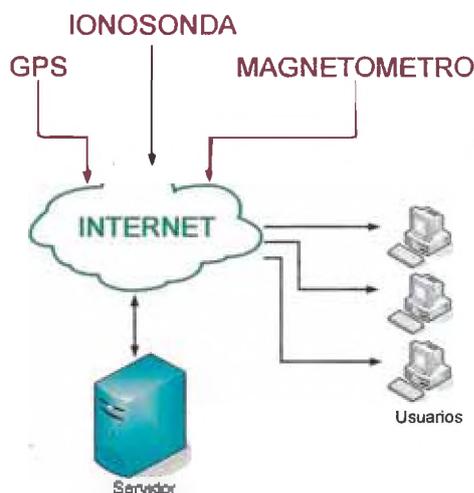


Fig.4.12. Red de datos de GPS, ionosonda, magnetómetros y los usuarios

El objetivo principal del observatorio LISN es obtener nuevas y más completas mediciones que son necesarias para resolver varias incógnitas científicas relacionadas con (1) la importancia de las capas E esporádicas para favorecer o inhibir el desarrollo de la F dispersa, (2) la detección y el papel de las ondas de gravedad atmosféricas para iniciar la inestabilidad que origina las burbujas del plasma, y (3) determinar las causas de la abrupta variabilidad en longitud que existe en la estadística de las burbujas del plasma en América del Sur.

4.5.5.- Primer Taller de LISN

Del 1 al 9 de agosto del 2009, el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ) fue escenario del Primer Taller *Low-Latitude Ionospheric Sensor Network* (LISN). Al evento asistieron científicos, físicos, ingenieros y estudiantes de países como: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Estados Unidos, Italia, Perú y Venezuela. Todos ellos acudieron al taller con intereses en estudios de alta atmósfera y con el deseo de colaborar en el cumplimiento de los objetivos del proyecto. Mauricio Gende, de la Universidad Nacional de La Plata (Argentina), nos comentó lo siguiente: “...Por su dimensión e importancia está claro que el proyecto LISN marcará un hito en los estudios ionosféricos.... LISN, aún siendo un proyecto específico, tiene un alto componente multidisciplinario como la mayor parte de los proyectos internacionales modernos y ambiciosos.... La "Escuela" sirvió para homogenizar conocimientos específicos sobre el instrumental de LISN entre un grupo de científicos que provenía de áreas tan diversas como la ingeniería, la astronomía, la física, la geofísica o la geodesia...”

CAPITULO V

PALEOCLIMA DE LA TIERRA

5. Introducción

Gran cantidad de investigaciones geológicas han mostrado que, con frecuencia, las condiciones climáticas del pasado han sido muy diferentes de las actuales. Las evidencias indican además que el rango de variación climática puede llegar a ser mucho más amplio de lo que muestran los registros históricos. De todo ello, se desprende que estos datos de épocas más recientes son insuficientes para representar todos los escenarios climáticos posibles. La información que falta ha de ser extraída del registro geológico y ha de servir para reconstruir los climas pasados y sus variaciones; éste es el objetivo de la Paleoclimatología. Se tiene constancia histórica de que el clima cambia a lo largo del tiempo. Por ejemplo, los efectos causados durante la Pequeña Edad del Hielo (1300-1840 dC) han quedado registrados en numerosas crónicas de la época; por otro lado, las técnicas actuales han permitido conocer que hace 9.000 años el desierto de Arabia estaba surcado por ríos. Sin embargo, la prueba más clara de la existencia de cambios climáticos y de su ciclicidad fue encontrada en un registro oceánico en forma de variación de los valores isotópicos del oxígeno extraído de las conchas carbonatadas de foraminíferos (Emiliani, 1955), que indicaba además que el océano reaccionaba de alguna manera a estas oscilaciones climáticas. Esta señal fue relacionada con las oscilaciones del volumen de hielo de la criosfera (Shackleton, 1967); posteriormente, se observó su carácter global y fue modelizada y datada (curva SPECMAP (Imbrie *et al.*, 1984), modificada por Martinson *et al.* (1987)).

Los principales archivos climáticos no históricos son:

Corales: (Fairbanks, 1989; Bard *et al.*, 1990; Chappell, 2002).

Anillos de los árboles (dendrología): (D'Arrigo *et al.*, 2003).

Testigos de hielo: (Johnsen *et al.*, 1992; Dansgaard *et al.*, 1993), algunos testigos de hielo de la Antártida contienen los últimos 440.000 años (Blunier *et al.*, 1998; Petit *et al.*, 1999).

Espeleotemas: (Kaufmann, 2003). Su rango temporal se remonta a varios miles de años atrás; algunos registros alcanzan la última glaciación (Lauritzen, 1995; Baldini *et al.*, 2002).

Sedimentos: (*e.g.*, Chen *et al.*, 1997; Rodbell *et al.*, 1999; Dabrio *et al.*, 2000; Baker *et al.*, 2001; Shotyk *et al.*, 2002; Hong *et al.*, 2003; Zazo *et al.*, 2002, 2003),

5. Precámbrico.

5.1.1. El calor del principio, Durante los primeros setecientos millones de años de su existencia —desde su formación, hace 4.500 millones de años, hasta hace unos 3.800 millones de años— la superficie terrestre bullía de calor y de energía. Poco a poco, al irse enfriando el magma, algunos minerales fueron cristalizando y formando la litosfera, una delgada envoltura sólida, agrietada y rota en placas, que recubre el planeta desde entonces. En la figura 5.1, se observa la división geológica de la Tierra, desde sus orígenes (hace 4.500 millones de años) hasta la actualidad. Queda dividida en cuatro eones: Hadeense, Arqueozoico, Proterozoico y Fanerozoico, cuyos nombres hacen referencia a la evolución de la vida terrestre. El último eón, que es el que mejor conocemos gracias a la existencia de

fósiles, se divide en tres eras: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. Las eras, a su vez, se dividen en períodos, no representados en el diagrama, a excepción del Cámbrico, primer período del Paleozoico (se denomina Precámbrico a todo el tiempo anterior a él en la historia de la Tierra).

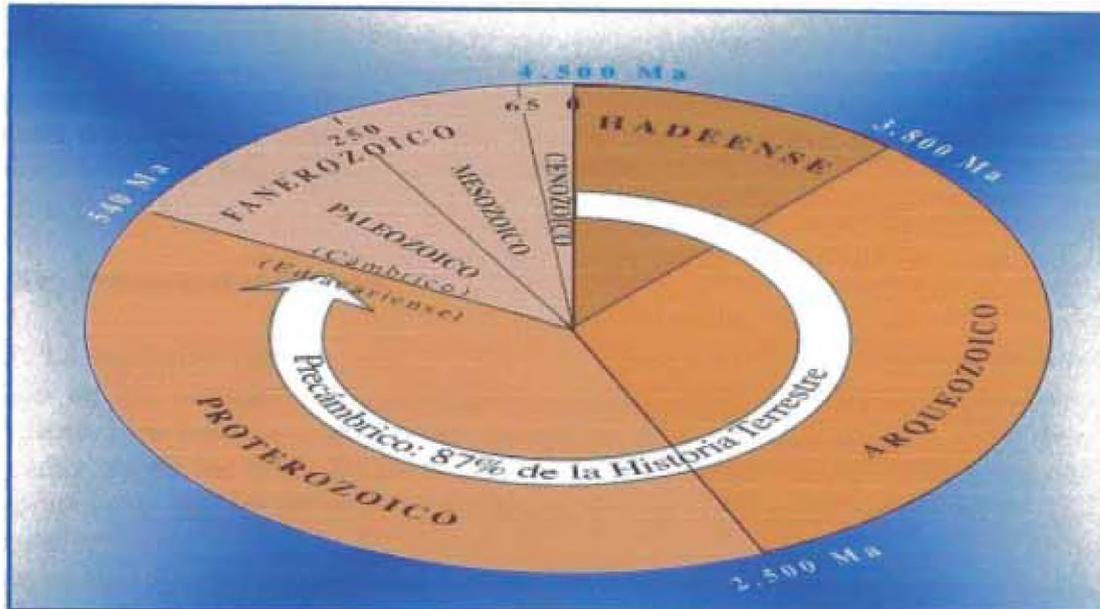


Fig 5.1. Escala geológica de la Tierra

En aquel primer eón de nombre mítico, Hadeense, el clima debió ser pavoroso. El planeta giraba más deprisa: los días y las noches eran más cortos. La superficie, entre sólida y viscosa, burbujeante e incandescente, estaba plagada de cráteres y de chimeneas volcánicas de las que emanaban desde el interior de la Tierra sustancias volátiles. La fuente principal de calor de la atmósfera era el propio suelo, que se mantenía incandescente a causa, en primer lugar, del bombardeo de pequeños y grandes meteoritos. El otro gran flujo energético que alcanzaba la superficie terrestre procedía del interior planetario, del calor desprendido en la desintegración nuclear de elementos químicos radiactivos, como el potasio-40, el iodo-129, el thorio-232, el uranio-235, etc., muy abundantes aún en el magma.

5.1.2. La intervención de la vida. Se puede decir que la característica principal de la atmósfera durante el Arqueozoico era que el aire apenas contenía unas trazas de oxígeno. Entre hace unos 3.500 y 2.700 millones de años, las **cianobacterias** aparecieron en las aguas costeras de los primitivos continentes. Las cianobacterias son un tipo de bacterias que contienen clorofila y pigmentos fotosintéticos que utilizan para captar la energía de la luz solar y sintetizar azúcares. A lo largo de la historia de la Tierra, las cianobacterias han sido los principales organismos creadores de oxígeno. El aumento de oxígeno, fue suficientemente abundante en la atmósfera, con la ayuda de la radiación solar se fue formando ozono (O₃), a partir de la combinación de una molécula normal biatómica con un átomo libre de oxígeno: $O_2 + O = O_3$.

5.1.3. ¿Se congeló la Tierra?, Durante el eón Arqueozoico, la alta concentración de gases invernadero, que calentaban las capas bajas de la atmósfera, mantuvo la Tierra deshelada, a pesar de que la luminosidad del Sol era bastante más baja aún que la presente (Kaufman, 2003). Pero con la paulatina reducción de los gases invernadero se abrió la posibilidad, en el Proterozoico, de que se produjesen glaciaciones. Las primera evidencias que tenemos de glaciaciones en los continentes primitivos datan del período huroniano (Glaciación Huroniana), en la transición del Arqueozoico al Proterozoico, entre hace unos 2.700 millones de años y 2.300 millones de años (Hyde, 2000). Hay señales geológicas de la glaciación huroniana especialmente en estratos rocosos de la región del Lago Hurón, en Canadá, y también en Sudáfrica. Otra hipótesis más atrevida es la de que las regiones tropicales se congelaron debido a un cambio drástico en la oblicuidad del eje terrestre (Williams, 1998).

5.2. Era Primaria (Paleozoico).

5.2.1. La explosión cámbrica. Hace unos 540 millones de años la evolución de la vida se aceleró en los océanos. Casi abruptamente se multiplicó el número de especies y se modificaron los tamaños y las formas corporales de los animales marinos. A diferencia de los cadáveres de los animales anteriores, pequeños y de cuerpos blandos —rápidamente descompuestos por las bacterias y desaparecidos sin dejar rastro— las nuevas especies desarrollaron caparazones y esqueletos calcáreos, duros, que han permitido en muchas partes su conservación fosilizada, al quedar insertos en los estratos de rocas sedimentarias. La abundancia de estos fósiles aporta muchas claves sobre los cambios ocurridos desde entonces en la geología y en el clima. Por eso al último eón, que comienza entonces y dura hasta ahora, se le ha dado el nombre de Fanerozoico, del griego “phanero” (visible o evidente) y “zoe” (vida). El Fanerozoico se divide en tres grandes eras: el Paleozoico (vida antigua), el Mesozoico (vida media) y el Cenozoico (vida nueva). En la figura 5.2, a la derecha, se muestra la evolución estimada de la temperatura media superficial. En la zona rosa la temperatura ha sido superior a la actual (15°C) y en la zona azul ha sido menor. Solamente hubo glaciaciones al final del período Ordovícico, al final del Carbonífero y durante el reciente período Cuaternario.

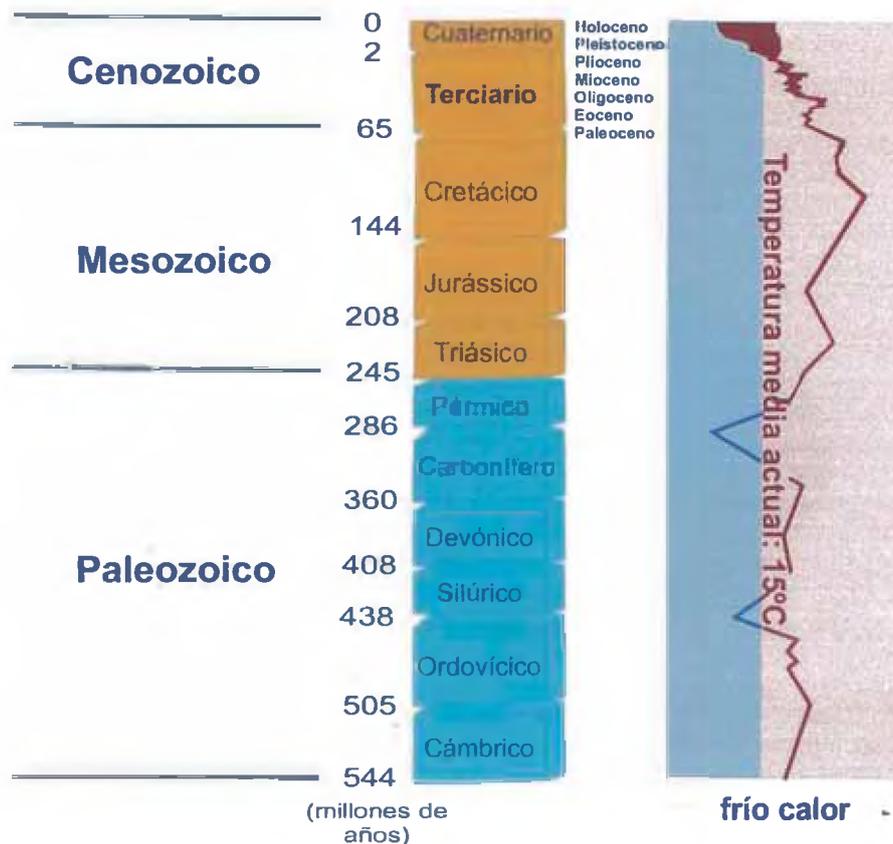


Fig 5.2. Eras y período en que se divide el eón Fanerozoico. La abundancia de fósiles permite construir una escala geológica detallada de los últimos 544 millones de años.

Las razones de este estallido de vida oceánica, la “explosión cámbrica”, recogida en unos pocos yacimientos ricos en fósiles, como el de Burgess Shale, en Canadá, permanecen aún oscuras. Algunos paleontólogos creen que esta aceleración evolutiva de la vida terrestre fue provocada por fuertes y rápidos cambios en la geografía de mares y continentes, lo que motivó variaciones drásticas en las corrientes oceánicas y en la temperatura y salinidad de las aguas (Kirschvink, 1977). Los cambios medioambientales marinos –quizás un aumento de los nutrientes por un aumento del afloramiento de aguas profundas (upwelling)– podrían haberse añadido a la mutación de algún gen importante (un “hox” gen) en algún ser multicelular primitivo, lo que podría haber iniciado un extenso cambio morfológico en la vida animal (von Bloh, 2003).

Otros investigadores creen que la aparición entonces de seres vivos más grandes y celularmente más complejos, se debió a que pudieron aprovecharse de un volumen suficiente de oxígeno, comparable ya al de la atmósfera contemporánea (Lenton, 2004). Este aumento del oxígeno se habría producido al final del Precámbrico, en el período Ediacariense, y quizás fuese debido a un aumento del enterramiento de carbono orgánico, propiciado a su vez por suelos más arcillosos —que adhieren el carbono— que los que había antes. Este incremento de las arcillas en detrimento de las arenas y otros elementos más gruesos sería el resultante de la aparición de los hongos del suelo y de su actividad descomponedora. De nuevo la vida favorecería así el incremento de oxígeno del aire (Kennedy, 2006).

5.2.2. El clima en el Cámbrico y Ordovícico. Hace unos 500 millones de años, a principios del Paleozoico, casi todas las tierras emergidas se situaban en el hemisferio austral, mientras que el hemisferio septentrional, a diferencia de lo que ocurre hoy día, era esencialmente oceánico. Más allá de los 30°N todo era agua, ver figura 5.3.

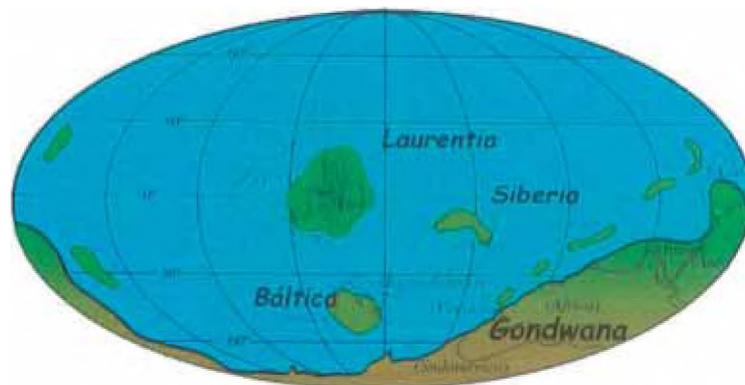


Fig.5.3, La Tierra en el período Cámbrico, hace unos 500 millones de años.
(Fuente: Scotese, C.R., 2002, <http://www.scotese.com>, PALEOMAP website).

De entre los continentes emergidos el más importante era el gran supercontinente de Gondwana, con una extensión mucho mayor que la de todos los demás. Gondwana se extendía desde el Ecuador hasta el Polo Sur. Abarcaba en una única masa de tierra emergida a los cratones de Sudamérica, África (incluidas algunas partes del sur de Europa, como la Península Ibérica), Arabia, la Antártida, Australia y la India. Gondwana recibe su nombre por una antigua tribu de la India, los gondos, y significa "país de los gondos", aunque, por supuesto, por aquel entonces no existían. Entre los otros continentes, mucho más pequeños, el más extenso era el denominado Laurentia, que se correspondía esencialmente con el cratón canadiense. Su nombre proviene de los Montes Laurentinos, en Quebec, al norte del San Lorenzo. Se situaba entonces en la franja tropical, al igual que el continente de Siberia. Más al sur se localizaba Báltica, que estaba formado por el cratón fienoescandinavo.

5.2.3. Glaciación del Ordovícico. Pero a finales del Ordovícico y principios del Silúrico, entre hace unos 450 y 430 millones de años tuvo lugar una glaciación en las latitudes australes de Gondwana y la diversidad animal oceánica (equinodermos, trilobites, nautiloideos, etc) se vio muy afectada. Se produjo entonces la primera gran extinción biológica del Fanerozoico. Huellas de esta glaciación del Ordovícico son visibles hoy en la superficie del Sáhara.

5.2.4. Silúrico, Devónico y Carbonífero: un clima cálido y húmedo. Después del episodio glacial del Ordovícico de hace 450 millones de años, las temperaturas se elevaron de nuevo y se mantuvieron cálidas durante el Silúrico, el Devónico y casi todo el Carbonífero, hasta hace unos 300 millones de años. El calor, la humedad y una atmósfera rica en dióxido de carbono facilitaron el desarrollo evolutivo y la colonización de los continentes por parte de la vegetación.

En la Figura 5.4, la Tierra en el Devónico, hace 400 millones de años. Gondwana seguía siendo el continente mayor. Euramérica era el resultado de la fusión de Laurentia (Norteamérica) y Báltica (Escandinavia). Las plantas vasculares colonizaban ya todos los continentes. (fuente: Scotese, C.R., 2002, <http://www.scotese.com>, PALEOMAP website).



Fig.5.4. La Tierra en el Devónico,

5.2.5. Glaciación de final del Carbonífero. Hace unos 300 millones de años, al haber sido ya secuestrado en los sedimentos una enorme cantidad de carbono orgánico absorbido por la vegetación y procedente del CO₂ atmosférico, los niveles de este gas invernadero en el aire disminuyeron hasta un nivel muy bajo, semejante al actual. En un proceso paralelo, la concentración de oxígeno probablemente alcanzó su nivel máximo: un 35 % (Berner, 1999). Hacia finales del Carbonífero y principios del Pérmico el clima se enfrió y se entró en un nuevo período glacial, en el que un manto de hielo en las latitudes australes de Gondwana, en lo que es hoy Sudáfrica, creció y se encogió en diversas fases sucesivas. Por ese motivo el nivel del mar bajó y subió repetidamente, provocando gigantescas transgresiones y regresiones marinas durante toda esa época final del Paleozoico.

5.2.6. La catástrofe del Permo-Trías (P/T). Hace unos 250 millones de años, en la transición del Paleozoico al Mesozoico, tuvo lugar uno de los desastres ecológicos más duros que ha sufrido el planeta, la catástrofe P/T (así llamada por haber tenido lugar entre el Pérmico, último período del Paleozoico, y el Triásico, primer período del Mesozoico). Desaparecieron en unos pocos miles de años el 85 % de las especies marinas, entre ellas los trilobites, y el 70 % de los vertebrados terrestres. Hasta los insectos se extinguieron casi por completo. El colapso de la productividad biológica en los mares ocurrió en paralelo con el desastre ecológico en los continentes (Ward, 2000). Las teorías sobre las causas de la catástrofe son variadas, pero las más tenidas en cuenta son dos: el choque de un asteroide y las erupciones volcánicas masivas (Reichow, 2002).. A ellas se añade la de la posible disminución de oxígeno (Berner, 1999).

5.3. Era Secundaria (Mesozoico).

5.3.1. Aridez y calor en Pangea, Durante el Triásico, desde hace 245 millones hasta hace 208 millones de años, primer período del Mesozoico, la existencia de un continente único y

compacto, Pangea, rodeado de un único océano, Panthalasa, produjo un clima árido en vastas extensiones del interior de los continentes. Allí la lejanía del mar creaba condiciones de extrema aridez y las oscilaciones térmicas estacionales eran muy fuertes. La probable ausencia de grandes cordilleras y un relieve erosionado y plano no favorecía tampoco la lluvia. Quizás, algunas cuencas endorreicas que almacenaban agua en lagos aislados amortiguaran la sequía y dulcificaran algo las temperaturas extremas, propias de los climas continentales. Aún así, los modelos que simulan el clima de Pangea indican una oscilación térmica extrema en el sur y en el interior del continente, con veranos muy cálidos e inviernos muy rigurosos. En la figura 5.5., mapa de Pangea. Triásico, principios de la Era Secundaria, hace 250 millones de años. Casi todas las tierras emergidas se reúnen en un sólo continente, Pangea, que al poco tiempo comenzará de nuevo a partirse hasta formar los continentes actuales. El estrechamiento y cierre del gran mar tropical de Tethys dará lugar al Mediterráneo.

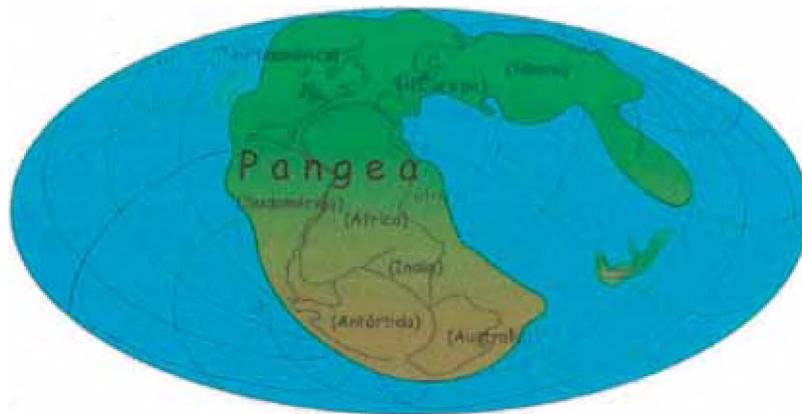


Fig.5.5. Mapa de Pangea. Triásico, principios de la Era Secundaria

Por el contrario, algunas zonas tropicales y medias de Pangea más próximas al mar debieron estar sometidas a un clima de tipo monzónico, con lluvias estivales (Loope, 2001). Por eso, en Pangea, fueron más extensas las regiones ocupadas por desiertos tropicales que por vegetación monzónica.

A finales del Triásico, hace 208 millones de años, Pangea comenzó a fracturarse a lo largo de una línea de ruptura que comenzaba a separar América del Sur y África (Central Atlantic Magmatic Province). Por allí salieron gigantescas coladas de basaltos. Se cree que los gases expulsados provocaron de nuevo intensos cambios químicos en la composición atmosférica —lluvias ácidas provocadas por el SO_2 — y en el clima, que repercutieron enormemente en la biología planetaria (Marzoli, 1999; Ward, 2001). Se ha pensado también como causa de esa hecatombe en la posibilidad de una brusca fase muy cálida provocada por el aumento del CO_2 arrojado por los volcanes. Los episodios de fuerte vulcanismo afectaron al 80 % de las especies planetarias y probablemente facilitaron el advenimiento de los dinosaurios, que iban a dominar la Tierra durante los siguientes cien millones de años.

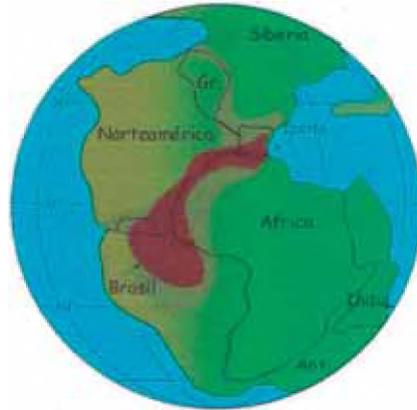


Fig. 5.6. Final del Triásico y comienzo del Jurásico

Final del Triásico y comienzo del Jurásico (ver figura. 5.6), hace 200 millones de años. Pangea comienza a dividirse entre Africa y América. Se denomina CAMP (Central Atlantic Magmatic Province) a la región de volcanes y de extrusión de coladas basálticas que llegaba desde Brasil hasta España.

5.3.2. Jurásico y Cretácico: el clima de los dinosaurios, La progresiva ruptura de Pangea, que comenzó a final del Triásico, provocó un clima global más húmedo durante todo el Jurásico (desde hace 208 millones de años hasta hace 146 millones de años). El Cretácico, que comenzó hace 145 millones de años y duró hasta la extinción de los dinosaurios, hace 65 millones de años, tuvo también en su mayor parte un clima húmedo y cálido. En la figura 5.7, el Cretácico Medio, hace unos 100 millones de años. El área cubierta por las aguas era muy extensa. Norteamérica quedaba cortada en dos por un mar de aguas someras que unía el Artico con el Atlántico, y Europa era un archipiélago más que un continente. El clima en las latitudes altas era mucho más templado que el actual. La circulación oceánica era también muy diferente. (fuente: Scotese, C.R., 2002, <http://www.scotese.com>, PALEOMAP website).



Fig 5.7. El Cretácico Medio, hace unos 100 millones de años

A mediados del período, hace unos 100 millones de años, la temperatura media de la superficie del planeta era entre 6°C y 12°C mayor que la de hoy. La franja tropical de arrecifes de coral era latitudinalmente bastante más ancha que en el presente. Los dinosaurios, animales probablemente de sangre fría, más afines a climas cálidos que fríos, poblaban casi todas las regiones emergidas de la Tierra y se acercaban hasta los círculos

polares. Se sugiere que el enorme tamaño de muchos de ellos era sólo posible gracias a la existencia de una mayor abundancia de biomasa vegetal, favorecida por el calor, la humedad y la alta concentración de CO₂.

Un clima más oceánico, el nivel del mar, que ya había ascendido anteriormente en el Jurásico, inundaba con aguas someras el 20 % de los continentes actuales. Se dio una intensa sedimentación de carbono, el Cretácico Medio está también ligado a eventos oceánicos anóxicos, es decir, a períodos en los que el fondo del océano, especialmente de la cuenca occidental del Mar de Tethys y del Atlántico Norte tropical, se quedaba sin oxígeno y se producía una intensa deposición y enterramiento de materia orgánica sin descomponer, que en muchas regiones formó grandes depósitos de calizas negras.

5.3.3. La catástrofe K/T (o K/Pg) , Durante el transcurso de la última parte del Cretácico, desde hace unos 80 millones de años hasta hace unos 65 millones de años, la concentración de CO₂ atmosférico disminuyó de nuevo considerablemente, un proceso que transcurrió a la vez que el mar se retiraba de los continentes. En el mar desaparecieron los ammonites y una gran cantidad de plancton, y en los continentes se extinguieron los dinosaurios más o menos súbitamente, según diferentes y controvertidas teorías. La vegetación, especialmente en Norteamérica, sufrió un drástico cambio. Allí desaparecieron los bosques que existían antes del evento y tras la catástrofe las tierras fueron colonizadas por una espesa cobertura de helechos. Las hipótesis de la causa principal de la catástrofe K/T, tenemos en: El meteorito de Chicxulub, los que creen en una extinción rápida se decantan por la caída de un bólido extraterrestre (Schulte, 2010), frente a las costas de la península de Yucatán. Y en las Erupciones del Decán, que es la otra hipótesis es que fueron las erupciones volcánicas la causa principal de la catástrofe K/T. Las extensas plataformas basálticas del Decán (o Deccan), en la India.

5.4. Era Terciaria.

5.4.1. El clima cálido del Paleoceno y Eoceno, La evolución climática del Cenozoico, que comenzó hace 65 millones de años y que comprende las eras Terciaria y Cuaternaria, es compleja. Se pasó de un clima cálido inicial, sin mantos de hielo ni en la Antártida ni en Groenlandia, a un clima frío final, con glaciaciones que han recubierto de hielo cíclicamente durante los 2 últimos millones de años extensas zonas continentales. El enfriamiento vino acompañado por una pérdida de CO₂ atmosférico, que pasó de una concentración de quizás 2.000 ppm al principio del Cenozoico, hace 65 millones de años, a una concentración por debajo de las 300 ppm durante el último millón de años (Pagani, 2005).

El primer período del Terciario, el Paleoceno (65 Ma- 54 Ma), transcurrió en un clima semejante al de algunas épocas muy cálidas del Cretácico. Cocodrilos y tortugas habitaban latitudes árticas. Crecían palmeras en la península de Kamchatka. El Artico tenía una extensión menor que la actual y una comunicación más precaria con el Atlántico. Sus aguas eran mucho menos profundas, más dulces y mucho más cálidas. El agua del mar estaba varios grados más caliente que la actual, tanto en superficie como en profundidad. El plancton subtropical del Atlántico llegaba unos 15° de latitud más al norte que en la actualidad. Los corales ocupaban una banda tropical más ancha que la de hoy. Las

corrientes oceánicas y la circulación termohalina eran también diferentes (Diekmann, 2004; Thomas, 2004).



Fig.5.8. Mapa del Paleoceno y comienzos del Eoceno, hace unos 55 millones de años (Brinkhuis, 2006).

En la frontera con el Eoceno, hace unos 55 millones de años, la temperatura aún subió más y se produjo un corto pico de calor (Paleocene-Eocene Thermal Maximum, PETM). Fue un abrupto evento de calentamiento, que apenas duró unos 80.000 años, pero que influyó enormemente en la evolución de la vida animal. Hace 50 millones de años, después del Máximo Térmico del Eoceno Inicial (IETM), la tendencia térmica se invierte y las temperaturas comienzan a bajar. Durante todo lo que resta del Eoceno, en casi toda Europa y Asia, el clima pasa a ser más frío y seco.

5.4.2. Oligoceno: el hielo recubre la Antártida, Tras el prolongado y suave enfriamiento de la segunda parte del Eoceno, al inicio del Oligoceno, entre hace unos 34 y 33 millones de años, se produjo un bajón de las temperaturas, en un episodio brusco denominado Oi-1. En este intervalo de transición, Oi-1, el aumento del oxígeno-18 de las aguas marinas (que queda constatado en el estudio de los foraminíferos béticos) es prueba de la acumulación de hielo en el continente y de la disminución del nivel y del volumen del agua marina. Los cambios en la circulación oceánica fueron probablemente determinantes. La Antártida, a pesar de haber estado centrada en el Polo Sur desde principios del Cretácico, se había mantenido hasta entonces libre de hielo, pero, cuando se aisló de Sudamérica y de Australia, quedó rodeada por una corriente marina fría. Otra causa del enfriamiento en el Oligoceno pudo ser la actividad volcánica..

5.4.3. Mioceno, un clima cambiante, Toda la primera parte del Mioceno conserva el alto nivel de temperaturas alcanzado justo al final del Oligoceno. Sin embargo, la transición del Oligoceno al Mioceno queda marcada por un corto episodio, llamado Mi-1, de intensa erosión en los continentes, que ocurre hace 23,7 millones de años, y que es apreciable a escala general del planeta. La meseta del Tibet comenzó a levantarse al chocar la placa india con la asiática, hace unos 50 millones de años, pero su impulso de ascensión más importante se produce durante el Mioceno (Chung, 1998).

5.4.4. El clima cálido del Plioceno, El Terciario acaba en el Plioceno, que transcurre entre hace 5,4 y 2,5 millones de años. El clima del Plioceno fue en su mayor parte mucho más cálido que el clima actual. Así lo indican tanto los estudios de pólenes y de fósiles de animales terrestres, como el análisis de los conjuntos de foraminíferos marinos. Al inicio del Plioceno, entre hace 5 millones y 4 millones de años, se frenó el enfriamiento que había venido ocurriendo en la segunda parte del Mioceno. Se invirtió la tendencia térmica y ya en el Plioceno Medio, durante el intervalo comprendido entre hace 4 millones y 3 millones de años, la temperatura global media era posiblemente unos 3°C superior a la actual (Dowsett, 1999).

5.4.5. La transición al Cuaternario, Tras el intervalo muy cálido del Plioceno Medio se produjo el último empuje del frío. Durante cortos y sucesivos períodos fríos empezó a acumularse hielo en el norte de América y de Europa, y los icebergs hacían acto de presencia en el norte del Atlántico. La variabilidad del clima se agudizó, propiciada por los ciclos astronómicos de Milankovitch y en especial por el ciclo de variación de la oblicuidad del eje, de 41.000 años de duración.

5.5. Glaciaciones Cuaternarias.

El Cuaternario abarca dos períodos de duración muy desigual: el Pleistoceno, desde hace 2,5 millones de años hasta hace sólo 11.500 años, y el Holoceno, desde hace 11.500 años hasta hoy. A finales del Plioceno y comienzos del Pleistoceno, las aguas oceánicas entraron en una última fase del enfriamiento general que se había venido produciendo —aunque con altibajos— durante los últimos 50 millones de años. La Era Cuaternaria es, por lo tanto, una época de inestabilidad climática y de bruscos e importantes cambios ambientales, que han afectado con mayor o menor intensidad a todas las latitudes.

5.5.1. Las causas, se cree que el disparador de las glaciaciones cuaternarias fue de carácter astronómico, cuando comenzó a haber épocas en las que los veranos en las latitudes altas del hemisferio norte tenían una baja insolación. Esta posibilidad comenzó a verificarse justo al final del Plioceno, hace unos 3 millones de años, cuando la oscilación en los valores de la inclinación del eje de la Tierra fue aumentando, con épocas en las cuales la inclinación era bastante menor que la actual.

5.5.2. Períodos; ¿Cual ha sido la periodicidad de las glaciaciones cuaternarias?. Al principio del Pleistoceno, las oscilaciones climáticas seguían ciclos periódicos de más o menos unos 40.000 años, que parecían obedecer al ciclo de variación de la inclinación del eje terrestre. Las masas de hielo que se formaban en los continentes no eran todavía muy voluminosas. Después, entre hace 1,5 millones de años y 600.000 años la amplitud de los ciclos tendió a aumentar, y a partir de hace 600.000 años los ciclos glaciales se han sucedido en intervalos de una duración entre 80.000 y 120.000 años (Rutherford, 2000). Esta duración de los ciclos recientes resulta parecida al del período de variación de la excentricidad de la órbita terrestre, que es de unos 100.000 años. Las diferencias de duración que existe entre ellos pueden ser debidas a una modulación de la frecuencia provocada por otra componente secundaria de la excentricidad, que es de 413.000 años (Rial, 1999).

5.6. El interglacial Eemiense, fue el penúltimo período cálido que la Tierra ha conocido durante el Cuaternario (el último es el actual: el Holoceno). Según la datación más

utilizada, hace 127.000 años acabó la penúltima glaciación y comenzó un período de clima interglacial que duró varios milenios: el Eemiense. Según el estudio de las terrazas de coral, como las de la península de Huon, en Papua-Nueva Guinea, el nivel del mar alcanzó su cota más alta —y los hielos continentales su volumen mínimo— entre el 125.000 y el 120.000 antes del presente.

5.7. La Última Glaciación. Uno de los mayores interrogantes paleoclimáticos es saber por qué el hemisferio norte y el hemisferio sur entraron casi sincrónicamente en la última glaciación, ya que la geometría orbital en el 115.000 antes del presente, que implicaba la existencia de veranos boreales frescos, no provocaba lo mismo en el hemisferio austral, en donde la disminución radiativa entonces recaía en la primavera y no en el verano.

5.8. Variabilidad climática durante la Última Glaciación. En las fases de la Última Glaciación, No se puede ser muy riguroso al concretar fechas y períodos para limitar las fases de la Última Glaciación a escala global. De todas maneras, sin tener en cuenta los eventos cortos de calentamiento y enfriamiento, que estudiamos más adelante (eventos Heinrich y episodios Dansgaard-Oeschger), podemos subdividir la última glaciación guiándonos por los tres descensos más bruscos del nivel del mar, que tuvieron lugar aproximadamente hacia el 115.000, el 80.000 y el 30.000 antes del presente, según las terrazas coralinas y la evolución de los isotópos del oxígeno en los foraminíferos béticos. La Variabilidad climática, al parecer se sucedían, con intermitencias, en ciclos de unos 1.500 años (Singer, 2007; Rahmstorf, 2003) que algunos investigadores relacionan con los ciclos solares de Gleissberg y de DeVries (Braun, 2005).

5.9. El Último Máximo Glacial. La magnitud del enfriamiento durante el Último Máximo Glacial, entre el 23.000 y el 19.000 antes del presente, fue muy diferente según la latitud. Durante el Último Máximo Glacial el total de los hielos acumulados en los glaciares y en los mantos continentales alcanzó su mayor valor. A medida que se acumulaba hielo en los continentes, se sustruía agua de los océanos y en consecuencia descendía el nivel de los mares. Cuando la acumulación de hielo continental fue máxima, el nivel de los mares quedó entre 120 y 140 metros por debajo de la cota actual. En los avances glaciales se creaban dos enormes zonas ocupadas por hielos, una en Norteamérica y otra en el noroeste de Eurasia: el manto Laurentino y el manto Finoescandinavo, respectivamente.

Amazonia, En los Trópicos las selvas fueron en gran parte sustituidas por paisajes más abiertos de sabana. En la Amazonia la temperatura bajó unos 6°C. Con el enfriamiento, las precipitaciones se redujeron y, en consecuencia, la extensión selvática perdió terreno a costa de un incremento de las sabanas. **En Los Andes,** en Sudamérica, en la zona tropical situada al sur del ecuador, la humedad durante la glaciación era superior a la de hoy. Los sedimentos del lago Titicaca y del Salar de Uyuni—una gran superficie salina, reminiscencia de antiguos paleolagos que cubrían el altiplano boliviano— indican que el agua desbordaba con creces su cuenca actual. El estudio de morrenas en valles próximos al lago Junin en Perú y al lago Titicaca parecen indicar que los glaciares alcanzaron su máxima extensión mucho antes que en otras partes del globo, hacia el 34.000 antes del presente (Smith, 2005).

5.10. La Deglaciación. Las causas, La fusión de la mayor parte de los casquetes de hielo en el hemisferio norte se inició entre hace 20.000 años y 19.000 años (Clark, 2009) y finalizó

por completo hace 8.000 años, cuando se alcanzó un volumen y extensión bastante semejante al actual. De todas formas todavía la teoría preferida es que la deglaciación comenzó en el hemisferio norte y que los cambios ocurridos en el Atlántico Norte antecedieron en unas cuantas décadas al calentamiento global (Jouzel, 1999). Si así fue, una sucesión de causas y efectos de la deglaciación pudo ser la siguiente: la disminución del albedo, disminución de la banquisa marina, y la causa astronómica.

5.11. El Holoceno. Tras el ascenso brusco de las temperaturas que se produjo al final del Younger Dryas, finalizó el Pleistoceno y se entró en el último período interglacial del Cuaternario: el Holoceno. Un factor importante de variación térmica, que actuó a lo largo de este período, fue la paulatina disminución de la insolación veraniega en el hemisferio norte. Esta, debido a la precesión de los equinoccios, alcanzó un máximo hace 11.000 años, en el inicio del Holoceno. Hace unos 10.000 años, la Tierra entró en un período cálido (el Hypsithermal) y húmedo que tuvo su punto de inflexión hacia el 6.000 antes del presente. Aunque parezca paradójico, análisis sedimentológicos en la región ecuatorial americana indican que esta primera mitad del Holoceno, más cálida y húmeda a nivel global que la segunda mitad, registró una actividad menor del Niño (Rodbell, 1999)

CAPÍTULO VI

ACTIVIDAD SOLAR Y EL CLIMA DE LA TIERRA

6.1 La actividad solar

El Sol es un sistema astrofísico, es la estrella más próxima a la Tierra y se encuentra a una distancia promedio de 150 millones de kilómetros. Es la principal fuente primaria de luz y calor para la Tierra. Un análisis de su composición en función de su masa establece que contiene un 71% de Hidrógeno, un 27% Helio, y un 2% de otros elementos más pesados. Debido a que el Sol es gas y plasma, su rotación cambia con la latitud: un periodo de 24 días en el ecuador y cerca de 36 días en los polos. La diferencia en la velocidad rotacional conjuntamente con el movimiento de los gases altamente ionizados generan sus campos magnéticos (ver figura 6.1). El Sol contiene más del 99% de toda la materia del Sistema Solar y se formó hace 4.500 millones de años. Ejerce una fuerte atracción gravitatoria sobre los planetas y los hace girar a su alrededor.

6.1.1.- Energía radiante del Sol. Constante solar

La mayor parte de la energía que llega al planeta Tierra procedente del Sol viene en forma de radiación electromagnética. El flujo de energía solar que llega al exterior de la atmósfera es una cantidad fija, llamada constante solar. Su valor es de alrededor de $1,4 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$ (1354 Watios por metro cuadrado según unos autores, $1370 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ según otros), lo que significa que a 1 m^2 situado en la parte externa de la atmósfera, perpendicular a la línea que une la Tierra al Sol, le llegan algo menos que $1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$ cada segundo (ver figura 6.1).

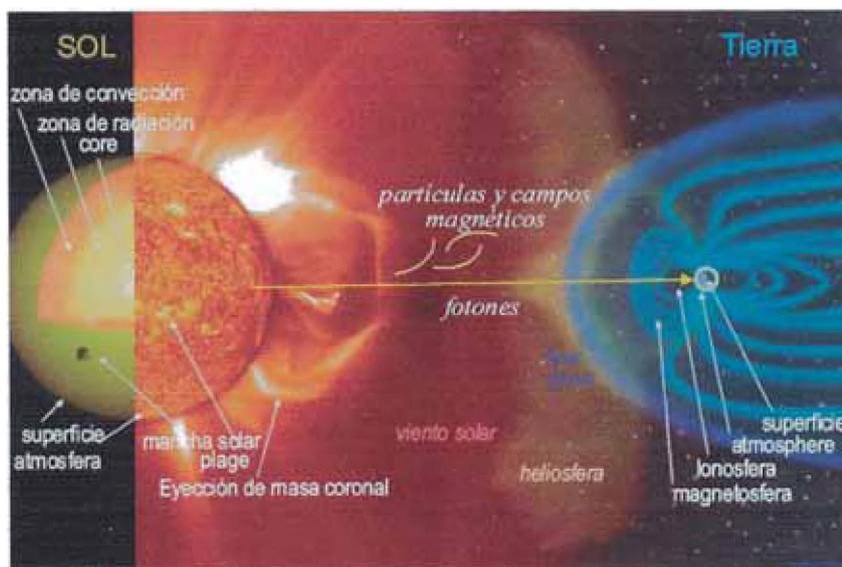


Fig 6.1 Sistema Sol-Tierra: Acoplamiento de Energía

Para calcular la cantidad media de energía solar que llega a nuestro planeta por metro cuadrado de superficie, hay que multiplicar lo anterior por toda el área del círculo de la Tierra y dividirlo por toda la superficie de la Tierra lo que da un valor de $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ que es lo que se suele llamar constante solar media.

6.1.2.- Composición de la energía solar

Antes de atravesar la atmósfera la energía que llega a la parte alta de la atmósfera es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda (λ) entre 200 y 4000 nm. Se distingue entre radiación ultravioleta, luz visible y radiación infrarroja. Ya en la superficie de la Tierra la atmósfera absorbe parte de la radiación solar.

En unas condiciones óptimas con un día perfectamente claro y con los rayos del sol cayendo casi perpendiculares, como mucho las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior alcanza la superficie. Casi toda la radiación ultravioleta y gran parte de la infrarroja son absorbidas por el ozono y otros gases en la parte alta de la atmósfera. El vapor de agua y otros componentes atmosféricos absorben en mayor o menor medida la luz visible e infrarroja. La energía que llega al nivel del mar suele ser radiación infrarroja un 49%, luz visible un 42% y radiación ultravioleta un 9%. En un día nublado se absorbe un porcentaje mucho más alto de energía, especialmente en la zona del infrarrojo. La vegetación absorbe en todo el espectro, pero especialmente en la zona del visible. Parte de la energía absorbida por la vegetación es la que se emplea para hacer la fotosíntesis.

6.1.3.- Radiación reflejada y absorbida por la Tierra

El albedo de la Tierra (el brillo): su capacidad de reflejar la energía, es de alrededor de un 0.3. Esto significa que alrededor de un 30% de los $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ que se reciben (es decir algo más de $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$) son devueltos al espacio por la reflexión de la Tierra. Se calcula que alrededor de la mitad de este albedo es causado por las nubes, aunque este valor es, lógicamente, muy variable, dependiendo del lugar y de otros factores.

El 70% de la energía que llega, es decir uno $240 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ es absorbido. La absorción es mayor en las zonas ecuatoriales que en los polos y es mayor en la superficie de la Tierra que en la parte alta de la atmósfera. Estas diferencias originan fenómenos de convección y se equilibran gracias a transportes de calor por las corrientes atmosféricas y a fenómenos de vaporación y condensación. En definitiva son responsables de la marcha del clima.

Los diferentes gases y otros componentes de la atmósfera no absorben de igual forma los distintos tipos de radiaciones. Algunos gases, como el oxígeno y el nitrógeno son transparentes a casi todas las radiaciones, mientras que otros como el vapor de agua, dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno son transparentes a las radiaciones de corta longitud de onda (ultravioletas y visibles), mientras que absorben las radiaciones largas (infrarrojas). Esta diferencia es decisiva en la producción del efecto invernadero.

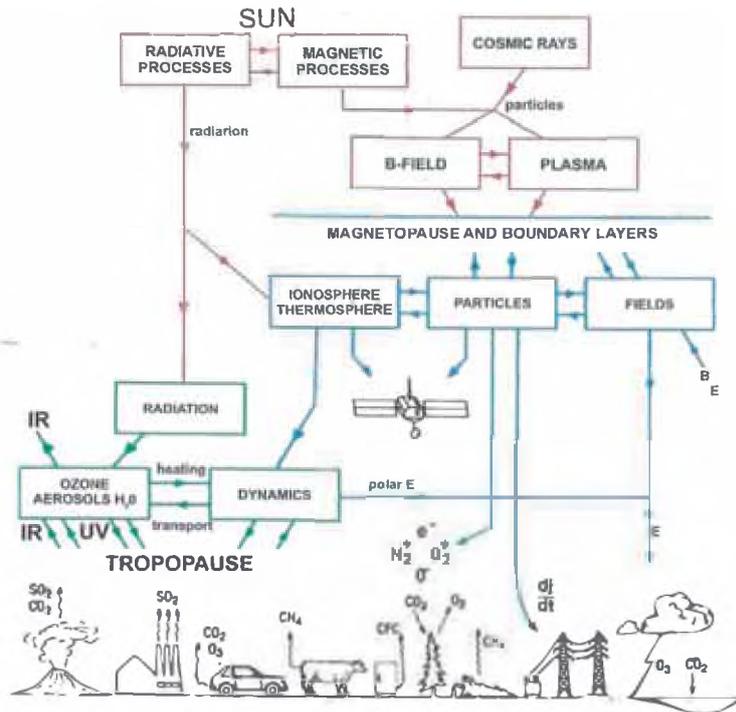


Fig 6.2. Canales de interacción básica entre los principales del sistema Sol –Tierra, El sol y el viento solar (rojo), magnetosfera y ionosfera (azul), media atmosfera (verde) y troposfera y Tierra (negro)

6.2.- La Tierra y sus estaciones

La Tierra está dotada de dos movimientos principales estrechamente relacionados con el clima y sus variaciones: el de *traslación* y el de *rotación* (ver figura 6.3). El primero es el recorrido que efectúa el planeta en torno al Sol, fuente de calor que regula todo el proceso climático terrestre. Y el segundo es el movimiento que ejecuta la Tierra sobre su eje imaginario que pasa por los polos, y que produce el día y la noche, con la consiguiente influencia en los procesos atmosféricos.

La inclinación del eje terrestre, unida a la excentricidad de la órbita y a la esfericidad del planeta, hace que la cantidad de luz y calor procedente del astro rey no sea la misma en toda la superficie de la Tierra. Estas diferencias de iluminación y, por consiguiente, de calentamiento de la atmósfera y suelo terrestres, son causa de que experimente grandes oscilaciones la temperatura de cada región, país y continente, y de que varíen constantemente, a través del año, los fenómenos que dependen de la misma.

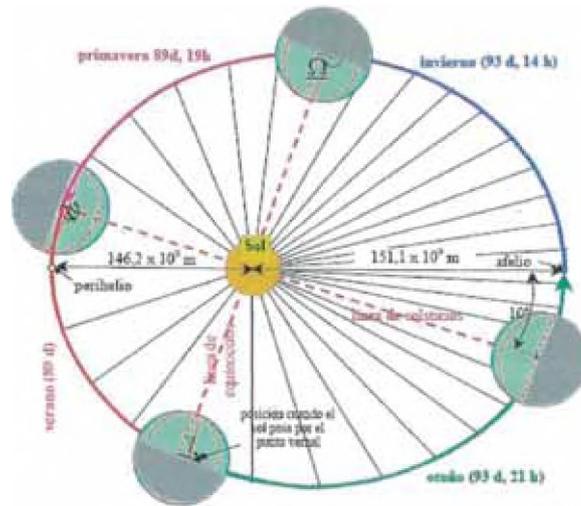


Fig. 6.3. Órbita de la Tierra alrededor del sol mostrando puntos de inicio de las estaciones

Estas cuatro estaciones están determinadas por cuatro posiciones principales, opuestas dos a dos simétricamente, que ocupa la Tierra durante su recorrido en torno al astro rey. Reciben el nombre de *solsticios* y *equinoccios*. La duración de las estaciones para los dos hemisferios es la siguiente:

ESTACION	HEMISFERIO NORTE	HEMISFERIO SUR
VERANO	93,7 días	89 días
OTOÑO	89,6 "	92,9 "
INVIERNO	89 "	93,7 "
PRIMAVERA	92,9 "	89,6 "
AÑO	365,2 días	365,2 días

A causa de perturbaciones que experimenta la Tierra mientras gravita en torno al Sol, no pasa por los puntos solsticiales y equinocciales con rigurosa exactitud, lo que motiva que las diferentes estaciones no principien siempre en el mismo preciso momento. Como cosa práctica reseñamos las fechas que señalan generalmente el principio de las estaciones:

INICIO DE ESTACION	HEMISFERIO NORTE	HEMISFERIO SUR
20 ó 21 de marzo	PRIMAVERA	OTOÑO
21 ó 22 de junio	VERANO	INVIERNO
23 ó 24 de septiembre	OTOÑO	PRIMAVERA
21 ó 22 de diciembre	INVIERNO	VERANO

6.3 Predicción de la actividad Solar

La actividad del Sol varía a lo largo del tiempo. Las primeras referencias claras a las manchas solares fueron hechas por los astrónomos chinos en el 28 a. C., En 1610 los

astrónomos Johannes y David Fabricius observaron manchas mediante telescopios. Este último publicó una descripción en junio de 1611. Galileo quien, a finales de 1610, observó por primera vez las manchas del Sol, que luego fueron confirmadas por el científico alemán Heinrich Samuel Schwabe en 1843. Éste anunció después que las manchas solares siguen un ciclo. En 1848, Johann Rudolf Wolf diseñó un método para contar las manchas solares del disco solar llamado el número Wolf. Hoy, el número Wolf se usa para seguir el ciclo solar. Cada 11 años, el Sol pasa por un periodo de actividad llamado el "máximo solar", que es seguido por un periodo de tranquilidad llamado el "mínimo solar". Durante el máximo solar hay muchas manchas solares, explosiones solares, y eyecciones de masa coronal, y todas ellas pueden afectar a las comunicaciones en la Tierra. Este ciclo promedio de manchas solares de 11 años puede variar su longitud, el más corto puede ser de 9 años, y el más largo de 14. Además tiene que ver con el ciclo de 22 años de inversión del campo magnético del Sol.

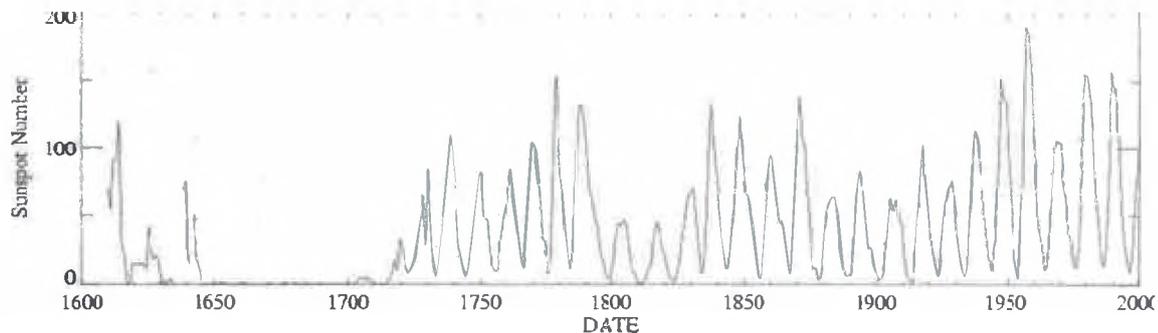


Fig. 6.4 Número de manchas solares entre los años 1610 y 2000. El eje horizontal (abscisa) corresponde al año de la observación y el vertical (ordenada) indica el número de manchas observadas.

En el gráfico 6.4, se observa el mínimo de Maunder es el nombre dado al período de 1645 a 1715 D.C., cuando las manchas solares desaparecieron de la superficie del Sol, tal como observaron los astrónomos de la época. El mínimo de Maunder coincidió con la parte más fría de la llamada Pequeña Edad de Hielo, de los siglos XV al XVII, durante la que Europa, América del Norte, y quizás el resto del mundo, sufrió inviernos muy crudos. Si hay una conexión causal entre la baja actividad de las manchas solares y los inviernos fríos es un tema que todavía se discute.

6.3.1.- Modelos de Predicción de manchas solares

La predicción de manchas solares es muy importante para muchas aplicaciones, tal es el caso de la tecnología espacial, defensa y economía nacional, las comunicaciones de radio, potencia eléctrica, prospección geofísica, navegación, clima e hidrología, etc. Tenemos varios métodos para predecir las manchas solares (Christian Ronceros L. Ch., 2006).

- **Series de Tiempo**, Los modelos de series de tiempo se han empleado extensamente en campos como las ciencias naturales, la econometría y las finanzas (*Box & Jenkins* 1994). La aplicación de las series de tiempo ha sido de gran impacto en la geología, meteorología y en manchas solares, por la aplicación de modelos de pronóstico en el tiempo, reforzados por sistemas avanzados de información geográfica. Los modelos ARIMA (es la sigla que

identifica los procesos autoregresivos, integrados de medias móviles) presentan ventajas frente a la estadística tradicional. Esta, busca en una muestra de datos, ajustar un modelo prefijado que se aplica directamente a los datos. En cambio, los modelos de series de tiempo utilizan las correlaciones de una variable consigo misma pero en distintos intervalos de tiempo. La variable es autoregresada en sus retardos, y a estos factores, se les suman coeficientes de ruido blanco dependientes del tiempo. Lo importante hasta ahora, es resaltar que se trata de modelos "autocontenidos" y de los datos se debe sacar el mejor modelo, no al contrario.

- **Método de McNish – Lincoln**, El primer paso de este método es encontrar los valores suavizados para los datos observados. Los ciclos se van contabilizando desde julio de 1756 en una secuencia ascendente. Al ciclo que va entre 1756 y 1766 se le llama ciclo 1; al que va entre 1766 y 1775 ciclo 2, y así sucesivamente.

- **Método Corrector – Predictor**, Este método consiste en calcular valores futuros cuando se conocen unos valores previos, mediante un método explícito (predictor) que conduce a valores futuros.

- **Transformada de Fourier**, Una serie de Fourier puede usarse algunas veces para representar una función dentro de un intervalo. Si una función está definida sobre toda la recta real, puede representarse con una serie Fourier si es periódica. Si no es periódica, entonces no puede representarse con una serie Fourier para todo x . Aun en este caso es posible representar la función en términos de senos y cosenos, pero la serie de Fourier se convierte en una integral de Fourier. La motivación proviene de considerar formalmente las series de Fourier como funciones con período $2T$ y hacer tender T al infinito.

Suponiendo que:

$$f(x) = \sum_{-\infty}^{\infty} c_n e^{in\frac{x}{T}}$$

donde

$$c_n = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T e^{-in\frac{x}{T}} f(t) dt$$

La sumatoria se asemeja a una suma de Riemann de una integral definida, y en el límite $T \rightarrow \infty$ ($\Delta\omega \rightarrow 0$) tendríamos:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left(e^{i\omega x} \int_{-T}^T e^{-i\omega t} f(t) dt \right) d\omega \quad x \in \mathbb{R}$$

Una función $F(\omega)$ se denomina la transformada de Fourier de $f(x)$, si:

$$F(\omega) := \mathcal{F}\{f(t)\} := \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) dt$$

entonces existe:

$$\mathcal{F}^{-1}\{F(\omega)\} := \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} F(\omega) d\omega$$

la cual se denomina la transformada inversa de Fourier de $F(\omega)$. La transformada de Fourier de f es por lo tanto una función $\mathcal{F}\{f(t)\}$ de una nueva variable ω . Esta función, evaluada en ω , es $F(\omega)$

- **Transformada Rápida de Fourier y Espectro de Potencia**, El método clásico se basa en el cálculo directo (Rojas A. J., 1996),, dada la serie real:

$$x_j \quad j = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

de la transformada de Fourier (N = Número de datos)

$$x_k = \sum_{j=0}^{N-1} x_j \cdot e^{-i(2\pi jk)/N} \quad k = 0, 1, \dots, N-1$$

Entonces el espectro de potencia será:

$$G_k = \frac{2\Delta t}{N} |x_k|^2 \quad k = 0, 1, \dots, \frac{N-1}{2}$$

6.3.2.- Modelo recientes de las manchas solares

El modelo "Predictive Flux-transport Dynamo Model" está permitiendo mencionar al equipo dirigido por Mausumi Dikpati del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (National Center for Atmospheric Research ó NCAR) en Boulder, Colorado. "El siguiente ciclo solar, conocido como ciclo 24, será de un 30 a un 50% más intenso que el anterior". Si esto es correcto, en los próximos años se producirá un estallido de actividad solar apenas menor que el del histórico máximo solar de 1958. Se espera que el ciclo 24 alcance su máximo cerca del 2012, donde nuevamente se invertirán los polos magnéticos del Sol.

Hathaway y Wilson presentaron sus conclusiones en la Unión Geofísica Americana (dic 2006) y sus pronósticos, basados en registros históricos de tormentas geomagnéticas. Se observa en el gráfico (ver figura 6.5) la mayor intensidad de manchas solares en el ciclo 24, que debe alcanzar su máximo alrededor de 2011-2012 con un número de manchas solares de 160 más o menos 25. Este “parece ser uno de los mas intensos ciclos desde que éstos se empezaron a registrar hace 400 años”

Observamos una posible correlación de este dato con la fecha de 2012 del famoso Calendario Maya, como la fecha de los Tiempos del Fin. Como ya lo hemos mencionado, este evento corresponde al primer grado precesional. De igual manera, según las investigaciones del físico solar David Hathaway de la NASA, "el máximo solar del Ciclo 25, alrededor del año 2022, podría ser uno de los más débiles del siglo".

Actualmente el Sol se estudia desde satélites, como el *Observatorio Heliosférico y Solar (SOHO)*, dotados de instrumentos que permiten apreciar aspectos que, hasta ahora, no se habían podido estudiar.

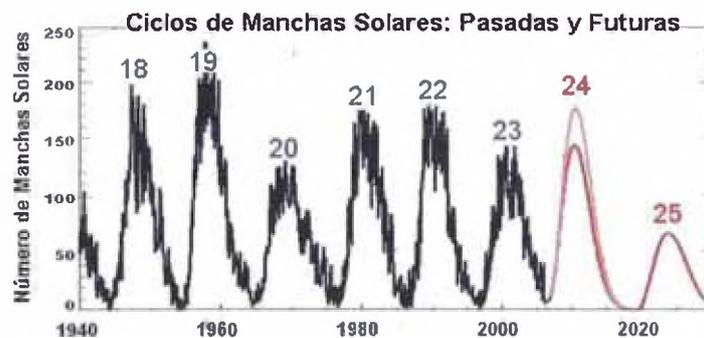


Fig.6.5 Ciclos de manchas solares pasadas y futuras (pronóstico según la NASA)

6.3.2.1.-Mínimo de manchas solares desde 2008-2010

Según el gráfico observamos desde el 2008 hasta febrero de 2010 (datos tomados) que la actividad del Sol ha permanecido en calma estamos en un mínimo solar. En el gráfico 6.6 observamos que los:

Datos diarios (amarillo), mensual (azul) y mensual suavizado (rojo) número de manchas solares desde 1994, junto con la predicción para 12 meses:

SM (puntos rojos): método de pronóstico clásico, basado sobre la interpolación de Waldmeier de curvas estándares.

CM (líneas rojas): método combinado (K. Denkmayr), una técnica de regresión acoplado a dynamo-estimador basado con la idea de curvas estándar de Waldmeier's

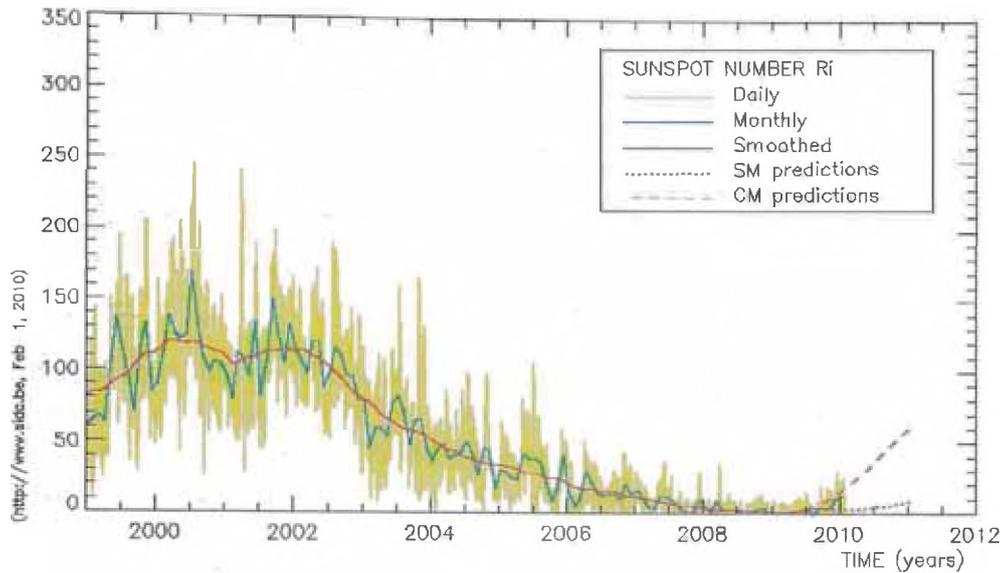


Fig. 6.6. Periodo de mínima actividad solar, 2008-2010
<http://sidc.oma.be/html/wolfjmmms.html>

6.4.- Ciclo de Gleissberger (70-90 años)

El desplazamiento rerogrado del punto de un grado cada 72 años lo relacionamos con los ciclos solares. Una variación promedio de 70-90 años., denominado como el ciclo de Wolf - Gleissberg es observado en las amplitudes de los ciclos de las manchas solares (Gleissberg 1971-(gl3), Siscoe 1978-(si5)). El ciclo de Gleissberg es único porque puede estar directamente relacionado con la actividad solar. El ciclo fue detectado por Gleissberg a través de un filtro pase - bajo suavizando secularmente (Gleissberg, 1944-(gl4)), de ambas la altura y la longitud del ciclo de manchas solares (Gleissberg, 1958-(gl8)). La posibilidad de que el ciclo de Gleissberg está relacionado con cambios en climas del pasado sobre todo en el Holocene es de gran interés

Gleissberg (1960) propuso suavizar el máximo de la media anual de las manchas solares $R(N)$ en los ciclos de 11 años usando la formula:

$$R_{11}^*(N) = \frac{1}{8} \left[\sum_{i=-2}^1 R(N+i) + \sum_{i=-1}^2 R(N+i) \right]$$

Además se ha encontrado la relación entre el ciclo de Gleissberg de 80-90 años con el ozono total en el hemisferio del norte (E. I. Terez et.al., 1996)

6.5.- El Sol y Ciclos de 2000 años y el ciclo de Gleissberg (70-90 años)

Muchos registros geológicos del cambio climático y ambiental se han basado sobre varios variable aproximadas donde se muestran distintas ciclicidades, esto han sido atribuido a

fuerza extraterrestre. Recientes mediciones radiométricas desde el satélite y modelando estos datos indican que pequeños cambios en la irradiancia solar total puede producir cambios de la temperatura de la magnitud indicada para los eventos climáticos como el pequeño periodo glacial (1550 - 1700).

Los estudios recientes han demostrado que la producción de radiocarbono (^{14}C) también está relacionado con la actividad solar. El radiocarbono es producido en la alta atmósfera por el bombardeo de nitrógeno atmosférico (^{14}N) con neutrones del espacio sideral (rayos cósmicos).

La concentración de ^{14}C de la atmósfera es registrada en la madera de árboles. Midiendo el contenido de ^{14}C en los anillos de los árboles. Una relación entre ^{14}C y la edad puede ser construido, y es expresado como $\Delta^{14}\text{C}$ (por ejemplo, Stuiver y Pearson, 1986; fig. 6.7), donde $\Delta^{14}\text{C}$ es la actividad de radiocarbono sobre los anillos de los árboles durante la mitad del siglo XIX. Se ha reconstruido los últimos 11,000 años donde se muestran la ciclicidad decadal y bidecadal (por ejemplo, Damon y Sonnett, 1991).

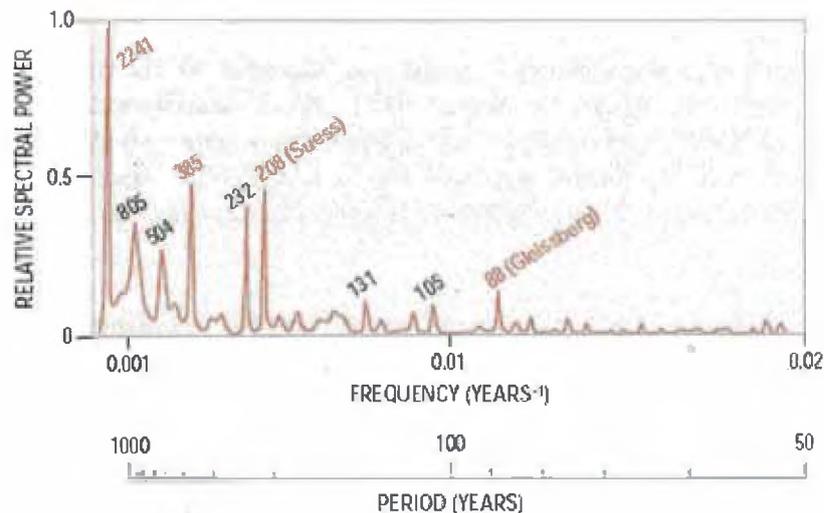


Fig.6.7. Análisis espectral con el Método de máxima entropía (Maximum entropy method, MEM) de anillos de arboles calibrados de los registros de $\Delta^{14}\text{C}$. Adaptado desde "Solar and Terrestrial Components of the Atmospheric ^{14}C variation Spectrum" por Paul E. Damon y Charles P. Sonnett en *The Sun in Time*, editado por C.P. Sonnett, M.S. Giampapa, y M.S. Matthews.

Esta reconstrucción muestra que la producción de ^{14}C fue mayor durante el Holoceno-medio (hace aproximadamente 7,000 años), y disminuyó regularmente hasta aproximadamente 1,000 años. Cuando esta variación secular a largo plazo en $\Delta^{14}\text{C}$ es removido, el residual muestra distintos ciclos con periodos de aproximadamente 2,000 años (Hallstadtzeit Cycle; ver figura 6.8).

Esta ciclicidad de 2000 años, lo asociamos con el movimiento de retrogradación del punto vernal por una constelación (Piscis) en un periodo aproximado de 2000 años.

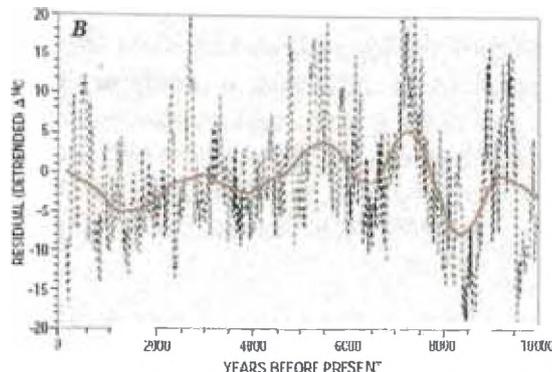


Fig 6.8. Registro residual de la producción de ^{14}C , la curva roja indica el suavizado mostrando el ciclo de Hallstattzeit con periodicidad de 2000 años

6.6.- Mayor Actividad Solar desde 1940

El Sol atraviesa un período de actividad que no tiene precedentes en los últimos 1150 años y que se ha ido intensificado desde 1940, según el equipo de Ilya Usoskin, de la Universidad finlandesa de Oulu, y sus colegas del Instituto Max Plank de Alemania. Ellos lo explican en su artículo "Millennium-Scale Sunspot Number Reconstruction: Evidence for an Unusually Active Sun since the 1940s", publicado en el *Physical Review Letters* 91, 211101 (2003).

La historia de las tormentas solares ha podido reconstruirse calculando el número de manchas presentes en la superficie del Sol con datos recaudados por los astrónomos desde principios del Siglo XVII. Asimismo, estos astrónomos analizaron el hielo de Groenlandia y de la Antártida para descubrir la concentración de Berilio-10 ya que es un isótopo que se forma en la alta atmósfera debido a la acción de rayos cósmicos intergalácticos. Cuanto más activo está el Sol, más disminuyen las concentraciones de Berilio-10, ya que los rayos solares dificultan el paso de la radiación cósmica intergaláctica y amortiguan su llegada a la atmósfera terrestre. Con los datos de ambas fuentes en la mano, los científicos descubrieron que el número de manchas solares visibles desde 1940 es mucho más intenso que el que existió en los mil años anteriores. Esta reciente investigación de la mayor actividad solar desde 1940, la estabilidad del Ecuador magnético en el Perú y Bolivia en el año 1940 y la mayor intensidad del electrochorro ecuatorial, sincroniza con la entrada del punto vernal a la Constelación de Aquarius en el año 1940.

6.7. - Relación longitud del ciclo de manchas solares y el cambio climático desde 1940

Friis-Christensen and Lossen (1991) en "Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate", *Science* 254, pag. 698- 700. Reporta una relación en la longitud del ciclo solar y la variación de la Temperatura en el hemisferio norte. La figura 5.10 muestra las variaciones (en décimas de grados Celsius) en la temperatura promedio sobre la superficie de la Tierra y su correlación con la variación de la actividad magnética del sol desde 1860. La actividad magnética del sol puede medirse en función de

la duración (entre 11,5 y 9,5 años) del ciclo de manchas solares, es decir, a mayor duración del ciclo, menor es la actividad del sol. Se observa que la correlación es asombrosa y establece claramente que los mínimos de actividad solar o sea, cuando el ciclo es más largo, causan un enfriamiento del clima en la Tierra.

En la figura 6.9, la longitud del ciclo de manchas solares en años (eje vertical izquierdo y gráfico de línea sólida) y la variación, o anomalía, de la temperatura promedio sobre la superficie de la Tierra, en grados celsius, (eje vertical derecho y gráfico de línea punteada) en función del tiempo en años (eje horizontal). Se observa una fuerte correlación entre la actividad magnética del sol, representada por la duración del ciclo de manchas, y la variación de la temperatura (Friis-Christensen et.al., 1991).

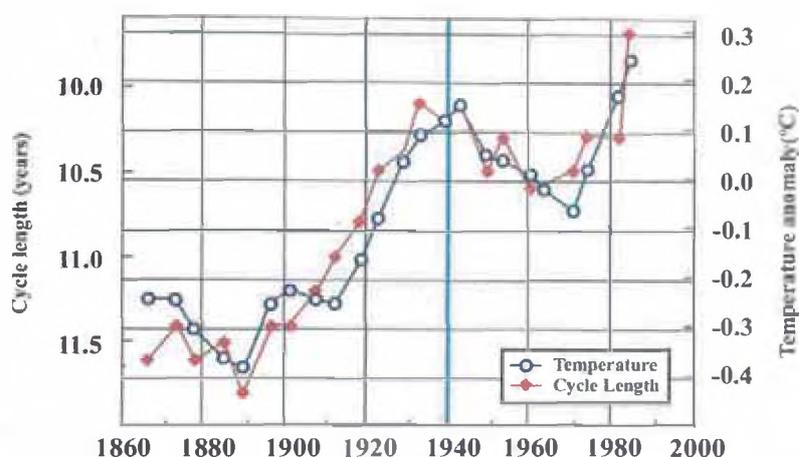


Fig. 6.9: Hay una estrecha correlación entre las temperaturas del Tierra a nivel de superficie en el Hemisferio Norte (línea negra) y el cambiante largo del ciclo de manchas solares de 11 años (línea roja), indicando la variable intensidad de la actividad eruptiva del Sol (de Friis-Christensen y Lassen, 1991).

Investigadores daneses dirigidos por Friis-Christensen (Friis-Christensen, 1991) han encontrado también una correlación positiva entre la duración de los ciclos solares y las temperaturas del siglo XX. Se observa que en los períodos de ciclos solares cortos la temperatura media de la superficie de la Tierra aumenta y disminuye cuando los ciclos se alargan. Cuando los ciclos son cortos, el Sol está más activo, más brillante. Hay más viento solar y menos nubosidad: la superficie terrestre se calienta.

6.8.- El papel del Sol en el cambio climático

Las causas fundamentales para que ocurra el cambio climático pueden ser naturales, o la acción del hombre; el cual ha aumentado su actividad nociva en los últimos siglos. Para conocer cómo evoluciona el clima a lo largo de los siglos hay que tener en cuenta la influencia de los forzamientos externos, que son capaces de alterarlo drásticamente. Según la importancia de estos factores externos en cada momento el sistema climático será más o menos caótico. Dentro de los procesos de forzamientos externos o Influencias externas se tienen: Variaciones solares. Variaciones orbitales. e Impactos de meteoritos.

La temperatura media de la Tierra depende, en gran medida, del flujo de radiación solar que recibe, siendo el motor de los fenómenos atmosféricos, al aportar la energía necesaria a la atmósfera para que estos se produzcan; no obstante este presenta poca variación en el tiempo, por lo que no se considera que tenga una influencia significativa en la variabilidad climática. Puede asumirse que la luminosidad solar se ha mantenido prácticamente constante a lo largo de millones de años.

Se ha observado que en un máximo de actividad solar (máximo número de manchas solares) el sol irradia, en promedio, una mayor cantidad de luz (o energía) que en períodos de mínima actividad, por lo que aquí en la Tierra se recibe, en períodos de máxima actividad, un poco más calor que en períodos de mínima actividad (B. Geerts and E. Linacre). También, como se explicaba anteriormente, el viento solar aumenta en períodos de máxima actividad, alcanzando las capas altas de la atmósfera terrestre e influyendo sobre el campo magnético de la Tierra.

Otra manifestación de la influencia de la actividad solar sobre el clima de la Tierra es la correlación existente entre el grosor de los anillos de los árboles y el ciclo de actividad magnética del sol, como lo muestra la figura 6.10. El grosor de los anillos indica mejores condiciones de crecimiento del árbol en el año respectivo, lo cual entre otras cosas, indicaría abundancia de lluvias y/o altas temperaturas. Por otro lado, la actividad magnética del sol, aparte de verse reflejada en el número de manchas solares, también se refleja en la abundancia del isótopo radioactivo del carbono

En el gráfico 6.10, demuestra que a menor abundancia de carbono-14 (mayor actividad magnética del sol) mayor es el grosor de los anillos de los árboles, o sea, mejores condiciones climáticas para el crecimiento, como por ejemplo: abundancia de lluvias, mayores temperaturas, etc.. El eje horizontal indica la época de observación en años D.C. Existe toda una disciplina que estudia las condiciones climáticas en la Tierra en función del estudio de los anillos, la que se denomina dendrocronología.

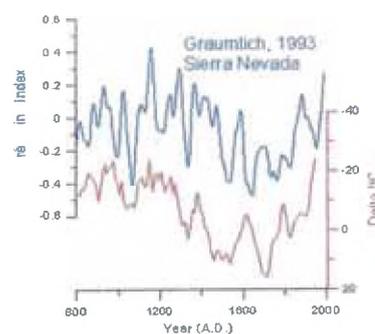


Fig. 6.10 Variación temporal del grosor de los anillos de los árboles (tree ring index) en Sierra Nevada comparado con la abundancia atmosférica del isótopo radioactivo carbono-14 (Delta 14C) (en “Solar Variability and Climate Changes”). Notar que la abundancia de carbono-14 crece hacia abajo.

CAPÍTULO VII

PUNTO VERNAL Y EL CAMBIO CLIMATICO DE LA TIERRA

Cada vez es más frecuente encontrar noticias relacionadas con el clima y el cambio climático en los medios de comunicación. Esta tendencia parece responder a un aumento del interés de la sociedad por el clima y su influencia en el desarrollo de las civilizaciones, unido al hecho de que por primera vez en la historia del planeta la Humanidad es consciente de su capacidad de modificar el clima global alterando la composición de la atmósfera y la superficie terrestre mediante la actividad industrial, las talas masivas de árboles y otras actividades. La evidencia de que estas actividades están afectando al clima ha hecho que organismos como la ONU comiencen a movilizarse generando programas internacionales de estudio de estos cambios (por ejemplo, el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas -WCRP- o el Programa Internacional Geosfera-Biosfera -IGBP) con el fin de conocer y prevenir los posibles efectos de futuros cambios climáticos en la sociedad actual.

Todas estas iniciativas internacionales se han encontrado con la necesidad de conocer más acerca del sistema climático terrestre y de la influencia que en él tienen las actividades antrópicas, como paso previo a la predicción de futuras tendencias y cambios. Para ello han ido creando otros programas con objetivos más concretos, como PAGES (Cambios Globales Pasados) o CLIVAR (Programa de Variabilidad Climática y Predicción). La finalidad de estos estudios es conocer el funcionamiento pasado y presente del sistema climático terrestre hasta el punto de poder anticipar y prevenir futuros problemas para la civilización. Para ello, los datos obtenidos en las investigaciones están siendo utilizados en la generación de modelos climáticos que sean capaces de representar a los componentes del sistema climático y sus interacciones. El hecho de que los datos de épocas históricas no contengan toda la variabilidad climática que los estudios geológicos han puesto de manifiesto -y que ha de ser introducida en los modelos de predicción climática- hace necesario recurrir al estudio de series temporales que contengan una buena señal climática del pasado de la Tierra.

7.1. El sistema climático

El sistema climático es un sistema altamente complejo integrado por cinco grandes componentes: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la superficie terrestre y la biosfera, y las interacciones entre ellos (ver figura 7.1). El sistema climático evoluciona con el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y debido a forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las variaciones solares y los forzamientos inducidos por el ser humano, como los cambios en la composición de la atmósfera y los cambios en el uso de la tierra.

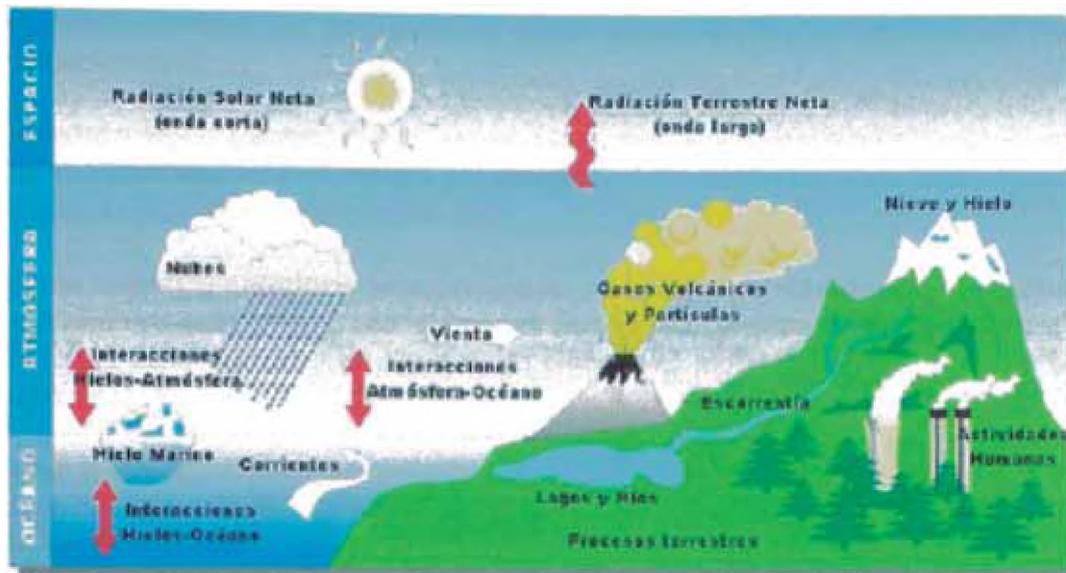


Fig.7.1. Sistema climático: Atmósfera, hidrosfera, criosfera, superficie terrestre y biosfera

La atmósfera, los océanos, los continentes, las grandes masas de hielo y nieve y los organismos vivientes del planeta Tierra, son los principales componentes del medio ambiente. Todos ellos se encuentran en un estado de permanente interacción a través del intercambio de flujos de materia (flujos de agua líquida o vapor, otros gases y partículas) y energía (radiación electromagnética y calor). En particular, los procesos físicos y químicos internos de la atmósfera y el conjunto de sus interacciones con los otros componentes del medio ambiente constituyen lo que, en un sentido amplio, se denomina el *sistema climático terrestre*.

El clima es el estado característico de este sistema, determinado a través de las mediciones de un conjunto de variables atmosféricas tales como: temperatura, presión, velocidad del viento, radiación, etc. Las características de ese estado se expresan mediante valores medios y otros momentos estadísticos superiores de esas variables, obtenidos sobre la base de un período suficientemente prolongado de observaciones no menor a 30 años.

Uno de los aspectos más resaltantes del sistema climático es su variabilidad. Esta ocurre en distintas escalas, desde sucesos breves y localizados, como tormentas eléctricas o heladas, hasta eventos de gran alcance y duración, como el fenómeno de El Niño y el cambio climático

7.1.1.- Componentes del sistema climático

Los cinco grandes componentes del sistema climático (ver figura 7.2) son:

- Atmósfera (capa gaseosa que envuelve a la Tierra).
- Hidrosfera (el agua tanto dulce como salada en estado líquido).
- Criosfera (Hielos continentales y marinos, Nieve y permafrost)
- Litosfera (el suelo).
- Biosfera (los seres vivos que pueblan la Tierra).

Los sistemas presentan con frecuencia un estado de equilibrio y se estructuran a partir de tres elementos básicos:

- Entradas o *inputs* (causas).
- Flujos o transferencias de materia y/o energía.
- Salidas u *outputs* (efectos o respuestas).

El sistema climático constituye la expresión de un sistema en equilibrio global, dominado por intercambios energéticos, con diferentes factores en la entrada que intervienen en el control de la parte central y el mosaico de climas del globo como resultante de todo el conjunto.

Entradas o inputs

- Energía radiante del sol (el principal).
- Rotación de la tierra.
- Movimiento orbital.
- Distribución de tierras y mares.
- Topografía terrestre y oceánica.
- Composición de la atmósfera y de los océanos.

Parte central

- Configuración del tiempo y clima.
- Movimientos del aire y reparto del calor.

Salidas u outputs

- Climas regionales y globales del planeta.

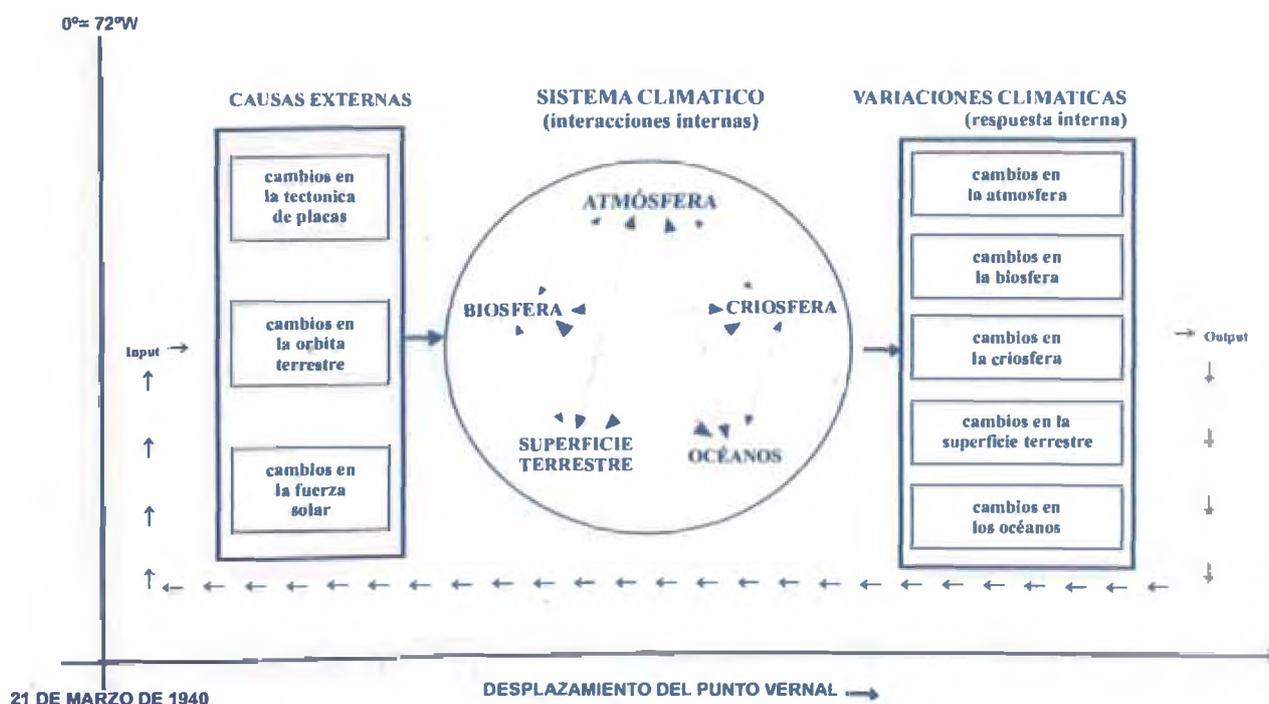


Fig. 7.2. Esquema del sistema climático terrestre, sus componentes, interacciones entre ellos, factores que los modifican y posibles variaciones climáticas. Modificado de Ruddiman (2001).

7.2 Causas de los cambios Climáticos

Según el informe del Grupo de trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático del IPCC, explica ¿Qué es lo que produce cambios en el clima?. La Tierra absorbe la radiación del Sol, sobre todo en la superficie. Esta energía es redistribuida luego por las circulaciones atmosférica y oceánica, y es irradiada nuevamente al espacio en longitudes de onda más largas (infrarrojas). Para la media anual y para la Tierra en su conjunto, la energía de la radiación solar que ingresa se equilibra aproximadamente con la radiación terrestre saliente. Cualquier factor que altere la radiación recibida del Sol o perdida en el espacio, o que altere la redistribución de energía dentro de la atmósfera y entre atmósfera, tierra y océano, puede afectar el clima. Un cambio en la energía radiativa neta disponible para el sistema mundial de Tierra-atmósfera se denomina forzamiento radiativo.

Los forzamientos radiativos positivos tienden a calentar la superficie de la Tierra y la atmósfera inferior. Los forzamientos radiativos negativos tienden a enfriarlas. Los aumentos en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) reducirán la eficiencia con la cual la superficie de la Tierra irradia energía al espacio (ver tabla 7.3). La atmósfera absorbe más radiación terrestre que se desprende de la superficie y vuelve a emitirla en altitudes superiores y temperaturas más bajas. Así se produce un forzamiento radiativo positivo que tiende a calentar la atmósfera inferior y la superficie. Como se desprende menos calor hacia el espacio, se refuerza el efecto invernadero, es decir que se intensifica un efecto que ha ocurrido en la atmósfera de la Tierra durante miles de millones de años, debido a la presencia de GEI que se producen naturalmente: vapor de agua, dióxido de carbono, ozono, metano y óxido nitroso. La cantidad de forzamiento radiativo depende de la magnitud del aumento en la concentración de cada GEI, de las propiedades radiativas de los gases en cuestión y de las concentraciones de otros GEI ya presentes en la atmósfera. Además, muchos GEI permanecen en la atmósfera durante siglos después de haber sido emitidos, introduciendo así un compromiso a largo plazo de forzamiento radiativo positivo.

En la tabla 7.3 se muestra, ejemplos de gases de efecto invernadero en los que influyen las actividades humanas: CO₂ (Dióxido de carbono), CH₄ (Metano), N₂O (Óxido nitroso), CFC-11 (Clorofluoro carbono-11), HFC-23 (Hidrofluoro carbono-23), CF₄ (Perfluorometano)

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC-23	CF ₄
(1750)	-280 ppm	-700 ppb	-270 ppb	zero	zero	40 ppt
(1998)	365 ppm	1745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
Rate of change	1.5 ppm/yr	7.8 ppb/yr	0.8 ppb/yr	-1.4 ppt/yr	0.55 ppt/yr	1 ppt/yr
GWP	1	22	310	6200	1300	6500
Lifetime	5-200 yr	12 yr	114 yr	45 yr	260 yr	50.000 yr

Tabla 7.3. Variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI)

Los aerosoles (partículas o gotitas microscópicas en el aire) antropógenos en la troposfera, como los que se derivan de los combustibles de origen fósil y de la combustión de biomasa, pueden reflejar la radiación solar, lo cual provoca una tendencia al enfriamiento en el sistema climático. Así como puede absorber la radiación solar, los aerosoles de hollín tienden a calentar el sistema climático. Además, los cambios en las concentraciones de aerosoles pueden alterar la nubosidad y la reflectividad de las nubes, por su efecto sobre las propiedades y duración de las nubes. En la mayoría de los casos, los aerosoles troposféricos tienden a producir un forzamiento radiativo negativo y a enfriar el clima. Tienen una duración mucho más breve (de días a semanas) que la mayor parte de los GEI (de decenios a siglos) y, como resultado, sus concentraciones responden mucho más rápidamente a los cambios en las emisiones.

La actividad volcánica puede inyectar en la estratosfera grandes cantidades de gases azufrosos (sobre todo, anhídrido sulfuroso), que se transforman en aerosoles de sulfatos. Las erupciones individuales pueden producir un gran forzamiento radiativo negativo, aunque transitorio, tendiente a enfriar la superficie de la Tierra y la atmósfera inferior por períodos de unos pocos años. La generación de energía del Sol varía en pequeñas cantidades (0,1%) en un ciclo de actividad de once años y además pueden producirse variaciones por períodos más prolongados. En escalas temporales de decenas a miles de años, las lentas variaciones en la órbita de la Tierra, que se conocen bien, han ocasionado cambios en la distribución estacional y latitudinal de la radiación solar. Esos cambios han desempeñado un importante papel al controlar las variaciones del clima en el pasado remoto, como en los ciclos glaciales e interglaciales.

Cuando cambian los forzamientos radiativos, el sistema climático responde en diversas escalas temporales. Las más prolongadas se deben a la gran capacidad de almacenamiento de calor de las profundidades de los océanos y al ajuste dinámico de los mantos de hielo. Esto significa que la respuesta transitoria a un cambio (positivo o negativo) puede durar miles de años. Todo cambio en el equilibrio radiativo de la Tierra, incluso los debidos a un incremento en los GEI o en los aerosoles, alterará el ciclo hidrológico mundial y la circulación atmosférica y oceánica, afectando por lo tanto las pautas meteorológicas y las temperaturas y precipitaciones regionales.

Todo cambio en el clima inducido por los seres humanos se añadirá a las variaciones climáticas naturales que se producen en toda una gama de escalas temporales y espaciales. La variabilidad climática puede generarse como resultado de cambios naturales en el forzamiento del sistema climático, por ejemplo variaciones de intensidad de la radiación solar entrante y cambios en las concentraciones de aerosoles producidos por erupciones volcánicas. También pueden producirse variaciones climáticas naturales sin que exista un cambio en el forzamiento externo, como resultado de complejas interacciones entre los componentes del sistema climático, como en el acoplamiento entre la atmósfera y los océanos. El fenómeno El Niño-Oscilación Austral (ENOA) es un ejemplo de esa variabilidad natural “interna” en escalas temporales interanuales. Para distinguir los cambios climáticos antropógenos de las variaciones naturales, es necesario identificar la “señal” antropógena distinta del “ruido” de fondo de la variabilidad climática natural.

Entre los cambios observados en el sistema climático, lo tenemos en la temperatura, en las precipitaciones y en la humedad de la atmósfera, en la extensión de la capa de nieve y del hielo terrestre y marino, en el nivel del mar, en las pautas de circulación atmosférica y oceánica, en la variabilidad del clima y en los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. La visión de conjunto: un mundo en fase de calentamiento y otros cambios en el sistema climático

7.3.- Clima y los Ciclos Orbitales de la Tierra

Milutin Milankovitch fue un astrofísico serbio, profesor de mecánica en la Universidad de Belgrado, que dedicó su carrera a desarrollar una teoría matemática del clima. En 1941 publicó sus conclusiones más importantes: los cambios en el reparto estacional de la insolación, debidos a factores astronómicos, son los responsables de la expansión y retirada de los grandes mantos glaciares del Pleistoceno. Las teorías de Milankovitch, que ya habían sido sugeridas por el escocés James Croll en 1864, fueron olvidadas y no renacieron con fuerza hasta la reciente década de 1980, en que se comprobó que existían correlaciones entre las periodicidades halladas por Milankovitch y los ciclos glaciares e interglaciales del Cuaternario. En 1920 Milankovitch publicó tales cálculos realizados por él mismo para la Tierra, Venus y Marte (Milankovitch, 1920).

Debido a las influencias gravitatorias de los otros planetas del Sistema Solar, a lo largo de los milenios se van modificando cíclicamente diversos parámetros astronómicos del movimiento de la Tierra, como son: a) la relación del momento de los equinoccios y de los solsticios con respecto al momento de mayor o menor lejanía de la Tierra al Sol (precesión de los equinoccios), b) la forma ligeramente elíptica de la órbita terrestre (excentricidad de la órbita) y c) la inclinación del eje de rotación de la Tierra (oblicuidad del eje). Al combinarse los tres ciclos de variación, con sus diferentes periodicidades e intensidades, se producen variaciones complejas en la cantidad de radiación solar interceptada en cada latitud y en cada estación del año.

En la teoría de Milankovitch (ver figura 7.4) se asume que la energía solar incidente en la Tierra en su globalidad y durante un año completo es siempre la misma (excepto en los cambios de excentricidad, en donde se admite un ligero cambio). La variación relevante radica en el diferente reparto de la energía en cada estación del año y en cada hemisferio, según van variando a lo largo de los años las características de la órbita. También es

interesante anotar que cada uno de los ciclos de Milankovitch puede producir efectos climáticos diferentes en cada latitud.

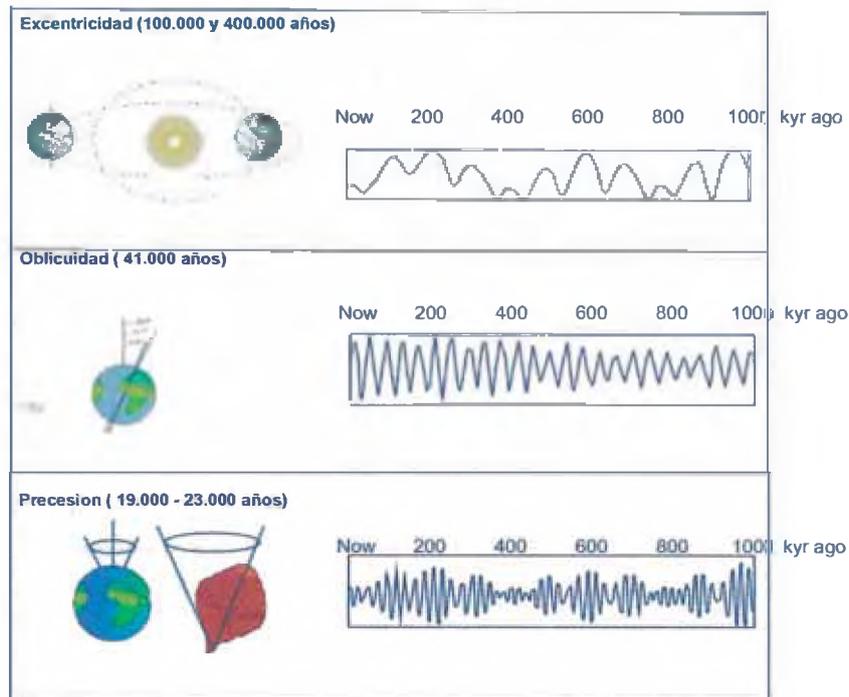


Fig. 7.4. Componentes orbitales terrestres que influyen en la cantidad de radiación solar que recibe nuestro planeta. A la izquierda se representan esquemáticamente los parámetros mientras que a la derecha se indica el registro de cada uno para los últimos 500.000 años, calculado según el método de Laskar (1990) a través del programa Analyseries 1.1 (Paillard et al., 1996).

7.3.1.- La precesión de los equinoccios

La Tierra describe una órbita ligeramente elíptica alrededor del Sol (en la figura se ha exagerado mucho la excentricidad de la elipse). El Sol no está ubicado en el centro de la elipse sino que ocupa uno de sus focos. Hoy día, durante el solsticio de invierno del hemisferio norte (22 de Diciembre) la Tierra se encuentra próxima al punto de su órbita más cercano al Sol, el perihelio, que alcanza el 3 de Enero. La distancia al Sol durante esos días es la más corta del año, unos 147 millones de kilómetros, y por esa razón la Tierra en su conjunto recibe esos días el máximo de calor.

Por el contrario, durante el solsticio de verano del hemisferio norte (21 de Junio) la Tierra se encuentra próxima al punto de su órbita más alejado del Sol, el afelio, que alcanza el 4 de Julio. La distancia al Sol es la más larga del año, 152 millones de kilómetros, es decir unos 5 millones más que en el perihelio, y la Tierra en su conjunto recibe esos días un 3,5 % menos de energía solar (en algunos periodos glaciares las diferencias en la distancia eran de hasta 15 millones de km). A lo largo de los milenios van cambiando las fechas del perihelio y del afelio. Hace 11.000 años el perihelio ocurría en Junio y el afelio en Diciembre. Lo contrario de ahora.

Ocurre que en un ciclo de unos 23.000 años el eje de rotación de la Tierra va describiendo una figura cónica alrededor de una recta perpendicular al plano de la eclíptica. Así, hace unos 11.000 años el eje terrestre no apuntaba hacia la estrella Polar sino hacia la estrella Vega. Este lento movimiento de peonza, es debido a que la Tierra no es perfectamente esférica, pues en su período de formación quedó algo achatada en los polos y engordada en el Ecuador. Por otra parte, la propia eclíptica tiene también un lento movimiento de rotación, motivado por los cambios gravitatorios ejercidos sobre la Tierra por el resto de los planetas, que contribuye también a modificar la posición de los solsticios y de los equinoccios.

7.3.1.1.- Consecuencias climáticas

En la época actual, ya que la Tierra pasa por el perihelio cuando es invierno en el hemisferio norte (Enero), la menor distancia al Sol amortigua en parte el frío invernal en ese hemisferio; de la misma manera, ya que la Tierra se encuentra en el afelio cuando es verano en el hemisferio norte (Julio), la mayor distancia al Sol amortigua el calor estival. Es decir, la actual configuración de la órbita terrestre alrededor del Sol ayuda a que las diferencias estacionales de temperatura en el hemisferio norte sean menores. Por el contrario, las diferencias estacionales en el hemisferio sur se agudizan. Ahora bien, al ser los veranos boreales más largos cuando el Sol está más alejado de la Tierra y los inviernos más cortos, en el conjunto de la energía estacional recibida las diferencias no son tan grandes.

La teoría paleoclimática tradicional indica que las glaciaciones y las desglaciaciones comienzan en las latitudes altas del hemisferio norte y luego se extienden al resto del planeta. Según Milankovitch, para la acumulación de los grandes mantos glaciales de Norteamérica (manto Laurentino) y de Eurasia (manto Finoescandinavo) se necesita un período de veranos frescos en las latitudes altas del hemisferio norte que disminuyan la ablación veraniega y permitan la persistencia de la nieve caída en el invierno anterior.

Para que se produzca esta acumulación de hielo y nieve es necesario que la insolación veraniega allí sea baja, lo cual ocurre cuando el verano boreal coincide con el afelio. Esta circunstancia se dio hace unos 22.000 años, cuando se produjo el máximo avance glacial (también ocurre ahora, pero entonces el efecto era mayor que hoy debido a una mayor excentricidad de la órbita). Por contra, la disminución del hielo continental se ve favorecida cuando la insolación veraniega en las latitudes altas es elevada y la insolación invernal es baja, produciendo veranos más cálidos (mayor deshielo) e inviernos más fríos (menor cantidad de nieve), situación que alcanzó su expresión máxima hace unos 11.000 años. Este cambio de ubicación estacional del perihelio y del afelio modificó el reparto estacional de energía solar e influyó probablemente de forma muy importante en el último proceso de desglaciación.

Ahora bien hay que tener en cuenta que la intensidad de la radiación en el verano está inversamente relacionada con la duración del verano. Es debido a la segunda ley de Kepler, por la cual el movimiento de la Tierra se acelera cuando pasa por el perihelio. Este es el talón de Aquiles de la teoría de que la precesión es la que rige las glaciaciones. Cuando se tiene en cuenta la integración de la intensidad solar durante el conjunto del verano (o mejor,

del conjunto de los días en los que existe deshielo en los mantos del norte) la oblicuidad resulta ser más importante que la precesión y la excentricidad.

El ciclo de precesión de los equinoccios (ver figura 7.4) es probablemente más determinante en el clima de las zonas tropicales que en las polares, en donde parece jugar un papel más importante la oblicuidad del eje.

Una de las señales indicativas de que la precesión de los equinoccios tiene importancia en los ciclos climáticos tropicales es la alta correlación existente entre sus fluctuaciones y la concentración de gas metano en la atmósfera, según queda atestiguado en los hielos de Groenlandia y de la Antártida. Se explica porque la concentración atmosférica de metano depende en gran parte de las emisiones desde los humedales continentales de Asia y África y la humedad continental depende de la fuerza de los monzones estivales. Los monzones son más fuertes cuanto mayor sea el calentamiento veraniego en las tierras interiores de Asia y África y esto ocurre cuando el perihelio recae en el verano septentrional. La mayor productividad de fitoplancton en el mar de Arabia, debido al incremento del afloramiento de aguas del fondo cuando los monzones de verano son intensos, atiende, según se constata en los sondeos marinos, al ciclo de la precesión de los equinoccios y corrobora su importancia. También el Sahara y el Sahel eran más húmedos en la primera mitad del Holoceno debido a un monzón estival más potente, cuya causa era que la insolación en el norte de África durante el verano era mayor que la actual. Igualmente, el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical ITCZ en América tropical determina cambios en las precipitaciones, tanto en el Caribe como en Brasil. Así, el ciclo de precesión de los equinoccios juega un papel determinante en el Trópico.

7.3.2.- Excentricidad de la órbita

La órbita de la Tierra alrededor del Sol no es perfectamente circular sino elíptica, pero la excentricidad es variable (ver figura 7.4), con dos periodicidades primarias de unos 100.000 y 400.000 años. Se suele determinar la fuerza de la excentricidad mediante el parámetro “e”, el cual compara las dos longitudes focales “x” e “y” (distancias de la Tierra al Sol en el afelio y en el perihelio respectivamente) mediante la ecuación $e = (x^2 - y^2)^{1/2} / x$. Si la órbita fuese circular, las longitudes focales serían iguales, con lo que “e” sería igual cero. La órbita de la Tierra varía de ser casi circular (e=0,005) a ser marcadamente elíptica (e=0,060). El valor actual de “e” es 0,018 (Berger & Loutre, 2002).

Las variaciones en la excentricidad afectan de manera notable a la diferencia de energía solar que incide en el perihelio y en el afelio en el tope de la atmósfera. Hoy día esa diferencia es un 3,5 % (perihelio: Sol cerca: 146 millones de Km) (afelio: Sol lejos: 151 millones de kilómetros) . Esta diferencia de insolación aumenta cuando la excentricidad es mayor, y disminuye cuando es menor. En los períodos de excentricidad máxima, la diferencia de insolación incidente en el tope de la atmósfera entre el día del perihelio y el del afelio alcanza un valor de un 30 %.

El aumento de la excentricidad de la órbita terrestre provoca el incremento del contraste verano-invierno en un hemisferio y la reducción de ese contraste en el otro, dependiendo en cada caso de las estaciones en que ocurran el afelio y el perihelio. Por ejemplo, si en un hemisferio el verano coincide con el perihelio y el invierno con el afelio, y la excentricidad

es alta, la radiación solar veraniega será muy intensa y la radiación invernal será muy débil. Por el contrario, en el otro hemisferio, los contrastes estacionales estarán muy atenuados, ya que el verano coincidirá con el afelio y el invierno con el perihelio.

7.3.3.- Inclinación del eje terrestre

La inclinación del eje terrestre de rotación varía con una periodicidad de unos 40.000 años (ver figura 7.4). Cuando el valor es alto, la diferencia de insolación estacional es grande y, viceversa, si el ángulo fuese cero no habría estaciones. El valor actual es de 23,4° y durante los dos últimos millones de años ha variado entre un valor máximo de 24,5° y un mínimo de 21,5°.

Para algunos investigadores, la Tierra durante el Pleistoceno tiende a un estado glacial, que es roto en ocasiones por desglaciaciones. La oblicuidad es más determinante que la precesión y que la excentricidad en esas rupturas de equilibrio (Huybers, 2005). Los ciclos glaciales durante la primera mitad del Pleistoceno seguirían claramente esta periodicidad, de unos 40.000 años, debido a los deshielos de Groenlandia y de la costa de la Antártida Oriental. Después en el último millón de años, el aumento del frío en los márgenes de la Antártida Oriental haría que se deshelase con mayor dificultad, tal y como ocurre en la actualidad, por lo que el efecto de la oblicuidad quedaría más difuminado y prevalecerían los ciclos de unos 100.000 años, en los cuales aparece con mayor claridad la influencia de las otras variantes orbitales, la precesión y la excentricidad (Raymo, 2006).

7.4.- Punto Vernal y el cambio climático de la Tierra

El clima ha sufrido innumerables y constantes cambios en el pasado, y es razonable suponer que también cambiará en el futuro. A través de los tiempos, ha ayudado a moldear civilizaciones que en épocas recientes han tenido que ajustar sus características al clima existente durante los últimos tiempos. Esta adaptación ha sido particularmente importante en relación a la agricultura ya la producción de alimentos. En México en el período 1937 a 1944 hubo una sequía que ocasionó escasez de alimentos. Hubo restricciones para exportar productos agrícolas, control de precios y cierre de los sistemas de procesamiento de alimentos

La temperatura de la superficie de la Tierra se expone anualmente (barras azules) y aproximadamente por decenio (línea roja, curva anual filtrada que suprime las fluctuaciones por debajo de las escalas temporales próximas). En los últimos 140 y 100 años, la mejor estimación indica que la temperatura promedio mundial de la superficie ha aumentado $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

La variación de la anomalía de la temperatura global tanto en el hemisferio norte y sur (ver figura 6.5) aproximadamente en los años 1938-1939 encuentra una estabilización promedio ($0,1^{\circ}\text{C}$). sincronizado con la estabilidad del ecuador magnético empezando desde la latitud $11,5^{\circ}\text{S}$ en el año 1940 (ver grafico) y desde el punto de vista precesional con la entrada del punto vernal a la constelación de Aquarius en la declinación $11,5^{\circ}\text{S}$.

En la figura 7.5, la mayor parte del aumento de la temperatura mundial desde fines del siglo XIX se ha producido en dos períodos distintos: 1910 a 1940 y a partir de 1976. El ritmo de

aumento de la temperatura para ambos períodos es de unos $0,15^{\circ}\text{C}/\text{decenio}$. El calentamiento reciente ha sido mayor en tierra que en los océanos; el aumento de la temperatura en la superficie del mar durante el período 1950–1993 es aproximadamente la mitad del experimentado por la temperatura media del aire en la superficie del suelo. La elevada temperatura mundial asociada con el fenómeno El Niño de 1997 a 1998 se destaca como un fenómeno extremo, aun tomando en cuenta el ritmo reciente de calentamiento.

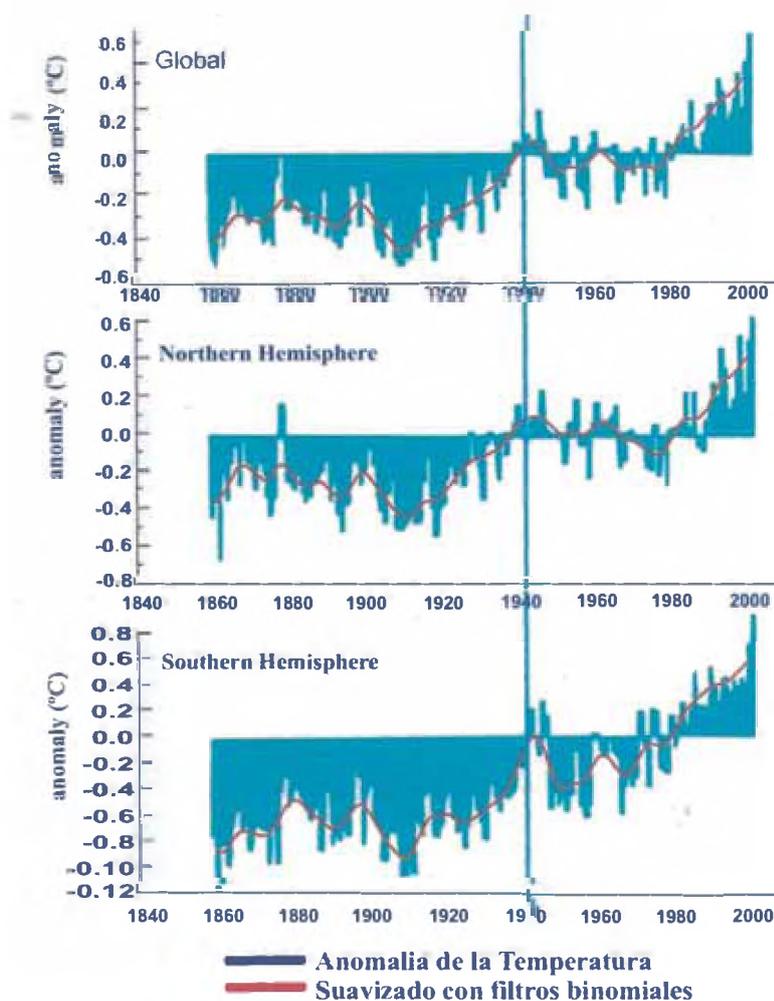


Fig. 7.5. Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra en los últimos 140 años

Así mismo David J. Thomson, en su artículo “las estaciones, la temperatura global y la precession” (The Seasons, Global Temperature, and Precession), Science. Vol. 268, 7 april 1995, menciona que en los últimos 300 años, la fase de cambios en el temperature global, empezó cerca del año 1940.

7.5.- Temperaturas del Ártico se calienta aproximadamente desde 1940

Una de las pruebas más visibles del aumento de temperatura es el derretimiento de glaciares. Aproximadamente desde 1940, las temperaturas del Ártico son ahora las más elevadas de los últimos 2.000 años. Darrell S. Kaufman, et.al., en "Recent Warming Reverses Long-Term Arctic Cooling", *Science*, Vol. 325, No. 5945. (4 September 2009), pp. 1236-1239, de la Universidad del Norte de Arizona, EE.UU., explica que "La señal más persuasiva en la reconstrucción de las temperaturas, es el enfriamiento general que tuvo lugar durante los primeros 1.900 años (de registro)", ver figura 6.6 . La raíz de la causa del lento enfriamiento era la "fluctuación" orbital que lentamente varía, a lo largo de miles de años. Esta oscilación disminuye lentamente la cantidad total de la energía solar que llega a la región ártica en verano.

El siglo XX contrasta con el ritmo de enfriamiento que debió continuar. Los últimos 50-60 años han sido los más calurosos del estudio de 2.000 años, siendo la última década especialmente dramática". En promedio la región se enfrió a un ritmo de 0,2°C por milenio hasta el año 1900. Desde entonces la temperatura aumentó un 1,2°C. Buena parte del debate sobre cambio climático se centra en el período templado medieval, o mejor conocido como Anomalía Medieval del Clima, un período que ocurrió hace 1.000 años. Análisis recientes muestran que la temperatura era más cálida en esa región hace 1.000 años, pero no tan alta como lo es ahora.

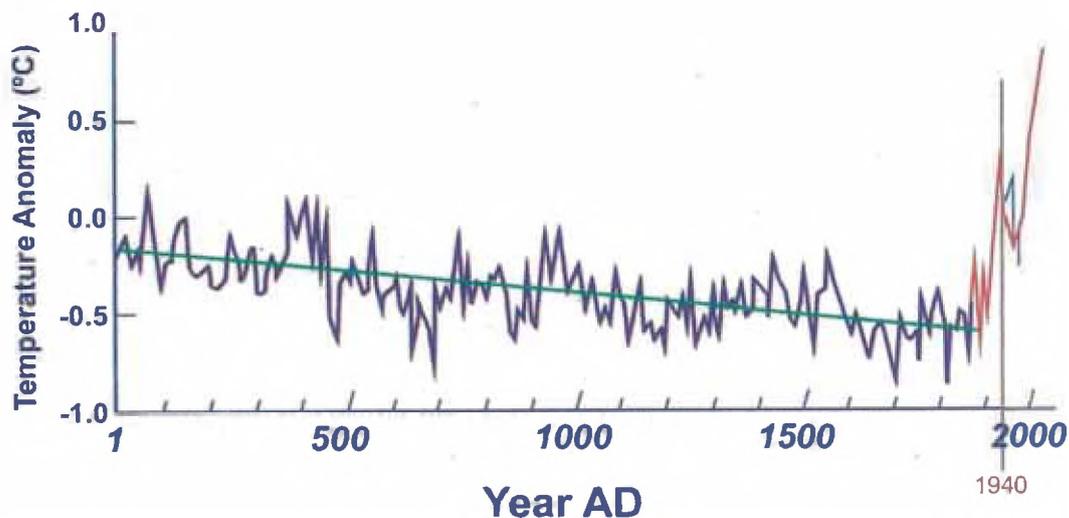


Fig. 7.6. Reconstrucción de las temperaturas del Ártico, el enfriamiento general que tuvo lugar durante los primeros 1.900 años

Así mismo otro proyecto de investigación es el hecho más notable de la evolución de la temperatura en las costas del Ártico en el último siglo fue una subida rápida, superior a 1°C, entre 1920 y 1940 (ver figura 7.7). Después las temperaturas bajaron entre 1940 y 1970, y finalmente se produjo una nueva subida desde 1970, que se ha intensificado en los últimos años.

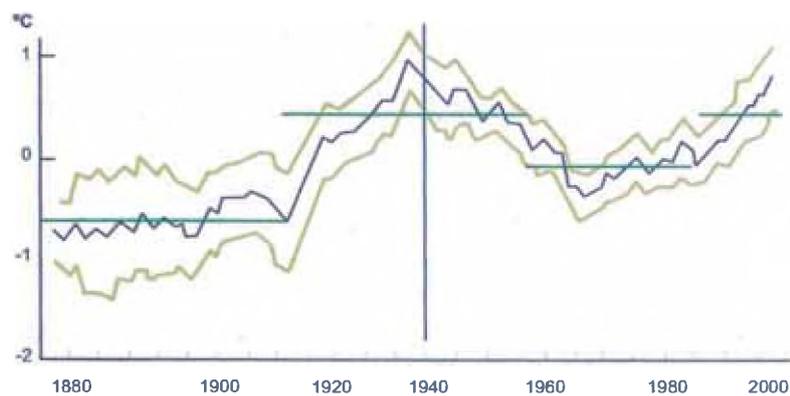


Fig.7.7. Anomalía de la temperatura en las costas del Ártico durante el período 1880-2000 (en azul) con respecto al período 1960-90. Nivel de confianza del 95 % (en amarillo). Temperatura media en diversos períodos (en verde) (referencia: Polyakov, 2002)

CAPÍTULO VIII

PUNTO VERNAL Y EL MODELO DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA TIERRA

8.1.- Introducción

Este capítulo tiene su base en un informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988. El sistema climático es un sistema caótico no lineal acoplado, que por ende no permite predecir con exactitud y a largo plazo los estados futuros del clima. En consecuencia, se debe centrar la atención en la predicción de la distribución probable de los posibles estados futuros del sistema mediante la generación de conjuntos de soluciones derivadas de los modelos. La propuesta que se hace, es que estos modelos de predicción, deben ser considerado con un sistema de referencia (ingreso del punto vernal a la constelación de Aquarius)

8.2.- Principales rasgos de la comprensión del sistema climático y del cambio climático en los albores del siglo XXI.

Se intenta describir los principales rasgos (ver figura 8.1) de la comprensión del sistema climático y del cambio climático en los albores del siglo XXI. Concretamente:

8.2.1.- Periodos antiguos e Instrumental

1.- ¿Qué muestra el registro de las observaciones con respecto a los cambios climáticos históricos, tanto a escala mundial como regional, y tanto en promedio como en los extremos?

Se debe considerar las observaciones que delinear cómo ha cambiado el sistema climático en el pasado. Se tiene un conjunto creciente de datos paleoclimáticos, p.ej., a partir de árboles, corales, sedimentos y hielo, que ofrece información sobre el clima de la Tierra desde siglos y milenios atrás. Muchas de las variables del sistema climático han sido medidas directamente, o sea, constituyen el “registro instrumental”. Por ejemplo:

- a mediados del siglo XIX se iniciaron amplias mediciones directas de la temperatura superficial.
- Durante un centenar de años, se han estado haciendo observaciones casi mundiales de otras variables “meteorológicas” en la superficie, como las precipitaciones y los vientos.
- En algunos lugares, se han registrado mediciones del nivel del mar por más de cien años, pero la red de mareógrafos con registros prolongados sólo aporta una limitada cobertura mundial.
- Las observaciones en la atmósfera superior sólo se han hecho sistemáticamente desde fines de los años cuarenta. Hay también largos registros de observaciones oceánicas en la

superficie, hechos desde buques a partir de mediados del siglo XIX y mediante boyas especiales con ese objeto desde fines de los años setenta.

Se cuenta ahora con mediciones de la temperatura oceánica bajo la superficie, con cobertura casi mundial, desde fines de los años cuarenta.

Desde fines de los setenta, se han usado otros datos provenientes de satélites de observación de la Tierra, que suministran una amplia gama de observaciones mundiales de diversos componentes del sistema climático.

Es necesario el conocimiento actual de los cambios históricos en variables climáticas clave: temperatura, precipitaciones y humedad de la atmósfera, la capa de nieve, la extensión del hielo terrestre y marino, el nivel del mar, las pautas de la circulación atmosférica y oceánica, los fenómenos extremos en las condiciones meteorológicas y el clima, y los rasgos generales de la variabilidad climática.

Finalmente se debe comparan las tendencias observadas en esos diversos indicadores del clima, para verificar si surge un cuadro colectivo. El grado de esta coherencia interna es un factor crítico para evaluar el nivel de confianza en la comprensión actual del sistema climático.

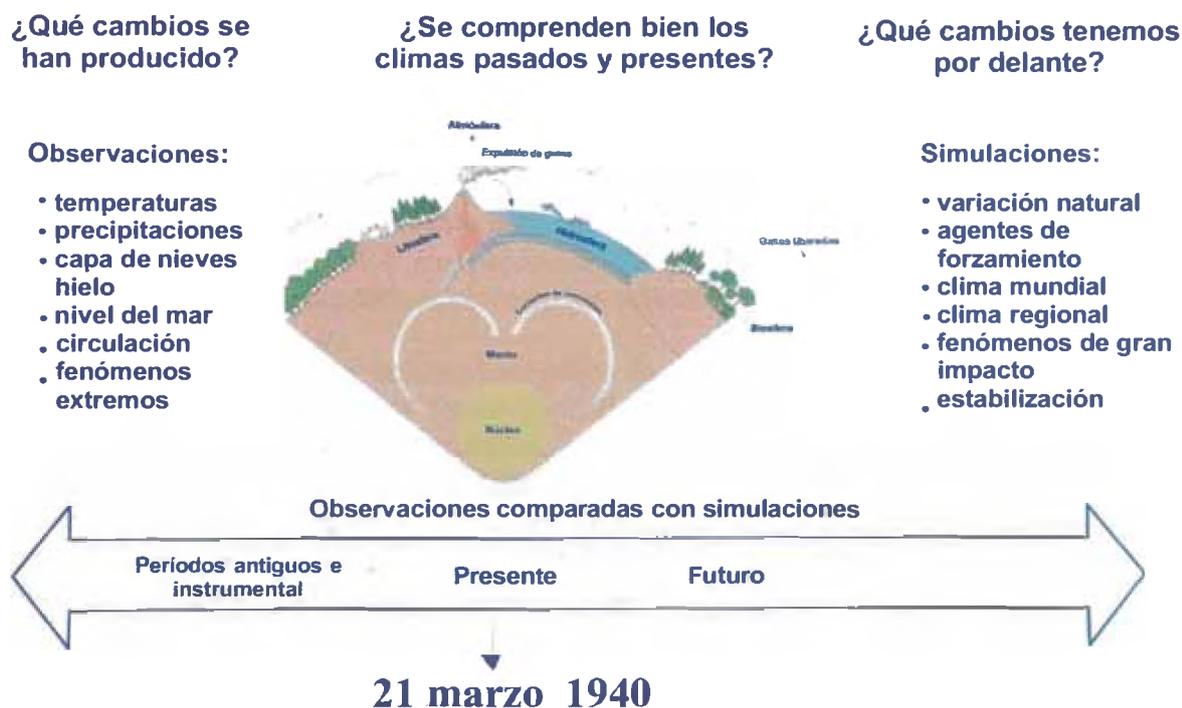


Fig. 8.1. Preguntas claves acerca del sistema climático y su relación con la humanidad.

2.- ¿En qué medida existe una comprensión cuantitativa de los agentes modificadores del clima, incluyendo tanto los fenómenos naturales (p.ej., la variación solar) como los relacionados con los seres humanos (por ejemplo, los gases de efecto invernadero)?

Además de las variaciones y cambios ocurridos en el pasado en el clima de la Tierra, también las observaciones han documentado los cambios producidos en los agentes que pueden provocar el cambio climático. Los más notables han sido los aumentos en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI) y de aerosoles (partículas o gotitas microscópicas en suspensión en el aire) y las variaciones en la actividad solar, que pueden ambas alterar el balance de radiación de la Tierra y por lo tanto el clima.

Como el registro de los cambios climáticos en el pasado, los conjuntos de datos sobre los agentes de forzamiento son de diversa extensión y calidad. Sólo existen mediciones directas de la irradiancia solar para unos dos decenios. La supervisión directa constante de las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera comenzó a mediados del siglo XX y se extendió en los últimos años a otros gases bien mezclados muy persistentes, como el metano. Los datos paleoatmosféricos a partir de muestras de hielo revelan los cambios en la concentración de algunos GEI producidos en milenios anteriores. En cambio, las mediciones temporales de los agentes de forzamiento que tienen tiempos de residencia relativamente breves en la atmósfera (p.ej., los aerosoles) son más recientes y mucho menos completas, porque son más difíciles de medir y espacialmente heterogéneas.

Los conjuntos de datos actuales muestran la influencia humana sobre las concentraciones atmosféricas, tanto de GEI muy persistentes como de agentes de forzamiento de corta vida durante la última parte del milenio pasado. Ejemplos de gases de efecto invernadero en los que influyen las actividades humanas: CO₂ (Dióxido de carbono), CH₄ (Metano), N₂O (Óxido nitroso), CFC-11 (Clorofluoro carbono-11), HFC-23 (Hidrofluoro carbono-23), CF₄ (Perfluorometano).

8.2.2.- Presente y sistema de referencia

- ¿Qué capacidad existe actualmente para simular las respuestas del sistema climático ante esos agentes de forzamiento? En particular, ¿hasta qué punto están bien descritos los procesos físicos y biogeoquímicos clave en los actuales modelos climáticos mundiales?

Una comprensión básica del balance energético de la Tierra permite concluir que es posible estimar cuantitativamente y en forma general los valores medios mundiales de algunas variables con modelos bastante sencillos, pero que para poder obtener estimaciones más precisas de las retroacciones y los detalles regionales es preciso utilizar modelos climáticos más elaborados. La complejidad de los procesos que forman parte del sistema climático no permite recurrir a la extrapolación de tendencias anteriores o a la aplicación de técnicas estadísticas u otras técnicas puramente empíricas para hacer proyecciones.

Es necesaria en primer lugar considerar un sistema de referencia (entrada del punto vernal a la Constelación de Aquarius, 21 de marzo 1940) para la comprensión actual de algunos de los procesos más importantes que rigen el sistema climático y el grado de precisión con que los modelos climáticos actuales los representan.

8.2.3.-Futuro

• Además, usando los instrumentos predictivos actuales, ¿cuál podría ser el futuro clima posible? Es decir, en un amplio espectro de proyecciones para varios agentes de forzamiento del clima ¿qué proyecciones permite la comprensión actual de las temperaturas mundiales, los regímenes regionales de precipitaciones, los niveles del mar y los cambios en los fenómenos extremos?

8.3.- Modelo Científico

Un modelo científico es una representación teórica de un fenómeno natural, típicamente expresado en forma matemática, que permite una mejor comprensión y estudio de su comportamiento. En el caso de la atmósfera y océano, el comportamiento está regido por las ecuaciones asociadas a la dinámica de fluidos y otros procesos físicos como la interacción entre la materia y radiación, la microfísica de nubes, etc. En general, estas ecuaciones se expresan como ecuaciones diferenciales parciales, las cuales describen la evolución futura de las diferentes variables relevantes en función de los valores de las distintas variables en el presente.

El modelo matemático consiste en estas ecuaciones junto con los valores de parámetros y condiciones de frontera (por ejemplo, las características topográficas de la Tierra, la cantidad de energía emitida por el Sol, etc.). Si conociéramos el estado de la atmósfera y/o océano en un momento dado, podríamos en principio resolver las ecuaciones de los modelos matemáticos para determinar los estados futuros de estos.

8.4.- Tipos de Modelos

En el siguiente grafico (ver figura 8.2), mostramos los tipos de modelos climáticos:

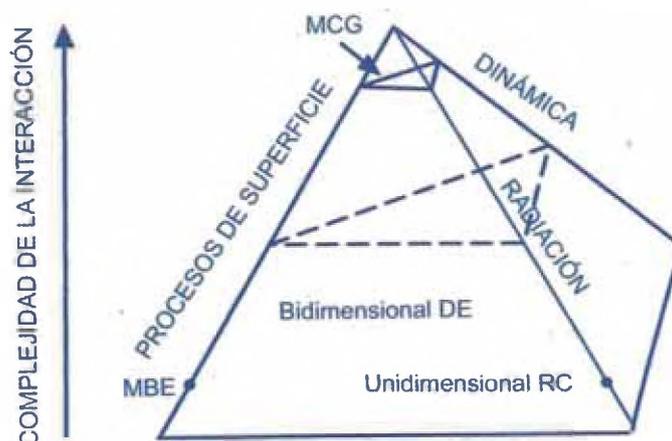


Fig. 8.2, tipos de modelos y su complejidad.

MCG: Modelos de la circulación general.

MBE: Modelos de balance de energía.

DE: Modelos bidimensionales dinámico - estadístico.

RC: Modelos unidimensionales radiativo - convectivos.

8.5.- Los modelos climáticos ¿cómo se construyen y cómo se aplican?

Los modelos climáticos generales se basan en leyes de la física representadas por ecuaciones matemáticas que se resuelven utilizando una rejilla tridimensional sobre el globo terráqueo. A fin de simular el clima, los principales componentes del sistema climático deben representarse en submodelos (la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, la criosfera y la biosfera), junto con los procesos que ocurren entre ellos y dentro de cada uno de ellos. La mayoría de los resultados que se presentan en este informe se basan en los resultados de algunos modelos en los que en cierta medida están representados todos estos componentes.

Los modelos climáticos mundiales en los que se han acoplado los componentes atmosféricos y oceánicos se conocen también con el nombre de Modelos de la Circulación General Atmósfera–Océano (MCGAO). En el módulo atmosférico, por ejemplo, se resuelven ecuaciones que describen la evolución a gran escala del impulso, el calor y la humedad. Se resuelven ecuaciones similares con respecto a los océanos. Actualmente, la resolución de la parte atmosférica de un modelo típico es de aproximadamente 250 km en línea horizontal y de alrededor de 1 km en línea vertical por encima de la capa límite. La resolución de un modelo oceánico corriente oscila aproximadamente entre 200 y 400 m en línea vertical, con una resolución horizontal de entre 125 y 250 km.

En la figura 8.3 que aparece en este recuadro puede verse la evolución de los modelos climáticos en el pasado y el presente, y su posible evolución en el futuro.

Muchos aspectos del sistema climático de la Tierra son caóticos —su evolución es sensible a pequeñas perturbaciones de las condiciones iniciales. Esta sensibilidad limita la posibilidad de predecir la evolución detallada del tiempo más allá de un lapso de aproximadamente dos semanas. No obstante, la posibilidad de predecir el clima no está tan limitada por las influencias sistemáticas en la atmósfera de los componentes del sistema climático que varían más lentamente. Sin embargo, para poder hacer pronósticos fiables, teniendo en cuenta tanto las incertidumbres en las condiciones iniciales como las debidas a los modelos, es conveniente repetir la predicción muchas veces a partir de distintos estados de perturbación iniciales y utilizando modelos mundiales diferentes. Estos conjuntos de predicciones son la base de los pronósticos de probabilidad del estado del tiempo.

Los MCGAO son muy complejos y se requieren computadoras muy potentes para poder ejecutarlos. Con frecuencia se utilizan también modelos más sencillos para investigar en mayor profundidad distintos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y los efectos de ciertas hipótesis o aproximaciones en los parámetros del modelo. Las simplificaciones pueden consistir en una menor resolución y en procesos dinámicos y físicos simplificados. Juntos, los modelos simples, intermedios e integrales forman una “jerarquía de modelos climáticos”, todos ellos necesarios para analizar las opciones elegidas en las parametrizaciones y evaluar la magnitud de los cambios climáticos.

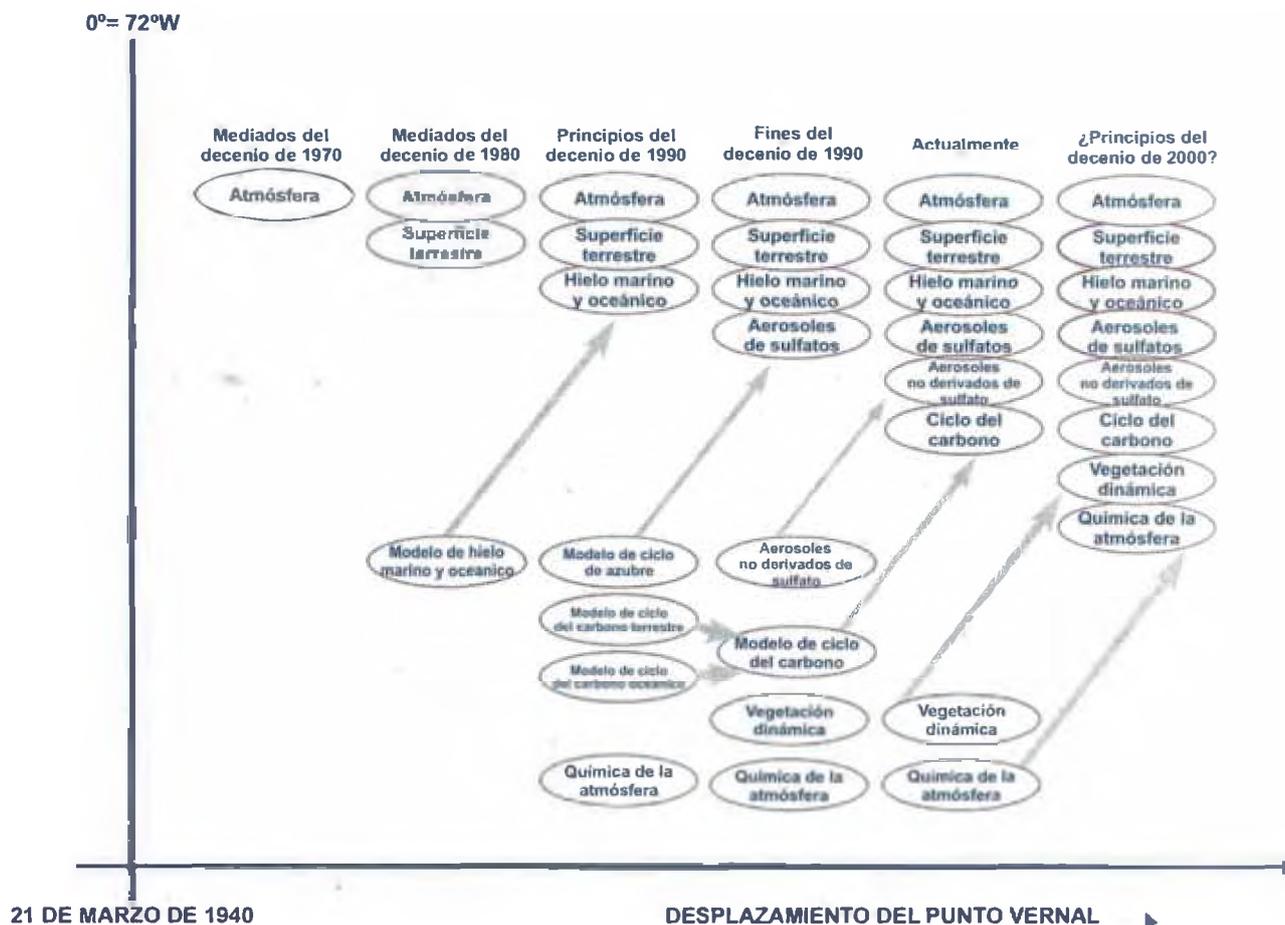


Fig. 8.3.- La elaboración de modelos climáticos en los últimos 25 años se caracterizó en un principio por el desarrollo separado de los distintos componentes que luego se fueron acoplando en modelos climáticos integrales.

8.6.- Hacia una mayor comprensión

Son muchos los factores que continúan limitando la capacidad de detectar, atribuir y comprender el cambio climático actual y proyectar los cambios climáticos que podrían ocurrir en el futuro. Es necesario seguir desarrollando en nueve aspectos generales.

8.6.1. - Datos, es preciso evitar que las redes de observación sigan decayendo en muchas partes del mundo. Se debe ampliar la base de observación de los estudios del clima para obtener datos exactos y a largo plazo, con un alcance temporal y espacial más amplio.

8.6.2. - Los procesos climáticos y la modelización, es necesario mejorar las estimaciones de las emisiones y concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles. - Es preciso comprender y describir de manera más completa los procesos dominantes (como la

mezcla en los océanos) y las retroacciones (p.ej., de las nubes y el hielo marino) en la atmósfera, la biota, la superficie de los continentes y los océanos, y las profundidades de los océanos. Debe hacerse un análisis más completo de los modelos de la variabilidad del clima a largo plazo. Es necesario analizar en mayor profundidad el carácter probabilístico de los estados climáticos futuros mediante la preparación de múltiples conjuntos de cálculos de modelos. Es preciso mejorar la integración jerárquica de modelos climáticos mundiales y regionales, poniendo el énfasis en mejorar la simulación de los impactos regionales y los fenómenos meteorológicos extremos.

8.6.3. - Aspectos relacionados con el ser humano, es necesario establecer vínculos más estructurados entre los modelos climáticos físicos y biogeoquímicos y los modelos del sistema humano, y de esa manera sentar las bases de un estudio más amplio de las posibles relaciones causa-efecto-causa que unen a los componentes humanos y no humanos del sistema de la Tierra.

8.6.4. - El marco internacional para hacer Gestión del conocimiento, es preciso acelerar los progresos en la comprensión del cambio climático en el plano internacional mediante el fortalecimiento del marco internacional necesario para coordinar los esfuerzos nacionales e institucionales, a fin de que los recursos existentes en materia de investigación, informática y observación puedan utilizarse en beneficio del más amplio interés general. Por último, ¿cuáles son las actividades de investigación más urgentes que es necesario encarar para mejorar nuestra comprensión del sistema climático y reducir nuestra incertidumbre acerca de los futuros cambios climáticos?

8.7. - Mapa de Predicción numérica del Tiempo y clima del Perú

El Fenómeno El Niño (FEN) se caracteriza por el calentamiento de la superficie del mar y el debilitamiento de los vientos alisios en el Pacífico ecuatorial central y oriental. La predicción del FEN y su influencia en el clima del Perú surgió como un reto para el IGP desde el inicio de la década del 80 y con el transcurrir del tiempo, creó el Centro de Predicción Numérica del Tiempo y Clima (CPNTC) Tiempo: Traducción de la palabra “weather” en inglés. Significa: la condición de la atmósfera en cualquier lugar y tiempo en particular. Actualmente, el FEN se puede predecir con 3 a 6 meses de anticipación. Esta capacidad permite anticipar los impactos, reducir los daños y obtener beneficios mejorando las estrategias de desarrollo en los principales sectores productivos. Con este fin, CPNTC prepara periódicamente pronósticos estacionales del clima, principalmente para la región de la costa peruana; a fin de que se tomen medidas preventivas o de mitigación para afrontar inundaciones, sequías, heladas, etc., en el territorio peruano.

La estrategia inicial del CPNTC fue implementar un programa de investigación sólido y sostenido sobre la predicción del clima y su aplicación. El proceso se inició modernizando el sistema de observación, control de calidad de datos, análisis objetivo utilizando herramientas estadísticas modernas, uso de modelos numéricos para simular y predecir los procesos climáticos, integrando las predicciones globales obtenidas por instituciones internacionales, y elaborando productos de aplicación que incluyan los factores socio-económicos, para ser utilizados en los procesos de decisión en beneficio de la sociedad.

8.7.1. - El Modelo MM5

El CPTNC fue el pionero en la introducción y uso de modelos numéricos para la predicción del estado atmosférico en el Perú. Inició sus actividades en 1998 con la implementación del MM5, un modelo de mesoescala para predecir el Tiempo. Esta iniciativa fue acogida, dos años más tarde, por otras instituciones como la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), del Instituto del Mar del Perú (IMARPE), del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), las cuales formularon un proyecto junto con el Instituto Geofísico del Perú (IGP), para mejorar la capacidad de observación y utilizar los modelos numéricos para la predicción del clima, con el financiamiento de un préstamo del Banco Mundial

El MM5 (Modelo de Mesoescala de 5ta. generación) fue desarrollado en PSU (Penn State University) y posteriormente perfeccionado en NCAR (National Center for Atmospheric Research). Es un modelo de área geográfica limitada que permite simular los procesos atmosféricos de escala sinóptica, así como procesos de brisa de montaña valle, tierra-mar, entre otros.

Entre las ventajas del MM5 son importantes la posibilidad de realizar “corridos” con multi-dominios, anillados entre sí; esto significa que procesos de gran escala interactúan con los procesos de escala regional y local.

El MM5 está operativo en el IGP desde febrero de 1998, permitiendo así obtener predicción del tiempo con 60 horas de anticipación. Actualmente, el MM5 es corrido operacionalmente con tres dominios anidados: uno para Sudamérica con 54 km de resolución, para Perú con 18 km y para Lima con 6 km de resolución, como se muestra en la figura 7.4.

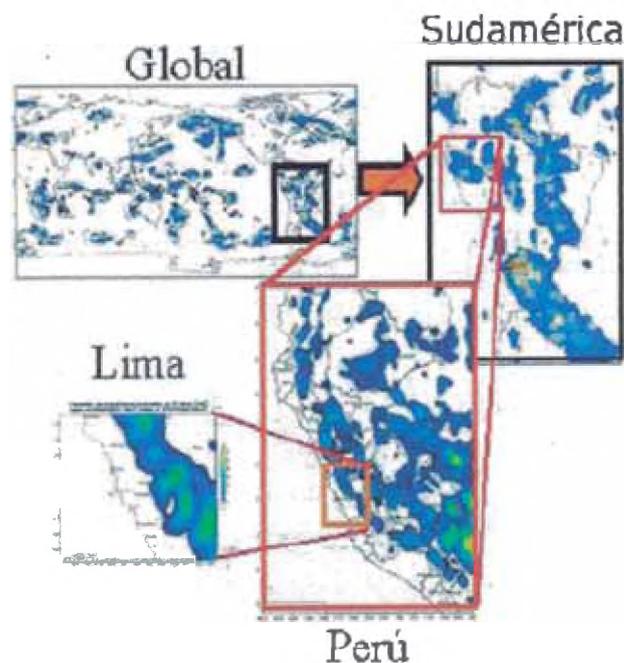


Fig. 8.4. El modelo MM5, escala Global, Sudamérica, Perú, Lima (fuente IGP)

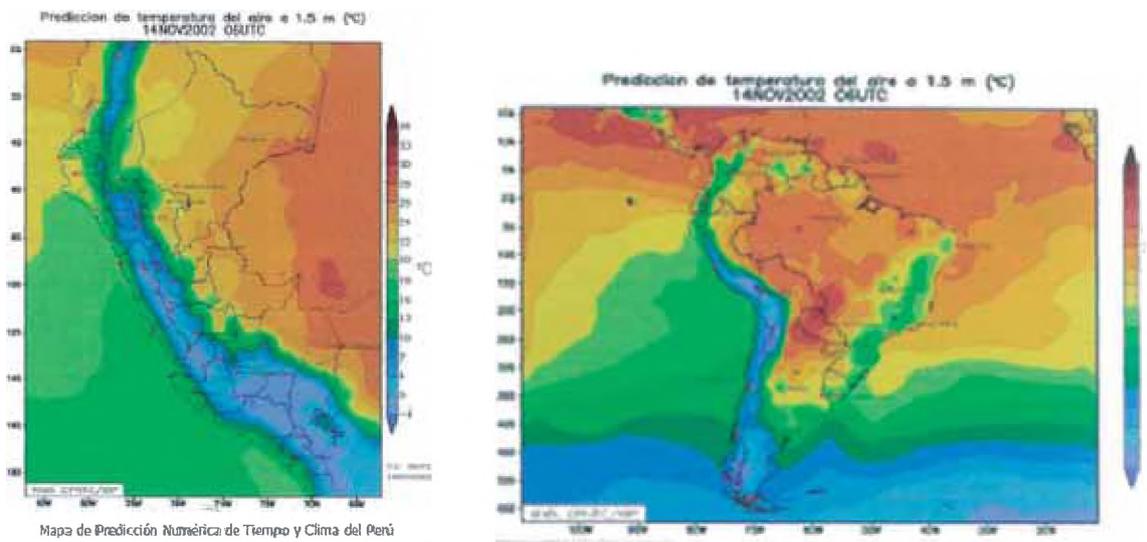


Fig. 8.5. Mapa de predicción numérica de Tiempo y clima del Perú (fuente IGP)

La Figura 8.5 muestra el mapa de la predicción de 24 horas de la Temperatura del Aire a 1.5 m para Sudamérica con resolución horizontal de 54 km. El “Mapa de Predicción Numérica del Tiempo y Clima del Perú” presenta un ejemplo de las predicciones de la Temperatura del Aire para la región del Perú con una resolución horizontal de 18 km que hace el CPTNC cada 24 horas.

8.7.2. -Monitoreo de la Costa Peruana

El IGP dispone de la información de 10 estaciones costeras automáticas (desde el 01 Noviembre del 2000) que ayudan al monitoreo rutinario de diferentes variables costeras como la temperatura superficial del mar (TSM), salinidad, oxígeno, nivel medio del agua del mar, etc. Además, dicha información es usada con fines de investigación para una mejor comprensión de la dinámica océano-atmósfera de la costa peruana.

En la figura 8.6, se representa la evolución temporal de la temperatura superficial del mar a lo largo de la costa del Perú desde 01 Enero del 2001 hasta el 07 de Octubre del 2002. Los calentamientos de los dos últimos veranos que causaron estragos en el norte del Perú son claramente cartografiados.

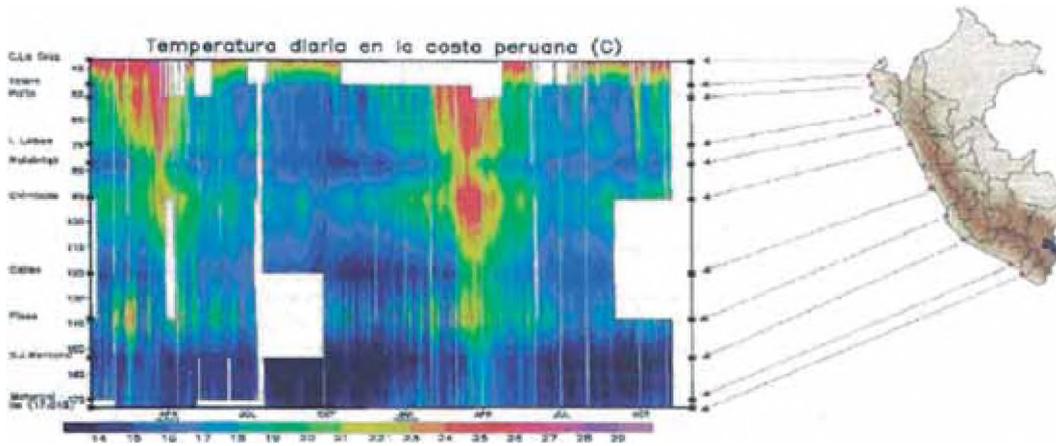


Fig. 8.6. Temperatura diaria en la costa peruana (fuente IGP)

8.7.3. - Imágenes de Satélite

El IGP cuenta con un sistema de recepción de imágenes del satélite GOES8. Una muestra de las imágenes obtenidas en el Laboratorio de Camacho se presenta en la figura 8.7. Estas imágenes, en el espectro visible e infrarrojo, constituyen una información valiosa en el análisis meteorológico. El espectro visible permite cartografiar con detalle la cobertura y tipos de nubes, el infrarrojo las condiciones térmicas de las zonas (i.e., la radiación que emite la superficie terrestre más la de la capa de atmósfera sobre ella). Además, en esta banda infrarroja se puede observar la concentración del vapor de agua y humedad que hay en la atmósfera. Estas imágenes también dan información sobre la ubicación de las zonas de lluvias convectivas.

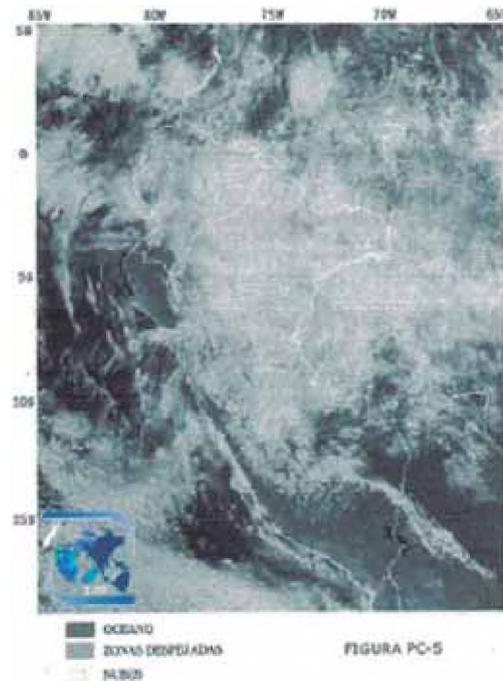


Fig.8.7. Nubosidad en el Perú, 06 de noviembre de 2002, 09:45 horas (fuente IGP)

9. Modelos climáticos

En este modelo climático global, se observa los cambios en la temperatura promedio del aire en grados centígrados (ver figura 8.8), según los escenarios B1 (izquierda), A1B (derecha) y A2 (abajo) en tres diferentes periodos: 2011-2030, basados en el promedio de múltiples modelos climáticos. Las anomalías son relativas a la media del periodo 1980-1999 (Fuente: Panel Intergubernamental del Cambio Climático, 2007). Notese que la magnitud del calentamiento depende fuertemente de la posición geográfica. Sin embargo, estos modelos no tienen suficiente resolución para representar adecuadamente la geografía del Perú y los detalles del cambio climático asociados (fuente: IGP, 2010).

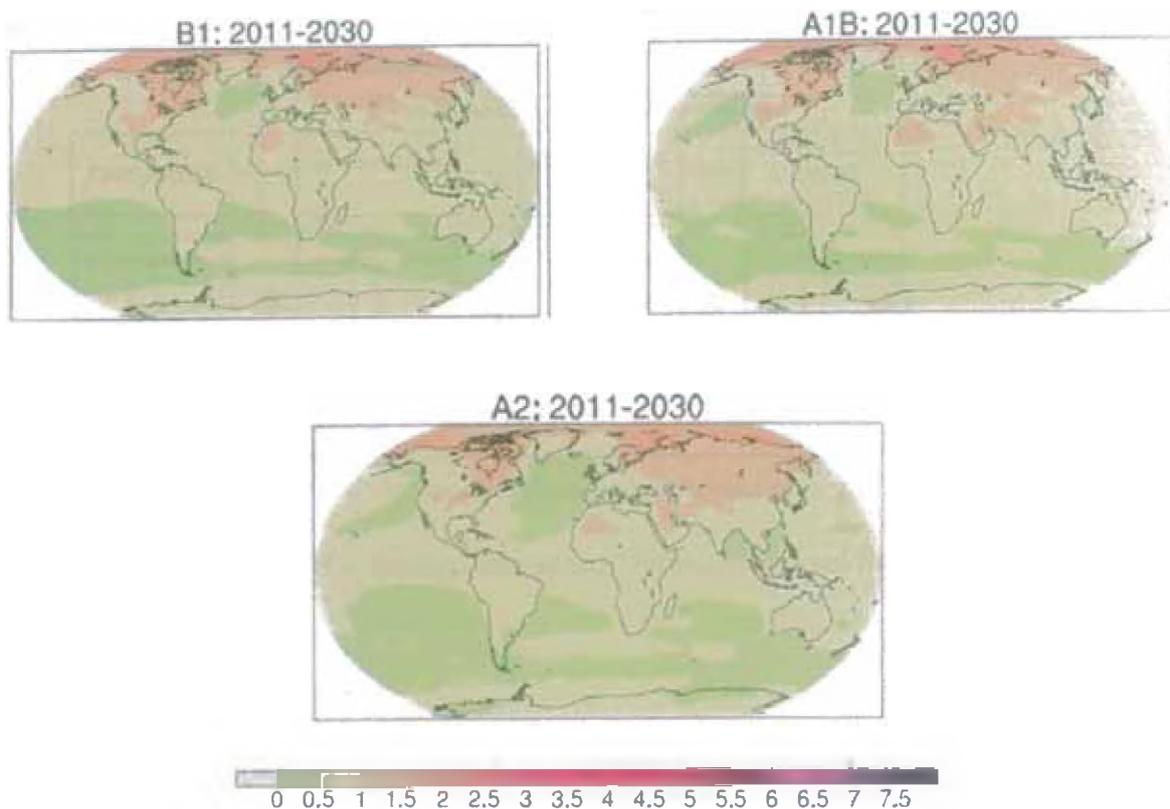


Fig.8.8. Cambios en la temperatura promedio del aire en grados centígrados desde 2011-2030, según los escenarios B1 (izquierda), A1B (derecha) y A2 (abajo)

9.1. – Propuesta de un modelo

Se presenta un modelo adaptado, considerando un sistema de referencia (meridiano 72° W = 0° , el 21 de marzo de 1940), ver figura 8.9. Con excepción del primer recuadro, que depende principalmente del desarrollo social y tecnológico de la humanidad (Ciencias Sociales). Todos demandan esfuerzos científicos en los campos de las ciencias Atmosférica y Oceanográficas, de la Química y la Biología. Solo cuando conozcamos que sucederá con la temperatura, humedad y precipitaciones en cada una de nuestras regiones geográficas y ecológicas podremos diseñar un plan de adaptación acorde con la realidad futura.

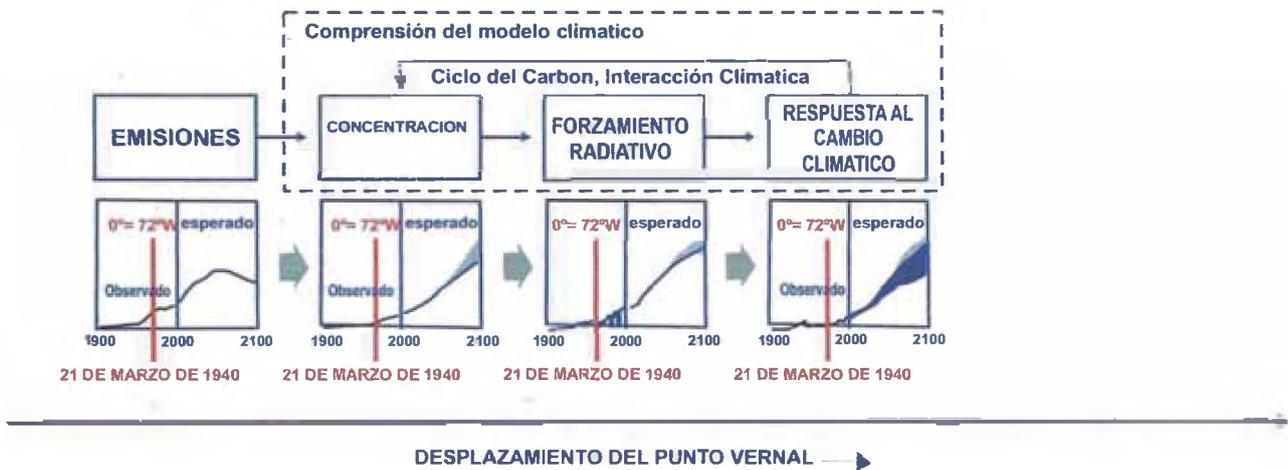


Fig. 8.9.- modelo propuesto, Pronosticando el futuro

CONCLUSIONES

Como conclusion del capitulo I, de los principales movimientos de la Tierra, se ha considerado el movimiento de la precesión de los equinoccios, que es el desplazamiento retrogrado del punto vernal (0^a de aries) por la diferentes constelaciones. El 21 de marzo de 1940 ingresa el punto vernal a la constelación de Aquarius (la ascensión recta (AR) y la declinación celeste (δ) = 11.5° sur). Precesionalmente, el paso de la Constelacion de Piscis a Aquarius, esta dado por declinación celeste, 11.5° sur. Y en la Tierra su equivalente es la latitud 11.5° sur y que cruza Peru. Es en Peru y Bolivia donde donde ocurren fenómenos geomagnéticos y climaticos que valida dicha entrada retrograda del punto vernal a la constelación de Aquarius.

Como conclusion del capitulo II, en la Tierra como verificación de la entrada del punto vernal a la Constelacion de Aquarius (inicio de subciclo de Milankovitch), lo tenemos que en 1940 se da inicio la estabilidad de ecuador magnetico desde la latitud 11,5° sur, en Peru y Bolivia. Este periodo de estabilidad se comprueba ya sea con datos de campo y a traves de modelos matematicos, entre ellos el IGRF (International Geomagnetic Reference Field).

Como conclusion del capitulo III, en la Tierra sobre el ecuador magnetico se encuentra el electrochorro ecuatorial (EEJ). El EEJ en la Tierra es mas intenso en los equinoccios en Perú y Bolivia, que en Brasil, Filipinas, e India. Se observa una relación luni - solar con el electrochorro ecuatorial, y con las manchas solares y la componente H del campo magnético

Como conclusion del capitulo IV, se observa una relación entre la precesion de los equinoccios (retrogradación del Punto vernal), geomagnetismo y el electrochorro ecuatorial en Sudamerica (mayor intensidad en los equinoccios en Peru-Bolivia). Se afirma considerando otra disciplina denominada Paleomagnetismo y su relación con los ciclos orbitales de milankovitch (entre ellas la Precesion). Se propone cambio de meridiano base (72° W = 0°) para el estudio de datos geofísicos (Cusco base meridian for the study of geophysical data) en reemplazo del meridiano de Greenwich.

Como conclusion del capitulo V, En el estudio Paleoclimatico de la Tierra, los cambios climaticos en especial en el cuaternario es explicado a través de la Teoria Astronomica de Milankovitch (Precesion de los equinoccios, Oblicuidad y excentricidad)

Como conclusion del capitulo VI, la actividad solar esta fuertemente correlacionado con el clima, y en manchas solares se observa una ciclicidad de 70-90 años denominado ciclo de Gleissberger, se correlaciona con la retrogradación del punto vernal de un grado aproximadamente cada 72 años. Así mismo la retrogradación promedio del punto vernal cada 2000 años, se ha encontrado una relación del Sol con una Ciclicidad de 2000 años Se indica una mayor actividad solar desde 1940. Y se observa una buena correlación entre la longitud del ciclo de manchas solares y el cambio climático y el cambio se ve desde 1940

Como conclusion del Capítulo VII, buscamos relacionar el punto vernal y el cambio climático de la Tierra, donde el sistema climático esta integrado por cinco grandes componentes: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la superficie terrestre y la biosfera, y las interacciones entre ellos. En la relación del Clima y los Ciclos Orbitales de la Tierra,

propuesto por Milutin Milankovitch, hay tres tipos de oscilaciones de la órbita terrestre: Excentricidad orbital, Oblicuidad del eje terrestre, y la precesión de los equinoccios. El ingreso del punto vernal a la Constelación de Aquarius el 21 de marzo de 1940, se correlaciona con la variación de la anomalía de la temperatura de la Tierra aproximadamente en los años 1938-1940. Y además se comprueba que desde 1940, las temperaturas del Ártico son ahora las más elevadas de los últimos 2.000 años.

Como conclusión del capítulo VIII, se propone un modelo del cambio climático en la Tierra que tiene su base en un informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y su relación con la precesión de los equinoccios y de un sistema de referencia en la Tierra (21 de marzo 1940 y el meridiano 72°W). Según los modelos de circulación atmosférica (IPCC, 2007) el calentamiento global que se habrá producido cuando se haya duplicado la concentración atmosférica de CO₂ oscilará entre 2°C y 4,5°C, con un valor más probable de unos 3°C.

RECOMENDACIONES

El problema del calentamiento global de nuestro planeta, se debe considerar tomando como base un sistema de referencia. Este sistema de referencia viene a ser el movimiento retrogrado del punto vernal, y partir de ahí bajo un enfoque interdisciplinario, multidisciplinario y transdisciplinario, y que engloba todas las ciencias experimentales (física, biología, geología), junto con gran parte de las sociales (economía, sociología, política, etc.). Con una visión de sistema este problema puede ser resuelto

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Allen, Richard Hinckley (1899), *Star Names: Their Lore and Meaning*. ISBN 0-486-21079-0
- 2.- Braun, H. et al., 2005, Possible solar origin of the 1,470-year glacial climate cycle demonstrated in a coupled model, *Nature*, 438, 208-211
- 3.- Berggren, W., Kent, D., Swisher III, C. & Aubry, M.-P. (1995), A Revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy, in W. Berggren, D. Kent, M.-P. Aubry & J. Hardenbol, eds, 'Geochronology Time Scales and global Stratigraphic Correlation', SEPM, Tulsa, Oklahoma, pp. 129–212.
- 4.- Constable, C. G. (2003), Geomagnetic reversals: rates, timescales, preferred paths, statistical models and simulations, in C. Jones, A. Soward & K. Zhang, eds, 'Earth's Core and Lower Mantle', *The Fluid Mechanics of Astrophysics and Geophysics*, Taylor and Francis, London.
- 5.- Channell. J. E. T. y D. A. Hodell., J. McManus: & B. Lehman. Orbital modulation of the Earth's magnetic field intensity. *Nature* vol. 394 30 July 1998
- 6.- Chávez C. Teodosio, *Las Eras Precesionales en el Estudio de la Cultura Andina*, IV Congreso del Hombre y la Cultura. Andina, 1979.
- 7.- Chávez C. Teodosio, entrevista por Beatriz Ontaneda Portal: Cusco ombligo del Mundo, *El Peruano* 12, 19 y 27 de enero de 1998.
- 8.- Chavez C. Teodosio y Chavez S. Israel, Geomagnetic Base for an Epistemology of the Universal Culture, IUGG2003, XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics. Sapore - Japon, 2003.
- 9.- Chávez C. Teodosio y Chávez S. Israel, Quipus and System of Coordinated Precession. AGU, 2004 Join Assembly, Montreal-Canada, 2004.
- 10.- Chavez C. Teodosio, Chavez S. Israel, y Chávez S. Nadia, Stability of the magnetic equator in south america: scale of geologic time, 32nd International geological Congress, Florence-Italy, August, 20-28, 2004
- 11.- Chávez C. Teodosio, Chávez S. Israel, Chávez S. Nadia, Epistemology of Earth System Dynamic, GIS and Spatial Analysis, Toronto-Canada, 2005.
- 12.- Chávez C. Teodosio, Chávez S. Israel, Chávez S. Nadia, Stability of the magnetic equator in south America: world climatic change, 2005, China
- 13.- Chavez C. Teodosio, Chavez S. Israel, y Chávez S. Nadia, Stability of the magnetic equator in south america: scale of geologic time, 32nd International geological Congress, Florence-Italy, August, 20-28, 2004

- 14.- Chavez C. Teodosio, Chavez S. Israel, y Chávez S. Nadia, knowledge management of the earth system dynamic, 8th International Conference on the Geology of the Arab World (GAW 8), Egipto, Feb. 2006.
- 15.- Chavez C. Teodosio, Chavez S. Israel, y Chávez S. Nadia, Cusco base meridian for the study of Geophysical data, IUGG2007, XXIV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics. Perugia - Italia, 2007.
- 16.- Chavez C. Teodosio, Chavez S. Israel, y Chávez S. Nadia, Vernal Point and climate change, 33 congreso internacional de geología, Oslo, Noruega, agosto 2008.
- 17.- Casaverde M. & Montes H., El Instituto Geofísico del Perú y el programa Geomagnetismo. Volumen especial n° 6 Alberto Giesecke Matto (2005) p. 1-6
- 18.- Chung S.L. et al. 1998, Diachronous uplift of the Tibetan plateau starting 40 Myr ago, *Nature*, 394, 769-773
- 19.- Dowsett H. et al., 1999, Middle Pliocene paleoenvironmental reconstruction: PRISM2, USGS open file, report 99-535
- 20.- Diekmann B. 2004, Message from the fish teeth, *Nature*, 430, 26-27
- 21.- Dikpati Mausumi, et. al. Predicting the strength of solar cycle 24 using a flux-transport dynamo-based tool. *geophysical research letters*, vol. 33, 2006
- 22.- EOS, The International Equatorial Electrojet Year, Vol. 72, 5, Feb.1992.
- 23.- Forbush S.E. Y M.Casaverde, Carnegie Inst. Wash. Publ. 620 (1961)
- 24.- Física de la tierra, servicio de publicaciones de la universidad complutense de madrid, - volumen 20 (2008)
- 25.- Gradstein, F., Agterberg, F., Ogg, J., Hardenbol, J., Van Veen, P., Thierry, J. & Huang, Z. (1995), A Triassic, Jurassic and Cretaceous time scale, in W. Berggren, D. Kent, M.-P. Aubry & J. Hardenbol, eds, 'Geochronology Time Scales and global Stratigraphic Correlation', SEPM, Tulsa, Oklahoma, pp. 95–126.
- 26.- Gradstein, F., Ogg, J. & Smith, A.G., e. (2004), *Geologic Time Scale 2004*, Cambridge University Press, Cambridge.
- 27.- Hays, J. D., Imbrie, J. & Shackleton, N. J. (1976), 'Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages', *Science* 194, 1121–1132.
- 28.- Hyde W. et al., 2000, Neoproterozoic 'snowball Earth' simulations with a coupled climate/ice-sheet model, *Nature*, 405, 425-428

- 29.- Hilgen, F. J. (1991), 'Astronomical calibration of Gauss to Matuyama sapropels in the Mediterranean and implication for the Geomagnetic Polarity Time Scale', *Earth Planet. Sci. Lett.* 104, 226–244.
- 30.- Instituto Geofísico del Perú, *Ciencia en Sociedad*, 1997.
- 31.- Jouzel J. 1999, Calibrating the isotopic paleothermometer, *Science*, 286, 910-911
- 32.- Jursa A. (editor), *Handbook of Geophysics and the Space Environment*
- 33.- Kaufman A., 2003, High CO₂ levels in the Proterozoic atmosphere estimated from analyses of individual microfossils, *Nature*, 425, 279-282
- 34.- Kent, D. V. & Opdyke, N. Palaeomagnetic field intensity variations recorded in a Brunhes epoch deep sea sediment core. *Nature* 266, 156-159 (1977).
- 35.- Kennedy M. et al., 2006, Late precambrian oxygenation; inception of the clay mineral factory, *Science*, 311, 1446-1449
- 36.- Khan M. A. *Geología global*, 1980.
- 37.- Kirschvink J. et al. 1977, Evidence for a Large-Scale Reorganization of Early Cambrian Continental Masses by Inertial Interchange True Polar Wander, *Science*, 277, 541
- 38.- Loope D. et al., 2001, Annual monsoon rains recorded by Jurassic dunes, *Nature*, 412, 64-66
- 39.- Marzoli A. et al., 1999, Extensive 200-million-year-old continental flood basalts of the central Atlantic Magmatic Province, *Science*, 284, 616
- 40.- Malkus w. v. r., Precessional Torques as the Cause of Geomagnetism, *journal of geophysical research* vol. 68. n°10 may 15. 1963
- 41.- Malkus, w. v. r. Precession of the Earth as a cause of geomagnetism. *Science* 160.259-264 (1968).
- 42.- Osborne D.G., Daily and seasonal changes of the equatorial electrojet in Peru, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, Volume 26, Issue 11, November 1964, Pages 1097-1105
- 43.- Okeke F. N. and Y. Hamano, Daily variations of geomagnetic H, D and Z-field at equatorial latitudes, *Earth Planets Space*, 52, 237–243, 2000
- 44.- Patil A. R, et al. Equatorial Electrojet Strengths in the Indian and American Sectors Part I. During Low Solar Activity, *J. G. G.*, 1990.

- 45.- Patil A. R., et al.. Equatorial Electrojet Strengths in the Indian and American Sectors Part II. During High Solar Activity. J.G. G., 1990.
- 46.- Pais M. A. and J. L. Le Mouél, Precession-induced flows in liquid-filled containers and in the Earth's core, *Geophysical Journal International*, Volume 144 Issue 3, Pages 539 - 554
- 47.- Pagani M. et al., 2005, Marked decline in atmospheric carbon dioxide concentrations during the Paleogene, *Science*, 309, 600-603
- 48.- Polyakov I. et al., 2002, Trends and variations in Arctic Climate System, *EOS*, 83, 47,
- 49.- Rahmstorf S., 2003, Timing of abrupt climate change, *Geophysical Research Letters*, vol 30, no 10, 17
- 50.- Rochester M. G., J. A. Jacobs, D. E. Smylie and K. F. Chong , Can Precession Power the Geomagnetic Dynamo?, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Volume 43 Issue 3, Pages 661 – 678 (1975)
- 51.- Rial J.A. 1999, Pacemaking the Ices Ages by frequency modulation of Earth's orbital eccentricity, *Science*, 285, 564-568
- 52.- Reichow M. et al., 2002, ⁴⁰Ar/³⁹Ar dates from the West Siberian Basin: Siberian Flood Basalt Province doubled, *Science*, 296, 1846-1850
- 53.- Rojas acuña, joel y jorge a. bravo cabrejos, variación geomagnética diaria en huancayo durante el año geofísico internacional (1957 - 1958)
- 54.- Rodbell D.T. 1999, An 15,000 year record of El Niño-driven alluviation in southwestern Ecuador, *Science*, 283, 516
- 55.- Rutherford S. & D'Hondt S., 2000. Early onset and tropical forcing of 100,000-year Pleistocene glacial cycles, *Nature*, 408, 72-75
- 56.- Singer F. & D. Avery, 2007, "Unstoppable global warming", ed. Rowman and Littlefield
Smith J. et al., 2005, Early local last glacial maximum in the Tropical Andes, *Science*, 308, 678-681
- 57.- Schulte P. et al., 2010, The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary, *Science*, 327, 1213- 1218
- 58.- Stacey Frank D., The Coupling of the Core to the Precession of the Earth, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Volume 33 Issue 1, Pages 47 – 55
- 59.- Shackleton, N. J., Berger, A. & Peltier, W. R. (1990), 'An alternative astronomical calibration of the lower Pleistocene timescale based on ODP Site 677', *Trans. Roy. Soc. Edinburgh: Earth Sciences* 81, 251–261.

- 60.- Thomas D., 2004, Evidence for deep-water production in the North Pacific Ocean during the early Cenozoic warm interval, *Nature*, 430, 65-68
- 61.- Tauxe Lisa, Lectures in Paleomagnetism, 2005, <http://earthref.org/MAGIC/books/Tauxe/2005/>
- 62.- Udias A y Mezcua J. Fundamento de Geofísica, 1986
- 63.- Uriarte Anton, Historia del clima de la Tierra, http://web.me.com/uriarte/Historia_del_Clima_de_la_Tierra/Historia_del_clima_de_la_Tierra.html
- 64.- Vanyo J. , P. Wilde , P. Cardin and P. Olson , Experiments on precessing flows in the Earth's liquid core, *Geophysical Journal International*, Volume 121 Issue 1, Pages 136 - 142
- 65.- Vanyo J. P. & J. R. Dunn, Core precession: flow structures and energy, *Geophysical Journal International*, Volume 142 Issue 2, Pages 409 - 425
- 66.- Valladares c.e., j. villalobos, m.p. hagan, and r. sheehan. (2004). latitudinal extension of low-latitude scintillations measured with a network of gps receivers, *ann. of geophys.*, 22, 3155 - 3175.
- 67.- Valladares César e., Jaime Villalobos, Lisn: una red para la caracterización del estado actual y pronóstico de la ionosfera en América del Sur, *física de la tierra* 199, 2008, 20 199-213
- 68.- Von Bloh et al., 2003, Cambrian explosion triggered by geosphere-biosphere feedbacks, *Geophysical Research Letters*, 30, 18, CLM6-1/6-5
- 69.- Ward P.D. et al., 2000, Altered river morphology in South Africa related to the Permian-Triassic, *Science*, 289, 1740-1743
- 70.- Ward P. et al., 2001, Sudden productivity collapse associated with the Triassic-Jurassic boundary mass extinction, *Science*, 292, 1148-1151
- 71.- Williams D.M. et al. 1998, Low latitude glaciation and rapid changes in the earth's obliquity explained by obliquity-oblateness feedback, *Nature*, 396, 453-455
- 72.- Xuan, C y Channell, J E, Testing the Influence of Orbital Cycles on Paleointensity Records and Timing of Reversals and Excursions, http://www.agu.org/meetings/fm06/fm06-sessions/fm06_GP51B.html
- 73.- Yukutake, T. (1967), 'The westward drift of the Earth's magnetic field in historic times', *J. Geomag. Geoelectr.* 19, 103-116.

RELACION DE GRAFICOS

CAPÍTULO I

Fig.1.1, Tipos de galaxias de acuerdo al esquema de clasificación de Hubble.

Fig.1.2. El Sistema Solar está en uno de los brazos de la espiral, a unos 30.000 años luz del centro y unos 20.000 del extremo.

Fig.1,3. Constelación de Aquarius

Fig.1.4. Sistema planetario solar y la Tierra

Fig. 1.5. La Tierra y los distintos procesos internos y externos de intercambio de fuerzas ligadas a la rotación

Fig. 1.6. Este gráfico muestra cómo la energía de la variación de la latitud se extiende en una banda de tiempo (oscilación de Chandler). Se obtuvo de los análisis de observaciones del Servicio Internacional de latitudes entre 1900 y 1954.

Fig. 1,7. Iluminación del Ártico desde el 21 marzo al 23 de setiembre

Fig.1.8. Iluminación de la Antártida desde el 23 septiembre al 21 de marzo

Fig. 1.9. Movimiento de nutación

Fig. 1.10. Movimientos de la precesión de los equinoccios y de nutación.

Fig. 1.11. Oblicuidad de la Tierra

Fig.1.12. Excentricidad de la Tierra

Fig 1.13 . Los equinoccios y los solsticios.

Fig. 1.14.- Diferentes días de ingreso del punto vernal desde 1960 - 2040

Tabla 1.15. Ingreso del punto vernal en Tiempo Universal desde 1980 -2009

Fig. 1.16 Sistema de coordenadas astronómicas: Ascensión Recta (AR) y Declinación (δ) Norte

Fig. 1.17. Sistema de coordenadas astronómicas: Ascensión Recta (AR) y Declinación (δ) Sur

CAPÍTULO II

Fig.2. 1. Definición y convención de signos para los elementos geomagnéticos.

Fig. 2.2. Ubicación y Registros de las Estaciones Magnéticas Huancayo (superior) y los valores de las componentes H, D, Z y la Intensidad total F en la Estación Magnética de Ancón y el Observatorio permanente de Huancayo.

Fig. 2.3: Se observa parte del núcleo de la Tierra, y los elementos V, H e I del campo magnético, donde la componente H es paralelo a la superficie (ecuador magnético).

Fig. 2.4. Inclinación magnética (magnetic dip) del año 2000, desde el World Magnetic Model (WMM 2000), Rojo- positivo (down), Azul-negativo (up), Verde-cero (dip equator). la proyección es mercator. Este es un ejemplo de un mapa de isóclinas. *Imágenes Cortesía de NGDC-NOAA ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/Solid_Earth/Mainfld_Mag/images/*

Fig.2.5: A-El ecuador magnético en Sudamérica. B- Desplazamiento del ecuador magnético (línea roja) de norte a sur, en Perú. C. Mapa del Ecuador magnético modelado con el IGRF, desde 1900-2000 con intervalo de 5 años, se desplaza de norte a sur (líneas verdes) y a partir de 1940 empieza a estabilizarse.

Fig. 2.6 Se observa que a partir de 1939-1940 se estabiliza el ecuador magnético

CAPÍTULO III

Fig 3.1. Dos vistas del Radio Observatorio de Jicamarca

Fig. 3.2. Espacio cercano-Ionosfera-alta atmosfera

Fig. 3.3. Atmosfera Terrestre (ionosfera - electrochorro ecuatorial a 108 km).

Fig.3.4. Mapa de altura versus tiempo del fenómeno del F dispersa, usual en nuestras latitudes. Los colores representan las velocidades con las que se mueven estas “nubes” ionosfericas.

Fig. 3.5. Ionograma digital con auto-escalamiento (perfil N(h)), perfil de la densidad de electrones que da cuenta de la frecuencia del plasma versus la altura), se pone en evidencia los ecos O y ecos X (trazo oscuro y trazo claro, respectivamente). Jicamarca, Perú, 95 de octubre del 2009. Los más importantes parámetros autescalados se listan a la izquierda.

Fig. 3.6a Perfil de los andes, donde se observa el EEJ a la altura promedio de 108 km,

Fig. 3.6b. Variación estacional de la intensidad del EEJ medida en Jicamarca [Alken, 2009]

Fig.3.7 El electrochorro ecuatorial inferida desde 2600 pases del satellite CHAMP, sobre el Ecuador magnetic entre las 11 y 13 horas local.

Fig.3.8. Modelo del satélite CHAMP

Fig. 3.9. Variación en Tiempo Universal de la segunda derivada del campo del EEJ en sus componentes longitudinales a las 06:00 (a), 11:00 (b) y 17:00 (c).

Fig. 3.10. La variación media longitudinal del efecto magnetic del EEJ (lineas solidas) desde IEEYY datos magnéticos basados en tierra a las 12h, y la inversa del campo del campo principal $1/B$ exagerado 5×10^6 veces (dashed line). La línea verde representa la variación longitudinal del efecto magnetic del EEJ a las 12H, incluyendo datos desde Baclieu (observatorio de Vietnam), mientras que la línea roja no toma en cuenta los datos desde Baclieu. El error de barra representa la desviacion estandar de 1H. La curva $1/B$ es obtenida en un interval regular en longitud.

Fig. 3.11. Variación diurna de ΔH para F10.7 $\frac{1}{4}$ 200 (círculos), 140 (triángulos), y 80 (cruces). En el sector Peruano (rojo) y en el Filipino (azul). Las observaciones del satellite revela que las magnitudes de ΔH en el sector de PERU, generalmente son mas intensos que en sector de FILIPINAS.

Fig 3.12 La intensidad del electrochorro ecuatorial, en alta actividad solar (1958-59) (figura A), y en baja actividad solar (1964-45) (figura B). En ambos casos es más intensa en Sudamérica (75° W- Huancayo) que en la India

Tabla 3.13. Lista de observatorios geomagnéticos ecuatoriales con sus respectivas coordenadas y parámetros de campo magnético (H, Z, I)

Fig.3.14 Rango diario (Daily range) en H graficado en estaciones de bajas latitudes, como una función del ángulo de inclinación (dip angle) durante el IGY/IGC (Rastogi R. G., 1964)

Fig.3.15 Promedio anual de manchas solares, cambio de una hora, y 24 horas en la actividad magnética de Huancayo.

CAPÍTULO IV

Fig. 4.1. Deriva del polo magneticos

Fig. 4.2. Epocas de polaridad normal (blanco) e invertida (azul) del campo geomagnético: a) reciente hasta 4.5 m.a; b) hasta el Jurasico.

Fig. 4.3. Codigo de Barra: Escala de Tiempo de la Polaridad geomagnética, para los últimos 150 Ma. Trazas de la líneas la frecuencia de reversas (numero de reversas en el interval de

4 millones de años) estimado por Constable (2003). (Barcode: The Geomagnetic Polarity Time Scale (GPTS) for the last 150 Ma (Berggren et al., 1995; Gradstein et al., 1995). Line traces the reversal frequency (number of reversals in a four million year interval) estimated by Constable, 2003).

Fig. 4.4. Ilustración del método de datación de "Astrocronología". La secuencia de intervalos de polaridad y inducidos climáticamente en las capas de sapropel es correlacionado al GPTS (izquierdo) y a los ciclos orbitales (derecha). Las edades numéricas de los ciclos orbitales pueden ser transferidos al GPTS. [Adaptado desde Hilgen et al., 1991.]

Fig. 4.5.- Entrada del punto vernal a la constelación de Aquariu

Fig. 4.6. Variación temporal de la intensidad del EEJ a nivel global
[<http://geomag.org/models/EEJ.html>]

Fig. 4.7. El electrochorro ecuatorial, con datos del proyecto JULIA, (fuente: ROJ)

Fig. 4.8. Variación magnética diaria de la componente H del campo geomagnético en Huancayo durante el periodo 1957-1958

Foto 4.9. El autor en el meridiano de Greenwich (Londres)

Fig. 4.10. Meridiano de Greenwich y Meridiano base del Cusco. (0^a)

Fig. 4.11. Meridiano 70^a W y el proyecto LISN

Fig.4.12. Red de datos de GPS, ionosonda, magnetómetros y los usuarios

CAPÍTULO V

Fig 5.1. Escala geológica de la Tierra

Fig 5.2. Eras y período en que se divide el eón Fanerozoico. La abundancia de fósiles permite construir una escala geológica detallada de los últimos 544 millones de años.

Fig.5.3, La Tierra en el período Cámbrico, hace unos 500 millones de años.

(Fuente: Scotese, C.R., 2002, <http://www.scotese.com>, PALEOMAP website).

Fig.5.4. La Tierra en el Devónico,

Fig.5.5. Mapa de Pangea. Triásico, principios de la Era Secundaria

Fig. 5.6. Final del Triásico y comienzo del Jurásico

Fig 5.7. El Cretácico Medio, hace unos 100 millones de años

Fig.5.8. Mapa del Paleoceno y comienzos del Eoceno, hace unos 55 millones de años (Brinkhuis, 2006).

CAPÍTULO VI

Fig 6.1 Sistema Sol-Tierra: Acoplamiento de Energía

Fig 6.2. Canales de interacción básica entre los principales del sistema Sol –Tierra, El sol y el viento solar (rojo), magnetosfera y ionosfera (azul), media atmósfera (verde) y troposfera y Tierra (negro)

Fig. 6.3. Órbita de la Tierra alrededor del sol mostrando puntos de inicio de las estaciones

Fig. 6.4 Número de manchas solares entre los años 1610 y 2000. El eje horizontal (abscisa) corresponde al año de la observación y el vertical (ordenada) indica el número de manchas observadas.

Fig.6.5 Ciclos de manchas solares pasadas y futuras (pronóstico según la NASA)

Fig. 6.6. Periodo de mínima actividad solar, 2008-2010,
<http://sidc.oma.be/html/wolfjmmms.html>

Fig.6.7. Análisis espectral con el Método de máxima entropía (Maximum entropy method, MEM) de anillos de arboles calibrados de los registros de $\Delta^{14}\text{C}$. Adaptado desde “Solar and Terrestrial Components of the Atmospheric ^{14}C variation Spectrum” por Paul E. Damon y Charles P. Sonnett en *The Sun in Time*, editado por C.P. Sonnett, M.S. Giampapa, y M.S. Matthews.

Fig 6.8. Registros residual de la producción de ^{14}C , la curva roja indica el suavizado mostrando el ciclo de Hallstadtzeit con periodicidad de 2000 años

Fig. 6.9: Hay una estrecha correlación entre las temperaturas del Tierra a nivel de superficie en el Hemisferio Norte (línea negra) y el cambiante largo del ciclo de manchas solares de 11 años (línea roja), indicando la variable intensidad de la actividad eruptiva del Sol (de Friis-Christensen y Lassen, 1991).

Fig. 6.10 Variación temporal del grosor de los anillos de los árboles (tree ring index) en Sierra Nevada comparado con la abundancia atmosférica del isótopo radioactivo carbono-14 ($\Delta^{14}\text{C}$) (en “Solar Variability and Climate Changes”). Notar que la abundancia de carbono-14 crece hacia abajo.

CAPÍTULO VII

Fig.7.1. Sistema climático: Atmosfera, hidrosfera, criosfera, superficie terrestre y biosfera

Fig. 7.2. Esquema del sistema climático terrestre, sus componentes, interacciones entre ellos, factores que los modifican y posibles variaciones climáticas. Modificado de Ruddiman (2001).

Tabla 7.3. Variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI)

Fig. 7.4. Componentes orbitales terrestres que influyen en la cantidad de radiación solar que recibe nuestro planeta A la izquierda se representan esquemáticamente los parámetros mientras que a la derecha se indica el registro de cada uno para los últimos 500.000 años, calculado según el método de Laskar (1990) a través del programa Analyseries 1.1 (Paillard et al., 1996).

Fig. 7.5. Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra en los últimos 140 años

Fig. 7.6. Reconstrucción de las temperaturas del Ártico, el enfriamiento general que tuvo lugar durante los primeros 1.900 años

Fig.7.7. Anomalía de la temperatura en las costas del Ártico durante el período 1880-2000 (en azul) con respecto al período 1960-90. Nivel de confianza del 95 % (en amarillo). Temperatura media en diversos períodos (en verde) (referencia: Polyakov, 2002)

CAPÍTULO VIII

Fig. 8.1. Preguntas claves acerca del sistema climático y su relación con la humanidad.

Fig. 8.2, tipos de modelos y su complejidad.

Fig. 8.3.- La elaboración de modelos climáticos en los últimos 25 años se caracterizo en un principio por el desarrollo separado de los distintos componentes que luego se fueron acoplando en modelos climáticos integrales.

Fig. 8.4. El modelo MM5, escala Global, Sudamérica, Perú, Lima (fuente IGP)

Fig. 8.5. Mapa de predicción numérica de Tiempo y clima del Perú (fuente IGP)

Fig. 8.6. Temperatura diaria en la costa peruana (fuente IGP)

Fig.8.7. Nubosidad en el Perú, 06 de noviembre de 2002, 09:45 horas (fuente IGP)

Fig.8.8. Cambios en la temperatura promedio del aire en grados centígrados desde 2011-2030, según los escenarios B1 (izquierda), A1B (derecha) y A2 (abajo)

Fig. 8.9.- modelo propuesto, Pronosticando el futuro



33 IGC, The Nordic Countries



Teodosio Juan Chávez Campos
Av. Pablo Carrizosa 451
Lima - 27
Lima - PERU

Oslo, 18 July 2008

To whom it may concern:

Re: Invitation to the 33rd International Geological Congress August 2008, Oslo, Norway

The 33rd International Geological Congress will be held in Oslo, Norway, from Wednesday 6th to Thursday 14th August 2008. We expect between 6000 and 8000 participants. The Congress will cover the whole spectrum of the geosciences and comprise about 450 symposia in which some 7000-8000 lectures and posters will be presented. Details of the status and plans for the Congress can be viewed on the website: www.33igc.org. There will also be a wide range of study tours before and after the conference.

This letter is to invite Teodosio Juan Chávez Campos, born 26 May 1951 with passport number 3924595, as a participant in the Congress and therefore to be present in Oslo with arrivals from 4th August. Departure dates are 14th or 15th August, 2008. For participants attending the pre- and post study tours the arrival and departure dates will vary.

Teodosio Juan Chávez Campos will contribute to the scientific program by presenting the abstract titled: *Vernal point and climate change*

It is necessary for the participant to cover travel, registration fee, accommodation and other costs themselves during their stay in Norway.

For further information about the congress please visit the website: www.33igc.org

Sincerely

Anne Bjarøy
Anne Bjarøy
(President, 33IGC)

Anders Solheim
Anders Solheim
(Secretary General, 33IGC)

Telefax: 05-81-21040340

StatOilHydro



Champs sur Marne, September 13, 2010

LAREG 10-ZA-012

From : Dr. Zobeir Altamimi

To: Teodosio Juan Chavez Campos
National university of engineering
Av. Tupac Amaru 110-Rimac/Lima-25
PERU

Subject : Invitation to attend the IAG Commission I Symposium

Dear Teodosio Juan Chavez Campos,

I have the pleasure to invite you to attend and contribute to the IAG Commission I (Reference Frames) Symposium to be held during the week of October 4-8, 2010 at IGN France.

Please consult the programme of the symposium available at
<http://iag.ign.fr/index.php?id=141>

We are looking forward to seeing you in Marne la Vallée next October.

Sincerely yours

Dr. Zobeir Altamimi
Research Director at Institut Géographique National (IGN)
President, Commission I of the International Association of Geodesy (IAG)
Institut Géographique National
Laboratoire de Recherche en Géodésie (LAREG)
6 & 8 Avenue Blaise Pascal
77455 Champs-sur-Marne, France
E-mail: altamimi@ign.fr
Tel: +33 1 64 15 31 55
Fax: +33 1 64 15 32 53

SERVICE DE LA RECHERCHE - LAREG
6 & 8 Avenue Blaise Pascal - Cité Geodésie - Champs sur Marne - 77455 MARNE LA VALLÉE CEDEX 2 - France - Téléphone
(33) 1 64 15 32 52 - Télécopieur (33) 1 64 15 32 53

Ver web site:
http://iaa.ign.fr/abstract/refag2010_program.html

IAG Commission I Symposium 2010

REFAG2010 Program
 Monday - Tuesday - Wednesday - Thursday - Friday >>Back to the Symposium web site

Monday October 4, 2010

12:30 **Symposium Check-in**

14:00 - 15:30 **Opening Session: Chair: Zuheir Altamimi**
IGN Greetings - Patrice Parisé, IGN Director General
IAG Greetings - Michael Sideris, IAG President
Welcome and Symposium focus - Zuheir Altamimi
Keynote address - Claude Boucher: Geodetic Reference Frames: 40 years of technological progress and of international cooperation (1970-2010)
Logistics and practical information

15:30 - 16:00 **Coffee Break**

16:00 - 17:00 **Session 1 : Theory and realization of global terrestrial reference systems Part 1. Chair: Claude Boucher**

16:00 **Global Reference Frames. A survey of current research activities.** C. Boucher,
 16:15 **ITRF combination: theoretical and practical considerations and lessons from ITRF2008.** Z. Altamimi, X. Collilieux, and L. Metivier.
 16:30 **Accuracy assessment of ITRF2008D.** M. Seltz, D. Angermann, and H. Drewes.
 16:45 **Dependence of IGS Products on the ITRF Datum.** J. Ray, P. Rebischung, and R. Schmid.
 17:00 Poster presentations 2 minutes each:

16:25 **Why to combine at the Observation Level?** R. Biancale, D. Gambis and J.-Y. Richard
 16:40 **Combination of Space-Geodetic Measurements** A. Pollet, D. Coulot and N. Capitaine
 16:55 **Combination of GNSS and SLR using satellite co-locations** D. Thaller, R. Dach, M. Seitz, G. Beutler, M. Mareyen, B. Richter

17:00 - 18:00 **Poster viewing of Sessions 6**

19:30 **Symposium cocktail-dinner (Cruise on the Seine)**

Friday October 8, 2010

09:00 - 10:30 **Session 1: Theory and realization of global terrestrial reference systems Part 4 Chair : David Coulot**

9:00 **Monitoring site stability at the SGF.** M. Wilkinson, R. Sherwood and G. Appleby.
 9:15 **Alternative definitions and realizations of the terrestrial reference frames.** H. Drewes, D. Angermann, and M. Seitz.
 9:30 **The geodetic reference systems in the Inspire directive** J.A. Torres, V. Bitenc, A. Caporali, P. Cruddace, L. Engberg, B. Garayt, and H. Habrich.
 9:45 **AuScope: Measuring the Contemporary Deformation of the Australian Crust** G. Johnston, B. Twilley, O. Titov, and J. Dawson
 10:00 **Cusco base meridian and reference frames for applications to the Earth system** T. Chavez, I. Chavez, and N. Chavez.

10:15 - 12:00 **Session 2: Strengths, weaknesses, modelling standards and processing strategies of space geodetic techniques Part 4, Chair: Peter Steigenberger**

10:15 **The ITRF2008 from a VLBI perspective** A. Nothnagel and S. Bockmann
 11:00 **Coffee Break**

11:00 **Distributed processing systems for large geodetic solutions** H. Boomkamp
 11:15 **The automation of permanent networks monitoring: remarks and case studies** L. Biagi and S. Caldera
 11:30 **GNSS antenna array at the Geodetic Observatory Wettzell** P. Steigenberger, U. Hugentobler, R. Schmid, U. Hessel, T. Klugel and M. Seitz