

LA ACTIVIDAD DEL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

Julio César Gianibelli

Servicio Meteorológico Nacional, SMN

Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.

geofisicogianibelli@yahoo.com.ar

INTRODUCCION. El Campo Magnético Terrestre (CMT) es una de las expresiones de la dinámica del Geosistema. Los procesos de diferentes orígenes, y su escala temporal en desarrollarse producen cambios tanto en la estructura como en la organización del Geosistema. Estos conceptos provenientes de la teoría de la Cibernética de los Sistemas Generales, conducen a que por medio de la observación, modelización, simulación y predicción de los distintos componentes del mismo se estime la evolución pasada presente y futura. Otra de las herramientas de estimación de la actividad evolutiva de todo sistema es el diseño de Índices de Actividad, que para el caso del CMT esta directamente relacionado con su interacción con su conexión con el Sol y el cosmos. En la Figura 1 se muestra las fuentes de actividad del CMT siendo el campo externo el que es calificado por diferentes índices según sus aplicaciones que se detallaran mas adelante.

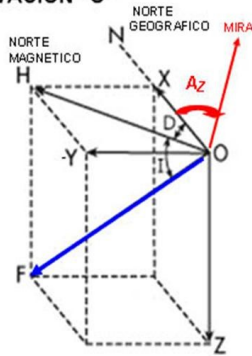


FIGURA 1

No se dispone de un índice de actividad para los fenómenos del campo propio que represente por ejemplo los efectos de los pulsos del campo principal y esto es debido a que su ocurrencia dentro de los registros de los elementos magnéticos en los Observatorios Magnético Permanentes (OMP) y sus series de valores medios mensuales y anuales aparece este fenómeno en contadas ocasiones. Un pulso del campo principal es una variación que se evidencia en la tasa de cambio temporal (mes o año) de primer y segundo orden, de todos o alguno de los elementos magnéticos. Este fenómeno se observa tanto en OMP individuales como en las cartas isopóricas (isolíneas de igual variación mensual o anual) con anomalías que duran un cierto intervalo de tiempo (meses o años) y retornando a las formas o tendencias precedentes. **Un índice que podría ser propuesto es la amplitud del pulso normalizado con el promedio que tendría la tendencia lineal del elemento en el intervalo de tiempo que duro el fenómeno.** Es de fundamental importancia la descripción de los elementos de CMT, su relación entre ellas, y con el sistema geodésico que se presentan en las Figuras 2 y 3. La Figura 4 describe una nueva forma de clasificar los sistemas de registros continuos o esporádicos de los elementos del CMT. Las Figuras 5 y 6 brindan una conceptualización mas precisa de un OMP en especial en el sentido que “es un sistema” donde la actividad de registro y observación ABSOLUTA es un proceso donde la actividad del OBSERVADOR es indispensable. La Figura 7 muestra el instrumental actual del sistema.

ELEMENTOS DEL CAMPO GEOMAGNETICO PUNTO DE OBSERVACION "O"

- **D: DECLINACION MAGNETICA**
- **I: INCLINACION MAGNETICA**
- **H: COMPONENTE HORIZONTAL**
- **Z: COMPONENTE VERTICAL**
- **X: COMPONENTE EN DIRECCION AL NORTE GEOGRAFICO**
- **Y: COMPONENTE EN DIRECCION AL ESTE GEOGRAFICO**
- **F: INTENSIDAD TOTAL DEL CAMPO MAGNETICO DETERMINADO EN "O"**
- En "O" debemos conocer: LAT(λ), LONG(ϕ), h(nmm) y el ACIMUT GEOGRAFICO DE UNA MIRA.
 A_z : ACIMUT GEOGRAFICO



$$H = F \cos I; Z = F \sin I; Z = H \tan I; X = H \cos D; Y = H \sin D$$

FIGURA 2

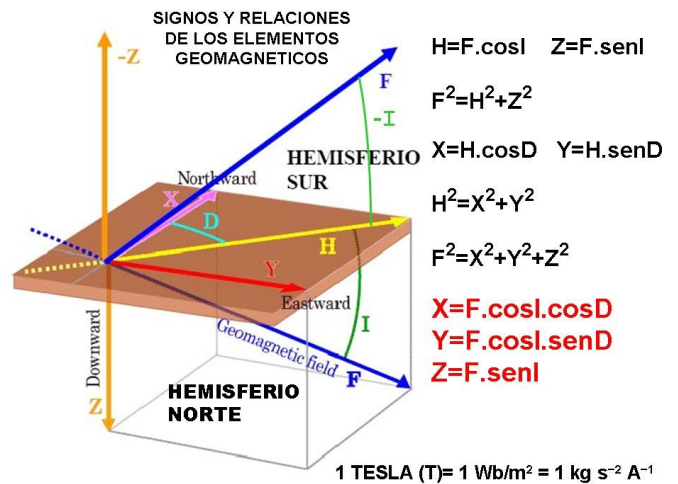


FIGURA 3

OMP: OBSERVATORIO MAGNETICO PERMANENTE

TIPO1: REGISTRA TRES ELEMENTOS MAGNETICOS EN FORMA ABSOLUTA: XYZ, DIF, ZHD

TIPO2: REGISTRA SOLO F.

EMR: ESTACION MAGNETICA DE REPETICION

REGISTRA EN FORMA ABSOLUTA D, I, F EN UN PUNTO FIJO DE LA TIERRA PARA LA CONFECCION DE CARTAS MAGNETICAS.

EMB: ESTACION MAGNETICA BASE

REGISTRA LAS VARIACIONES DE UNO (F) O MAS ELEMENTOS MAGNETICOS (D, I), CON LA FINALIDAD DE CORREGIR POR EL EFECTO DE LAS FUENTES EXTERNAS A LOS RELEVAMIENTOS.

FIGURA 4

¿QUE ES UN OBSERVATORIO MAGNETICO?

ES UN SISTEMA QUE REGISTRA EN FORMA ABSOLUTA UNO O MAS ELEMENTOS DEL CAMPO GEOMAGNETICO



FIGURA 5

VARIOMETROS

UNA VARIOMETRO ES UN INSTRUMENTOS QUE REGISTRA LAS VARIACIONES DE LOS ELEMENTOS DEL CMT EN EL TIEMPO EN UN PUNTO FIJO DE LA TIERRA RESPECTO DE UNA LINEA DE REFERENCIA DENOMINADA **LINEA BASE**. EL DESVIO RESPECTO DE DICHA **LINEA DE BASE** SE MIDE O DETERMINA EN UNIDADES METRICAS (mm) O EN UNIDADES ELECTRICAS (mV) Y POR MEDIO DEL **VALOR DE ESCALA**

(ϵ EN nT/mV PARA VARIOMETROS DE COMPUERTA DE FLUJO (FLUX-GATE) O S EN nT/mm PARA VARIOMETROS CLASICOS (DE REGISTRO CON PAPEL FOTOGRÁFICO)) ENTONCES SE CONOCE LA MAGNITUD RELATIVA DE LA VARIACION.

VALOR DE ESCALA: ES EL VALOR INVERSO DE LA SENSIBILIDAD DEL SISTEMA.

LA LINEA DE BASE SE DETERMINA CON OBSERVACIONES ABSOLUTAS DE D, I (TEODOLITO FLUX GATE) Y DE F CON MAGNETOMETRO DE PRECESION PROTONICA (ppm).

FIGURA 6



FIGURA 7

Por lo tanto las observaciones absolutas de la DECLINACION E INCLINACION magnéticas en conjunto los registros de F determinan la denominada LINEA DE BASE de los registros de los variómetros obteniéndose los valores absolutos de todos los elementos del CMT, (véase relaciones en las Figuras 2 y 3). (véase también Gianibelli J. C. 2017: <http://www.conexion-sol-tierra.com/proyectos.html>)

El objetivo de este estudio es utilizar a la Intensidad Total F del CMT como elemento geomagnético global que represente la actividad del campo de origen externo siguiendo las definiciones básicas del índice Kp y con algunos cambios el Dst. El instrumental absoluto que permite realizar este objetivo es el Magnetómetro

de Precisión Protónica que se dispone en los OMP, EMR y EMB. Este instrumental puede estar registrando en línea y dar al cabo de un intervalo de tiempo (1 hora, 3 horas o días) la calificación respecto de una escala previamente diseñada, el nivel de perturbación en la superficie terrestre, de los SCE (Sistemas de Corrientes Equivalentes) residentes en la Ionosfera, Magnetosfera y de la Magnetopausa. Esta escala indica la evaluación en intervalos de 24 hs. (lo aconsejable es 48hs), en tiempo local o universal, cuando el registro se aparta de ser suave, representativo de un día llamado idealmente quieto, que sería la expresión de los sistemas de corrientes equivalentes de la Ionosfera para latitudes comprendidas de los OMP solo entre los -60° a $+60^{\circ}$ de latitud. Debido a que en el CMT, representado por el modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field) o en idioma castellano como CGIR (Campo Geomagnético Internacional de Referencia), (vease, <http://www.geomag.bgs.ac.uk/research/modelling/modelling.html> y su bibliografía), muestra importantes anomalías en F, es un indicativo también de los comportamientos anómalos de los SCE (Ionosféricos, Magnetosféricos y de la Magnetopausa), generando índices particulares o parciales de actividad con OMP específicos para su confección y representación (http://isgi.unistra.fr/geomagnetic_indices.php). La cual es una expresión de la particularización de regiones y fenómenos a calificar. La Figura 8 muestra el estado del modelo CGIR (IGRF 2010) determinado para la época 2010.

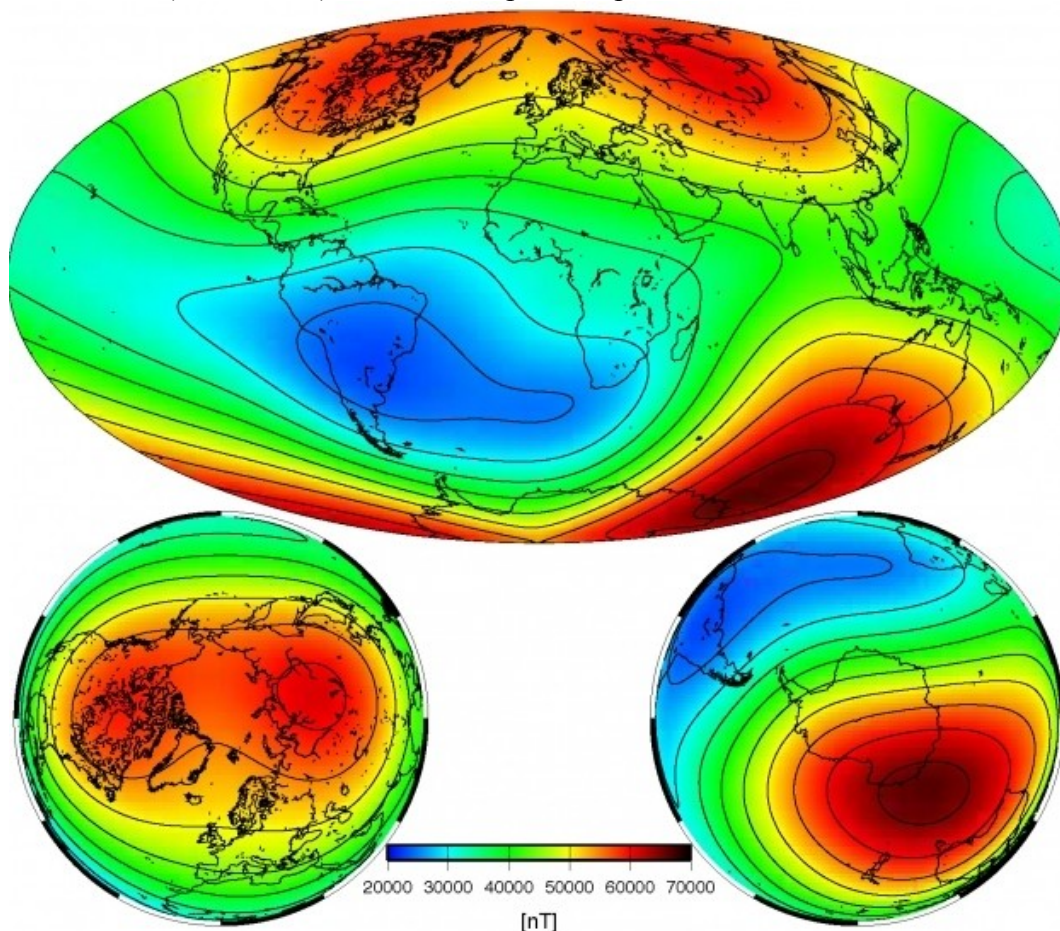


FIGURA 8

Tres factores de estado anómalo se presentan como desvío del CMT como un campo dipolar y geocéntrico y el dado por este modelo de aproximación multipolar: 1) Se presenta una posible migración del polo geomagnético norte hacia la región norte del continente asiático. 2) Se presenta una intensificación de la intensidad del polo geomagnético sur con una variación de posición diferente a la del polo geomagnético norte. 3) La gran Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) continúa su disminución de la intensidad de F y continúa su expansión. Este resultado implica también que la supuesta simetría de los anillos de radiación dejan de serlo, a lo cual el sistema de corriente anillo es diferente, y por ende los efectos en superficie de este SCE que acompañan esta característica. El método de cálculo del índice Dst entonces, no es el adecuado. De este análisis surge la siguiente pregunta: ¿Vista esta situación de los resultados del modelo CGIR2010, la actividad del CMT es particular de cada OMP?. La respuesta la obtenemos de la actividad observada del campo principal al tener en la Figura 9 la diferencia IGRF2010-IGRF1900 (CGIR2010-CGIR1900) indicando dos grandes regiones anómalas una en el hemisferio norte (EEUU y Canadá) y la otra en la región Antártica y Subantártica vecina de America del Sur. Esta “*actividad del*

campo principal” regula la conexión Sol-Tierra, sus sistemas de SCE y es una situación de una fenomenológica cambiante, que es muy importante en la nueva disciplina en crecimiento llamada **“CLIMATOLOGIA ESEPAIAL” o “SPACE WEATHER”**. Los SCE son responsables de los Sistemas de **Corrientes Inducidas Geomagnéticamente** (CIG o por su siglas en inglés GIC: Geomagnetic Induced Currents) que afectan toda la actividad antropocéntrica.

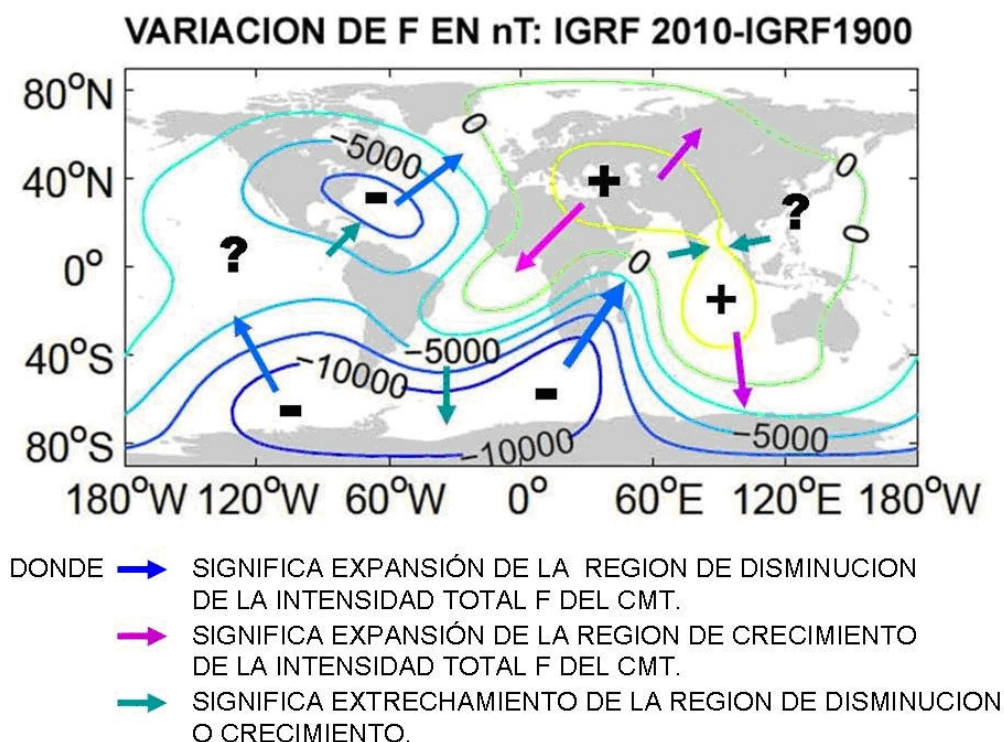


FIGURA 9

Haciendo una predicción lineal de estos cambios sería un indicativo del comienzo de una multipolaridad del CMT, siendo la región de la AMAS la que tendería a tener un campo de valores mínimos o casi nulos, en los próximos 300 años, (Gianibelli, 2017: <http://conexion-sol-tierra.com/files/POSTERS>) con una magnetosfera diferente, con SCE y las CIG muy distintas a los actuales, debiéndose analizar entonces, en cada OMP la actividad del CMT como producto de los eventos a calificar. De este poster se muestran las Figuras 10, 11 y la Tabla 01 que tienen la propiedad de probar la problemática de actividad del CMT. Un aspecto de esto es el cambio de la inclinación de la intensidad F no contemplada en ningún índice de los publicados al presente, como tampoco el efecto de la disminución de la intensidad F y la época donde se minimizará o anulará F como se determinó en los OMP de la Figura 11 y Tabla 01.

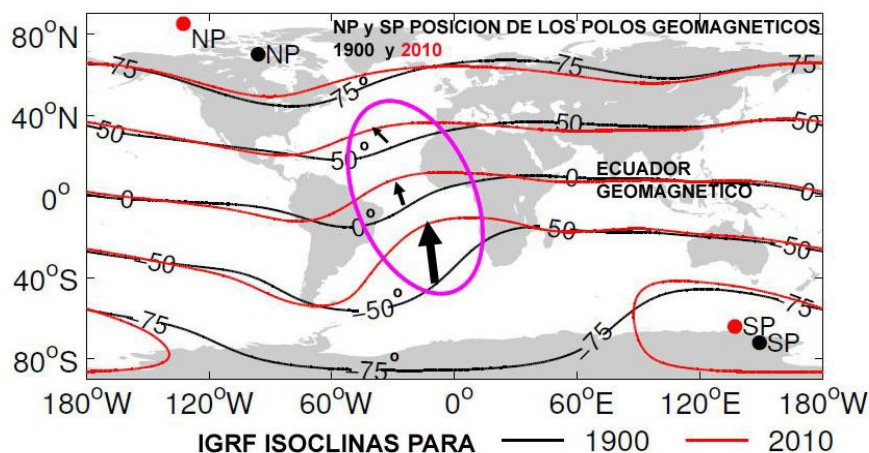


FIGURA 10

Los paradigmas a seguir, deben permitir cambios provenientes por los advenimientos tecnológicos, teóricos y los modelos que sugieren procesos evolutivos no detectados en el pasado.

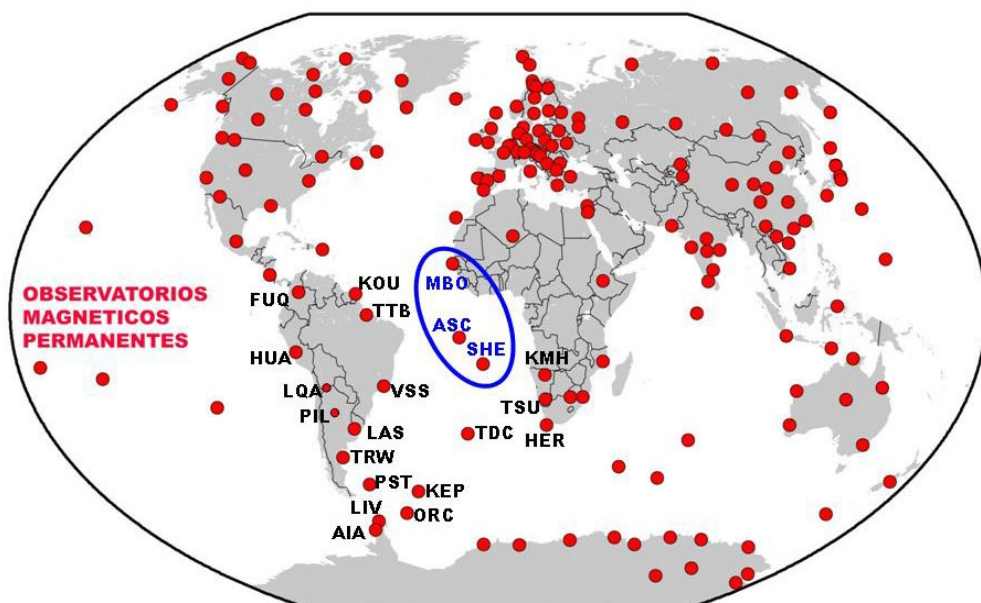


FIGURA 11

CODIGO	NOMBRE DEL OMP	LAT	LONG	h snmm	ΔF nT/año	AÑO F=0nT
MBO	MBOUR	14° 12'	343° 03'	7	+12.046	AUMENTA F
FUQ	FUQUENE	5° 28'	286° 16'	2543	-86.724	2367
KOU	KOURU	-5° 13'	307° 17'	10	-69.053	2434
TTB	TATUOCA	-1° 12'	311° 29'	10	-64.419	2406
HUA	HUANCAYO	-12° 03'	284° 40'	3312	-56.924	2485
LQA	LA QUIACA	-22° 06'	294° 24'	3450	-48.547	2486
VSS	VASSOURAS	-22° 24'	316° 21'	457	-24.020	2977
PIL	PILAR	-31° 40'	296° 07'	336	-55.775	2422
LAS	LAS ACACIAS	-35° 00'	302° 19'	17	-43.815	2538
TDC	TRISTAN DA CUNHA	-37° 20'	347° 41'	42	-53.107	2479
KMH	KEETMANSHOOP	-26° 32'	18° 07'	1065	-60.200	2464
TSU	TSUMEB	-19° 12'	17° 35'	1100	-56.468	2534
HER	HERMANUS	-34° 25'	19° 14'	26	-102.980	2255
TRW	TRELEW	-43° 16'	297° 17'	15	-65.725	2404
PST	PORT STANEY	-51° 42'	302° 06'	135	-66.434	2443
KEP	KING EDUARD POINT	-54° 17'	323° 30'	7	-66.200	2437
ORC	ISLAS ORCADAS	-60° 44'	315° 13'	3	-108.460	2308
LIV	ISLAS LIVINGSTON	-62° 40'	299° 36'	19	-82.385	2440
AIA	ISLAS ARGENTINAS	-65° 15'	295° 45'	10	-96.392	2410
ASC	ISLA ASCENCION	-7° 57'	345° 37'	177	+35.419	AUMENTA F
SHE	ISLA SANTA HELENA	-15° 57''	354° 16'	586	+18.100	AUMENTA F

TABLA 01

Por lo tanto esta situación fundamental generada por la evolución del CMT, y su actividad, se vera reflejada en la conexión Sol-Tierra, incluyendo los fenómenos Lunares (en lo referente a sus efectos de marea Geomagnética).

INDICE DE ACTIVIDAD. *Un índice de actividad de un sistema representa, en alguna escala de referencia, y en unidad adecuada, los procesos de cambio o transformación en espacio y tiempo predeterminados del sistema, a calificar o clasificar. Su utilidad en Geomagnetismo, en principio es la clasificación de los registros diarios en quietos, regulares y perturbados.* En la actualidad se tienen los siguientes índices: aa, am, Kp, Dst, PCN, PCS, AE, AU, AL, AO, AC, ASY, SYM, $\alpha\sigma$, y listado de Días Q (días quietos), Días D (días perturbados) y Días CK (días calmos) descriptos en la siguiente

pagina <http://isgi.unistra.fr/index.php>. y sus referencias. Sobre el índice Kp se tiene la página <https://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/> donde se encuentra su significado e historia.

En particular la siguiente página correspondiente a un curso relacionado al uso de los índices en la disciplina de la Climatología Espacial, brinda un nuevo aporte a la propuesta de formular índices globales: https://www2.hao.ucar.edu/sites/default/files/users/whawkins/SW102_4_Indices.pdf. Allí la definición del concepto de “índice geomagnético” es similar a la definición general aplicada a los sistemas generales. Sin embargo el sistema de OMP para establecer la actividad global del CMT especifica fuentes de estudio y generadoras de actividad particular tales como la Ionosfera, Sistemas de Corrientes de los Casquetes Polares, Corriente Anillo, y otros fenómenos de los cuales no se tiene en cuenta su acoplamiento e interacción entre los mismos. Las Figuras 12 a 20 muestran los OMP que se utilizan para determinar los diferentes índices detallados mas arriba. Estas Figuras (12 a 20) son obtenidas de la institución cuya página es <http://isgi.unistra.fr/> donde se tiene la descripción y bibliografía correspondiente a cada índice presentado y el concepto de confección de dichos índices según la fuente de origen externo que representa.

El índice Kp y su relación con el índice ap (rango equivalente) en nT, muestra que la cantidad de OMP (Figura 12) están seleccionados con mayor cantidad en el hemisferio norte frente al sur. Una mejor distribución se observa en los índices am y a-signa ($a\sigma$) (Figuras 14 y 15). Un caso particular es el índice aa determinado a partir de los índices K de dos OMP (Figura 13) ubicados geomagnéticamente en latitudes casi antipódicas. La escala temporal mínima es tri-horaria en tiempo universal. El elemento geomagnético contemplado para su determinación es la Componente Horizontal H (Figuras 2 y 3), para la cual su expresión geomagnética esta adecuada a las fenomenológicas de los efectos Ionosféricos observados en los intervalos de $\pm 60^\circ$ de latitud, según criterios fundamentados en la modulación estacional y solar. Su finalidad está dirigida esencialmente a determinar la propiedad de un registro relativo o de variación (no absoluto) de clasificar a un día como Quieto, Regular o Perturbado como se mencionó. Este criterio esta fundamentado con una escala de “rangos” cada tres horas confeccionada en forma “arbitraria” y esta aproximada por funciones polinómicas o cuasilogarítmicas o exponenciales. Cabe preguntarse dentro de los SCE si estos están relacionados entre si y acoplados. Si la Ionosfera, Magnetosfera, Magnetopausa, se relacionan entre si y tienen un acoplamiento con el Viento y Radiación Solar, entonces: ***¿Porque no se utiliza un elemento geomagnético que permita confeccionar un índice global, a partir de registros absolutos de determinación inmediata, que permita la conocer actividad del CMT, utilizando por ejemplo un magnetómetro de presesión protónica?*** Este elemento es “la intensidad total del CMT: F”.

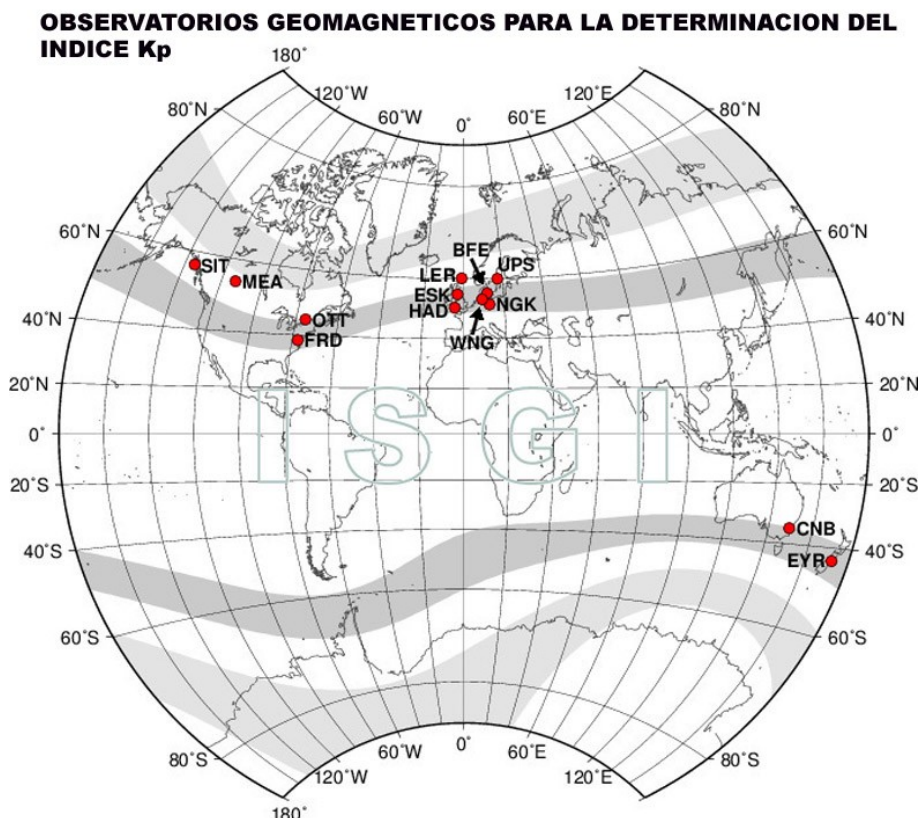


Figura 12

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DEL INDICE aa

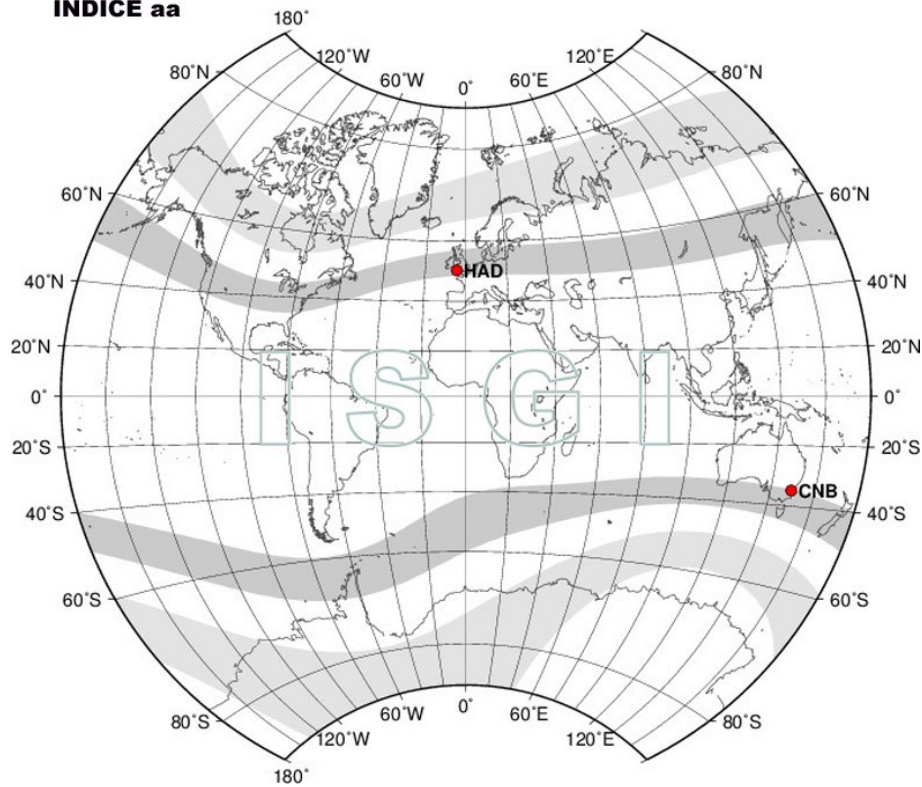


Figura 13

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DEL INDICE am

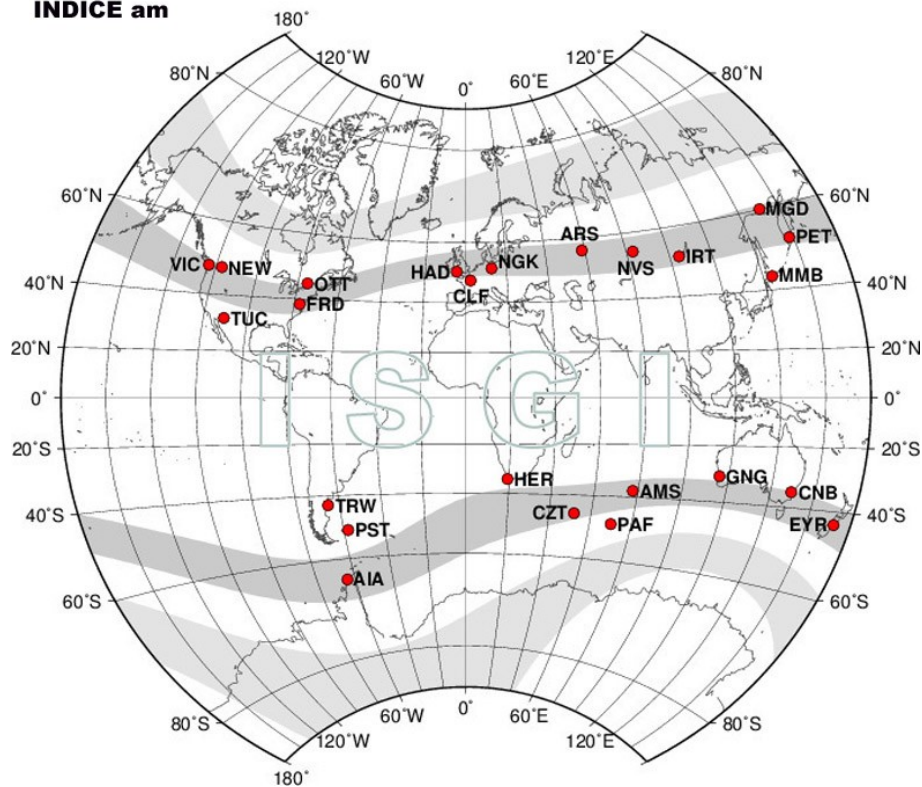


Figura 14

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DEL INDICE a-sigma

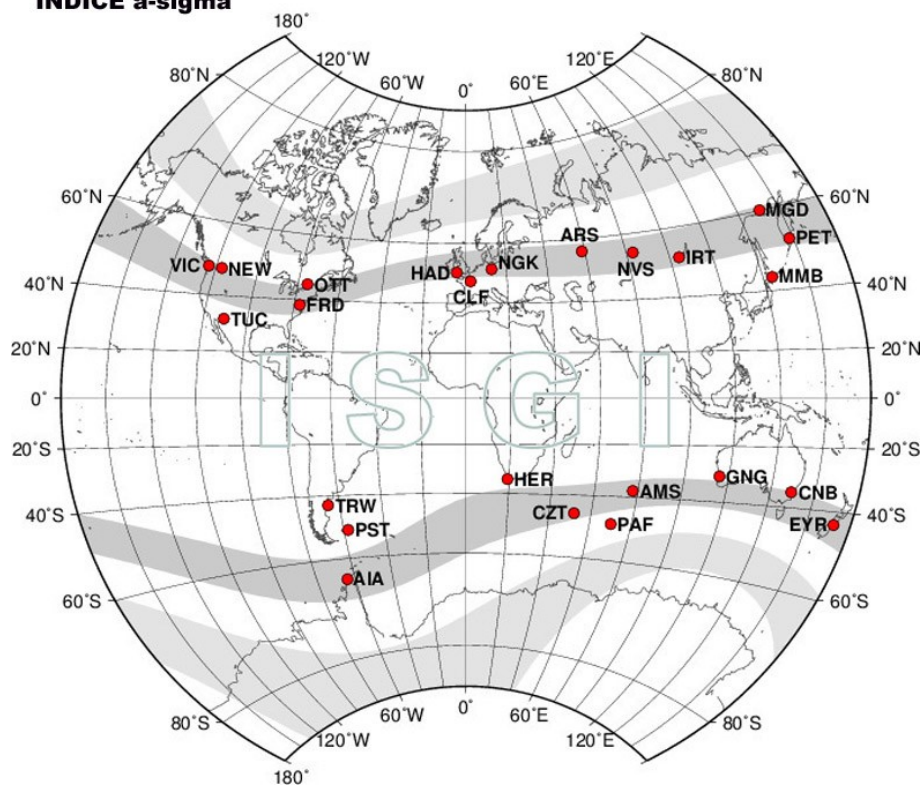


Figura 15

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DE LOS INDICES ASY/SYM

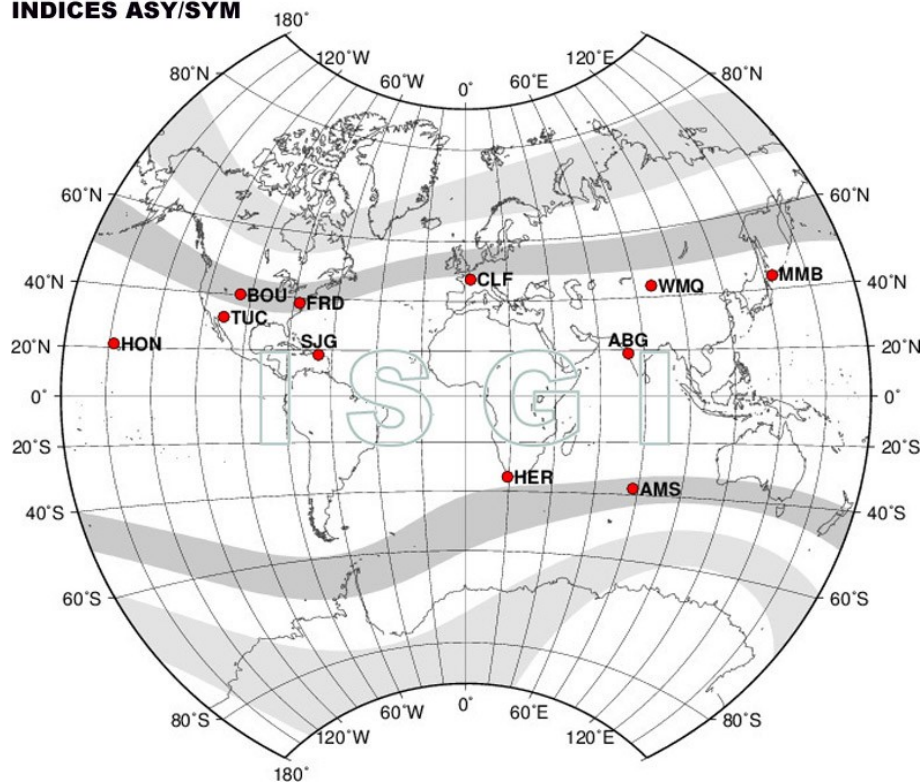


Figura 16

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DE LOS INDICES PCN Y PCS

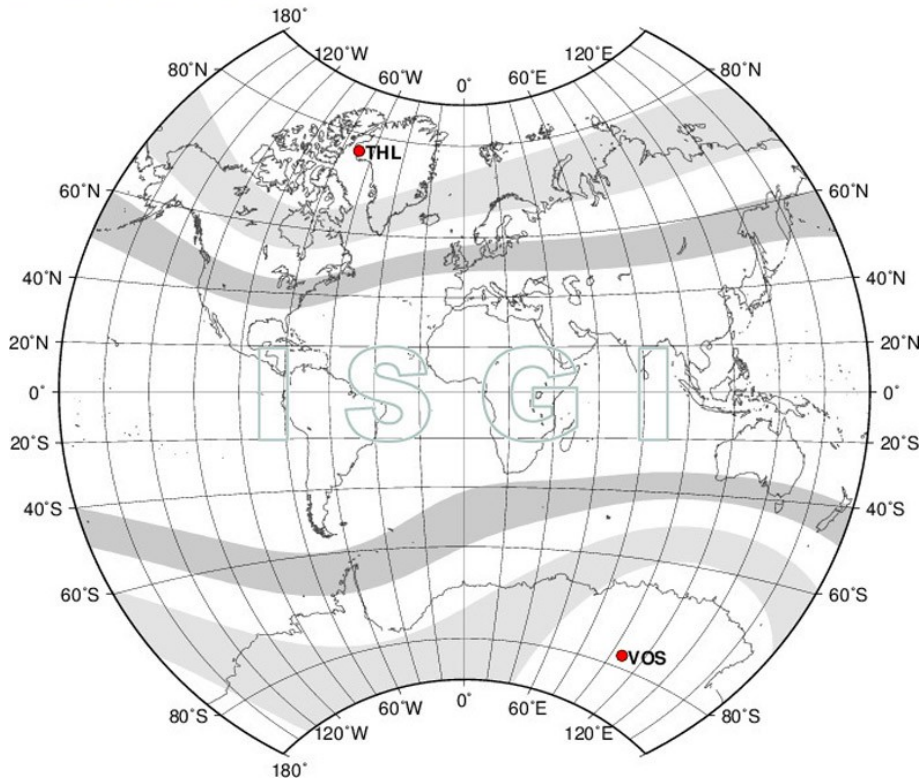


Figura 17

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DE LOS INDICES AE, AU, AL y AO

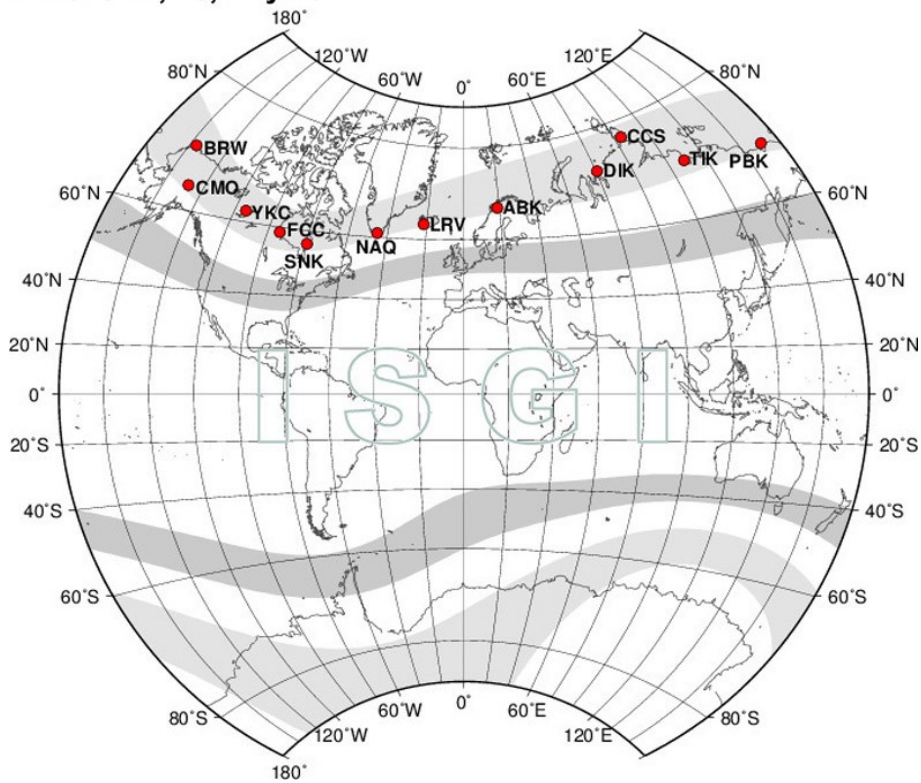


Figura 18

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DEL INDICE SC.

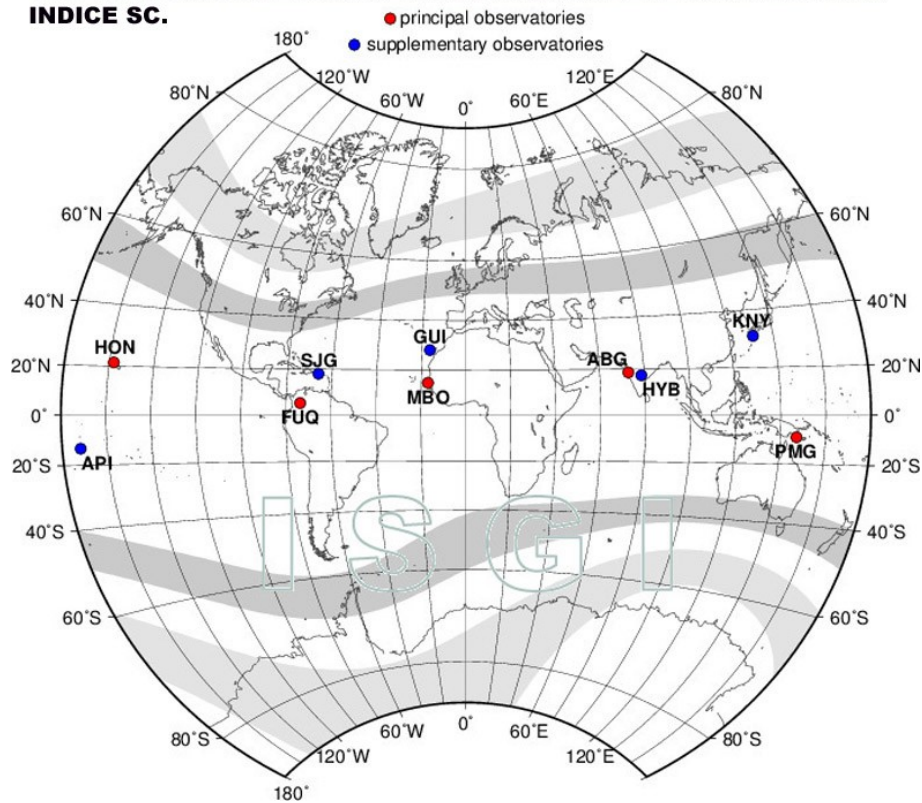


Figura 19

OBSERVATORIOS GEOMAGNETICOS PARA LA DETERMINACION DEL INDICE Dst

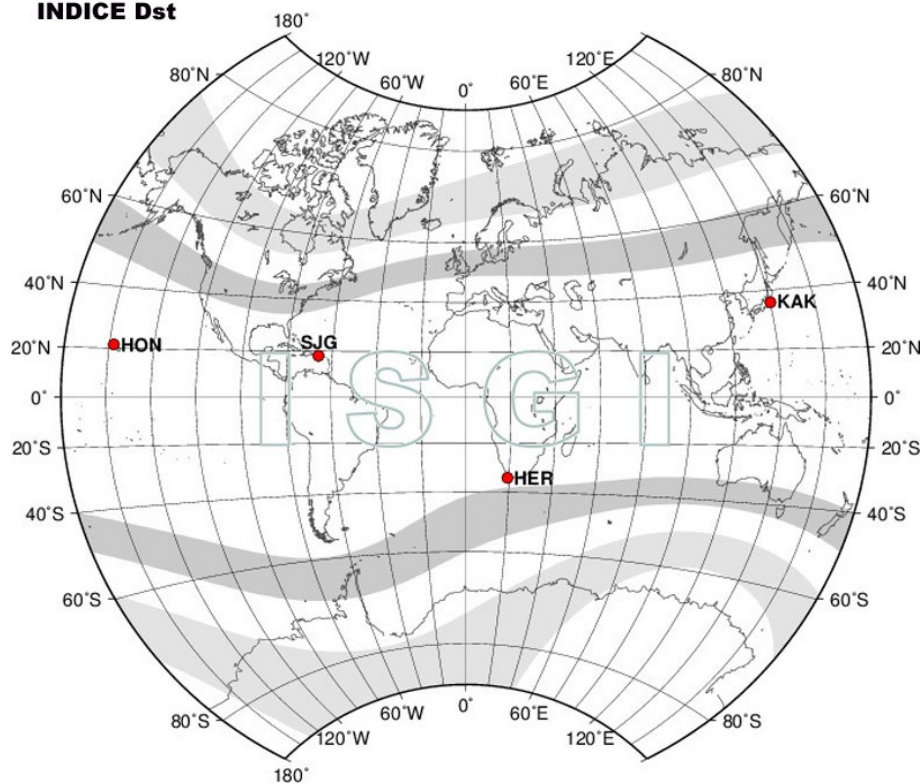


Figura 20

LOS SISTEMAS DE CORRIENTES EQUIVALENTE SCE. Los modelos conceptuales del comportamiento de los SCE, su interacción y acoplamiento dentro de la cavidad Magnetosférica muestran (Figuras 21 a 32) que la definición sistémica de “**CAVIDAD MAGNETOSFERICA o MAGNETOSFERA**” se debe extender desde la base de la **Atmosfera** hasta la **Magnetopausa**, interficie esta que se comporta

como “aquella superficie real, de espesor casi infinitesimal, donde se equilibra la energía del viento solar (SW) y la del CMT”. Este concepto de “infinitesimal” se obtiene cuando se compara su espesor (~150km) con la distancia a la que se ubica la magnetopausa: 6 radios terrestres (Rt) con alta actividad del SW con velocidad $V_{sw} > 400 \text{ km/s}$ (~0.004) y 10Rt a 12Rt cuando $V_{sw} < 400 \text{ km/s}$ (~0.005 a ~0.004) siendo esta velocidad una referencia estadística (<https://www.ann-geophys.net/22/1347/2004/angeo-22-1347-2004.pdf>). Un índice no solo refleja los procesos endógenos, también su correlación con los exógenos, donde los conceptos de global, regional y local surgen, y sugieren la evolución de los modelos representativos de las fuentes generadoras de la actividad que el índice muestra. La red de OMP es el sistema que relaciona los efectos en sus registros de los fenómenos de interacción **VIA LACTEA → HELIOSFERA DEL SISTEMA SOLAR → MAGNETOSFERA TERRESTRE dependiente del Campo Principal**, (Figura 1). Los sistemas globales y sus relaciones estructurales se muestran en la Figura 21.

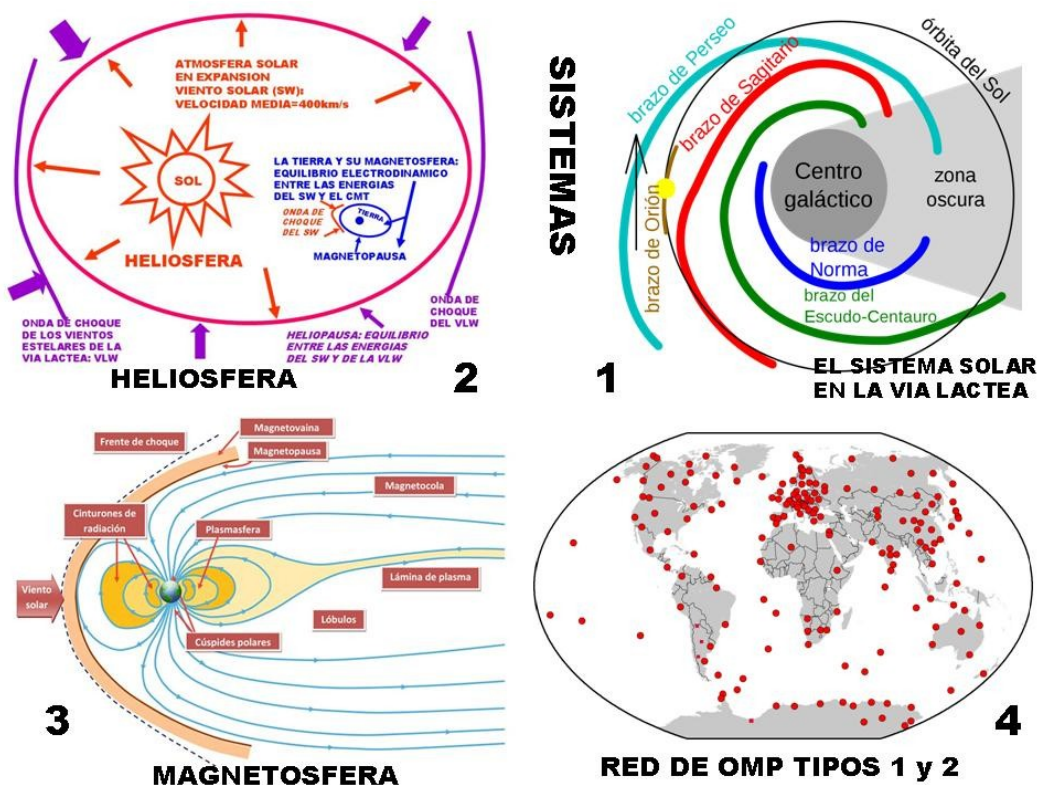


FIGURA 21.

Los sistemas globales que se muestran en la Figura 21 (partes 1, 2 y 3) interactúan y se acoplan, siendo los tiempos característicos de la ocurrencia de los fenómenos, los responsables de la persistencia y transformación de sus características. Los procesos de la Vía Láctea tienen sus efectos sobre la Heliósfera en la compresión y dilatación de la misma (Fig. 21 partes 1 y 2), en función de la velocidad de su viento o plasma galáctico y el producido por el sol (SW). De la misma manera se genera una Magnetosfera sobre aquellos planetas del Sistema Solar que posean un Campo Magnético generado en su interior por el efecto dinámico. Por lo tanto ciertos índices geomagnéticos tienen y poseen respuestas correlacionadas con la actividad del sol; por ejemplo el Ciclo Solar, periodo de rotación del sol, etc. (Índices aa, ap). En cambio, otros están directamente ligados en presentar el efecto de un fenómeno específico, en particular tal como el índice Dst (Fig. 20) tratando de representar a una tormenta geomagnética de referencia, desconociendo las particularidades de las anomalías del CMT en superficie. Con este criterio las variaciones que se registran en la red de OMP presentan un espectro donde el aporte del modelo del CMT de sus fuentes internas y externas (Figura 1) facilita estimar su porcentual en cada determinación absoluta. En la Figura 22 se presenta el espectro, con sus fuentes. En la Figura 23 se describe la estimación del porcentual del aporte al valor absoluto observado y registrado en un magnetograma. El nombre de “**variaciones transitorias**” es aplicado a los efectos en el magnetograma producidos por las variaciones de fuentes externas. Conceptualmente estas fenomenologías transitorias producen inducción sobre las fuentes internas, más específicamente el geodínamo produciendo cambios en la “**variación secular**” en los elementos geomagnéticos $E(\lambda, \phi, r, t)$: D, I, F, H, Z, X e Y, registrados, ampliando el concepto.

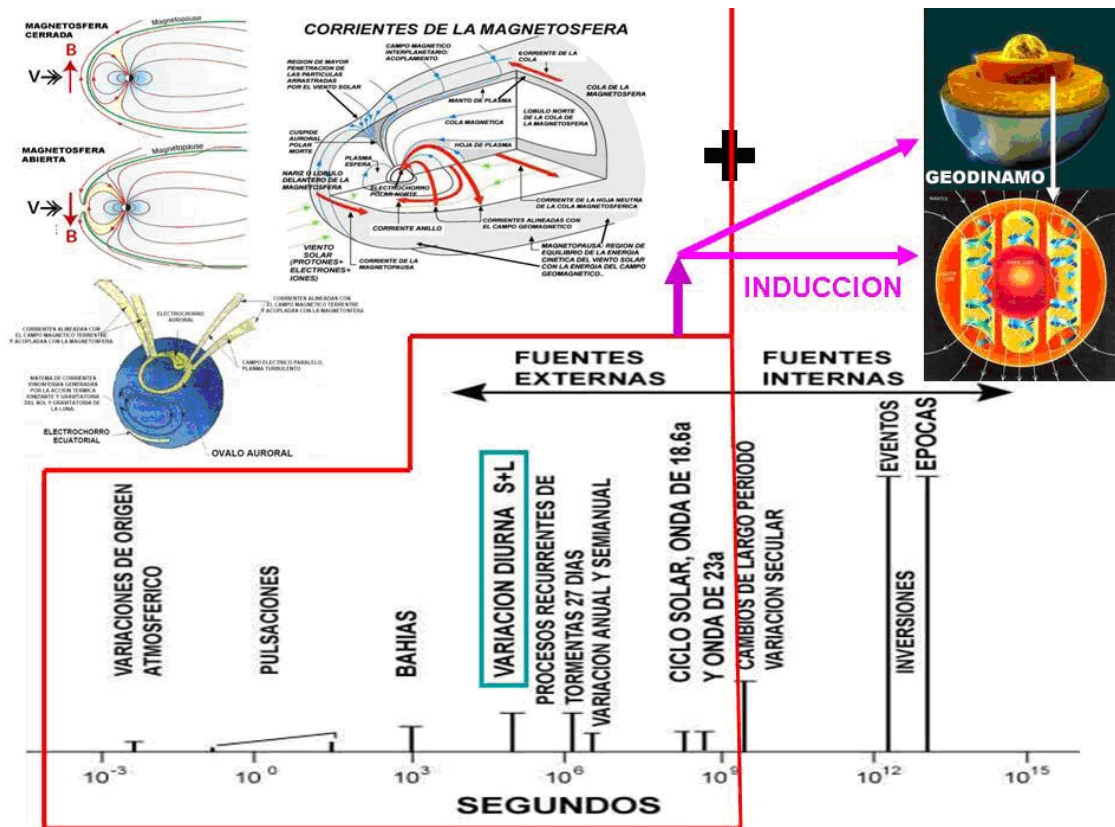


FIGURA 22

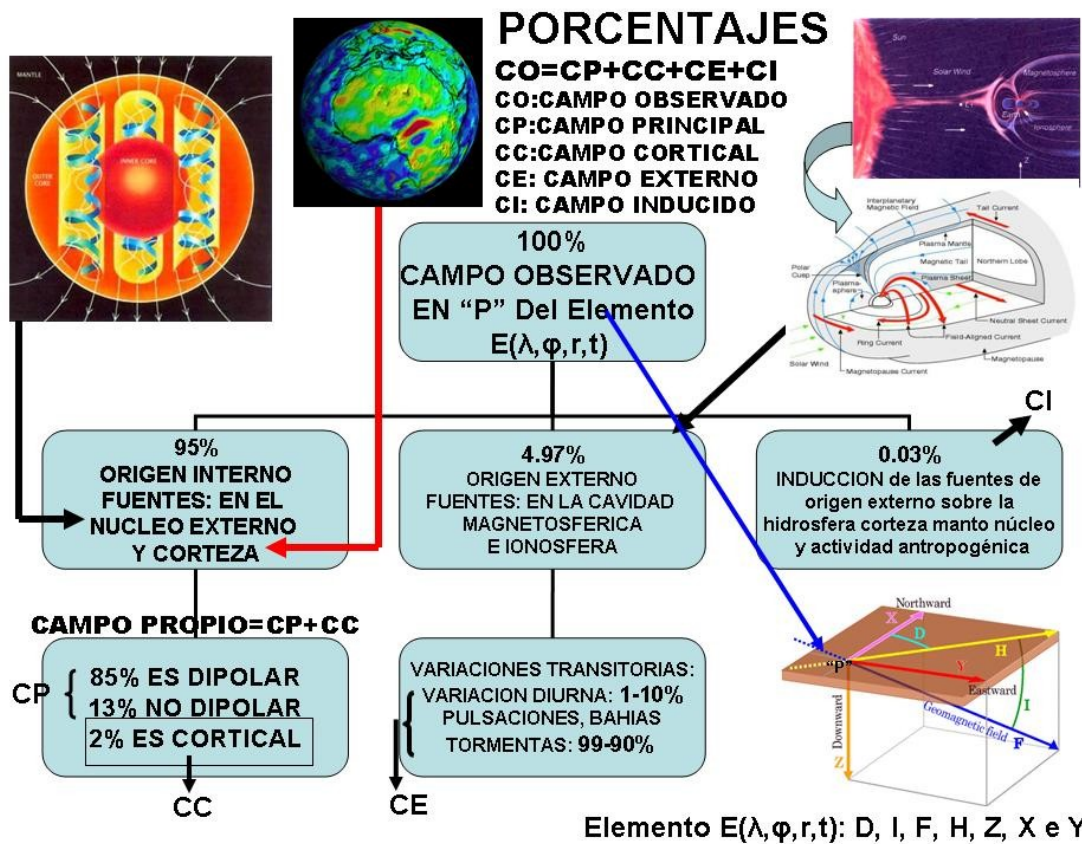


FIGURA 23

Las Figuras siguientes 24 a 33 presentan en detalle lo expuesto en las Figuras 22 y 23, con el objetivo de validar la situación del efecto de los SCE, presente en todos los OMP en diferente grado de actividad e intensidad.

Cabe preguntarse entonces: **“Que elemento geomagnético es el adecuado tomar, en forma absoluta, para determinar la actividad global del CMT.”** La respuesta contradice al paradigma vigente donde se toman las variaciones a partir de valores de componentes del CMT donde no interviene la intensidad total F.

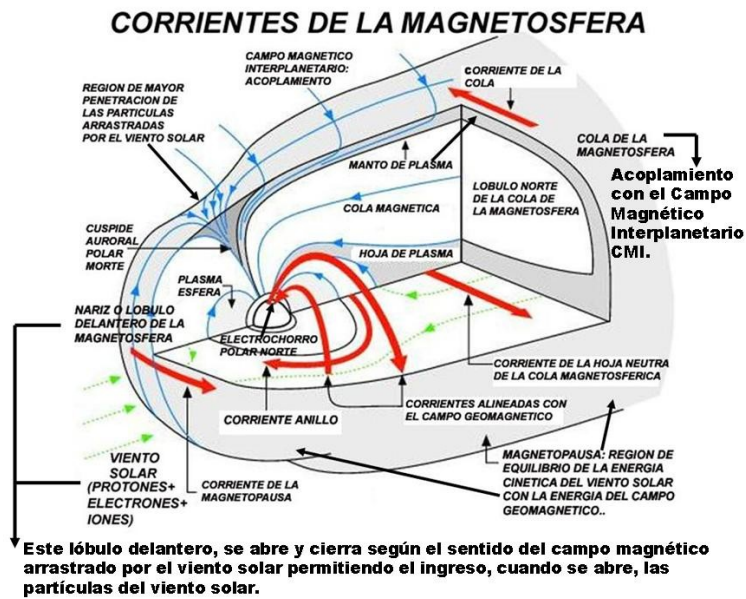


FIGURA 24

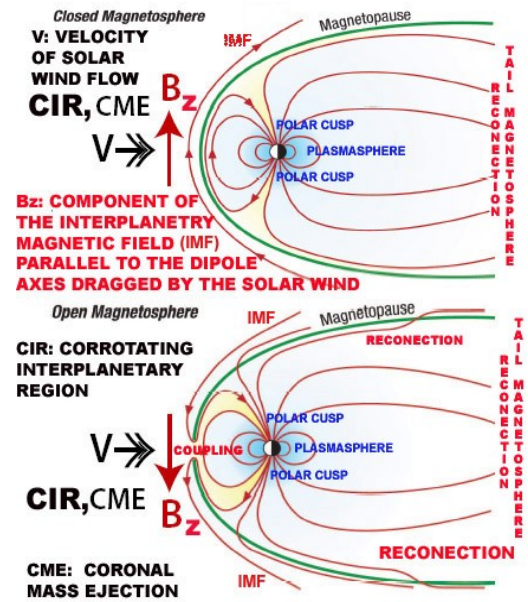


FIGURA 25

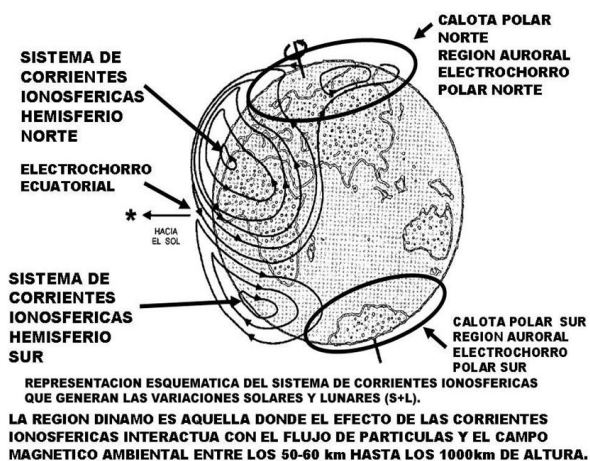


FIGURA 26

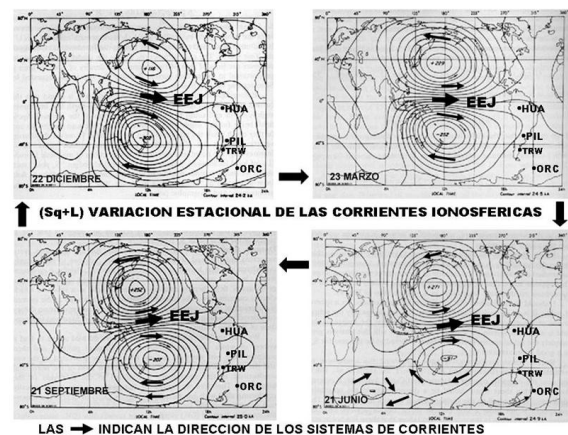


FIGURA 27

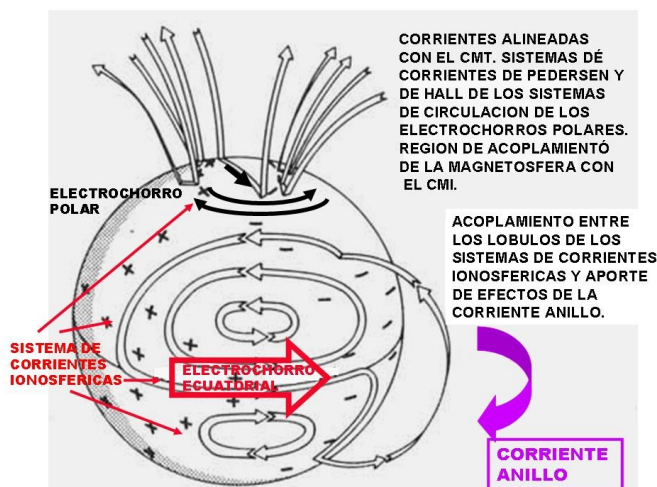


FIGURA 28



FIGURA 29

Las Figuras 24 a 31 son un referente de las fuentes principales que aparecen en los registros geomagnéticos analógicos (magnetogramas en papel) y digitales, con una resolución temporal y precisión mayor (1 min a 1 seg y precisión de 0.1 a 0.01 nT.).

ESCALAS Y RANGOS. La actividad del CMT se mide en escalas adimensionales, en unidades de 1 a 9 con una sub-unidad en 1/3, por medio de rangos en nT (Figuras 35) sobre registros analógicos y digitales, de la componente H: este índice se llama K y su expresión planetaria Kp (para latitudes comprendidas en el intervalo $\pm 60^\circ$). Estas escalas en la actualidad están aplicadas a diferentes selecciones de OMP (Figuras 12 a 14). Las escalas se presentan en las tablas y graficas de la Figura 36, 37 y 38.

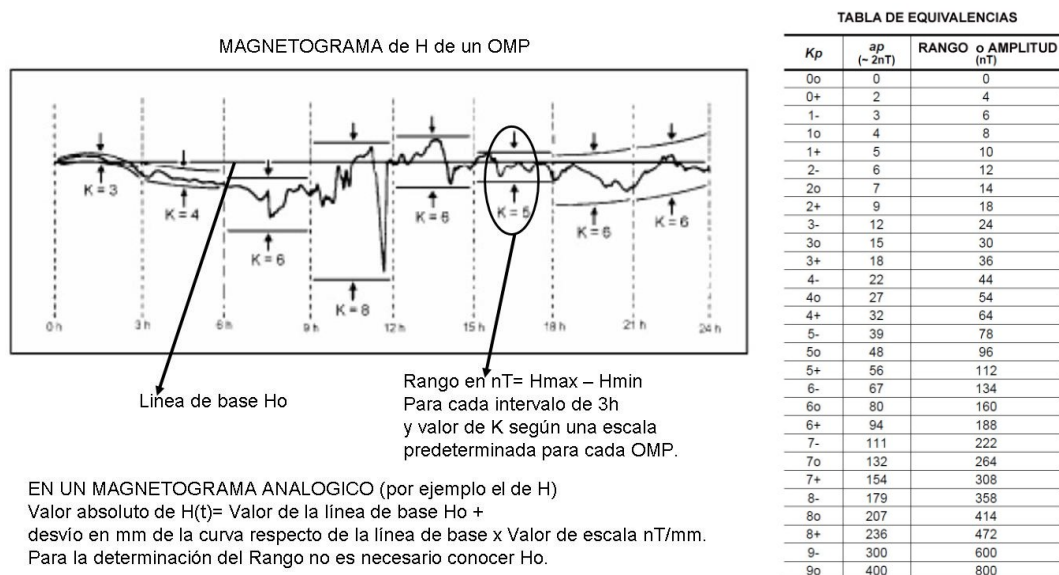


FIGURA 35

OMP PARA LA DETERMINACION DEL INDICE Kpm Y SU EQUIVALENTE am (RANGO EN ESCALA DE 1 nanoTESLAS)

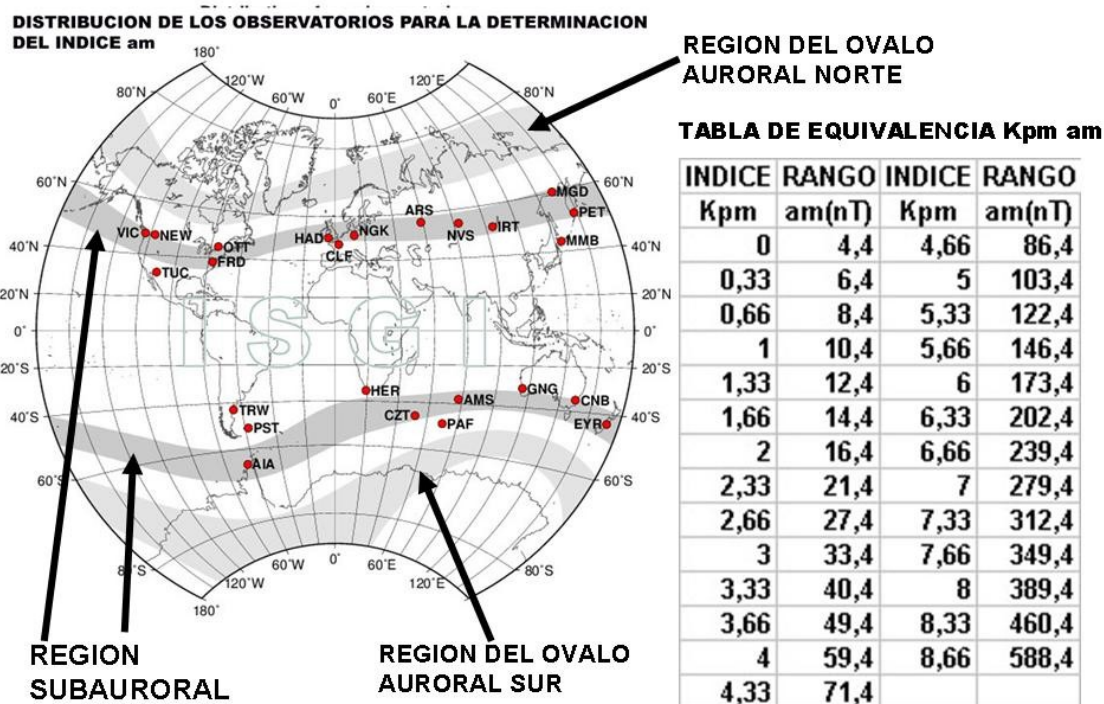
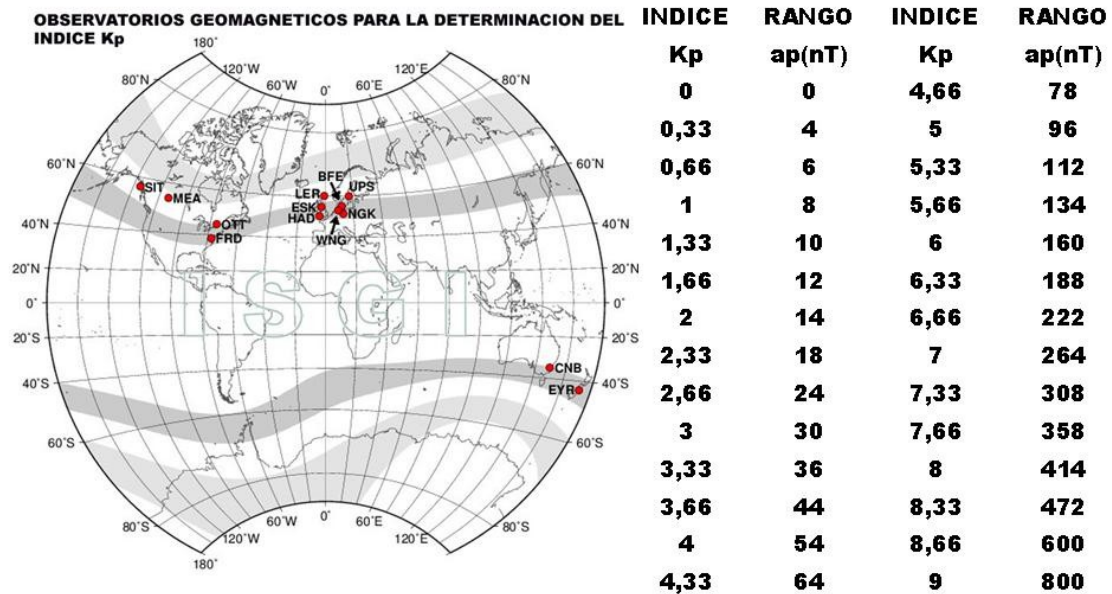


FIGURA 36

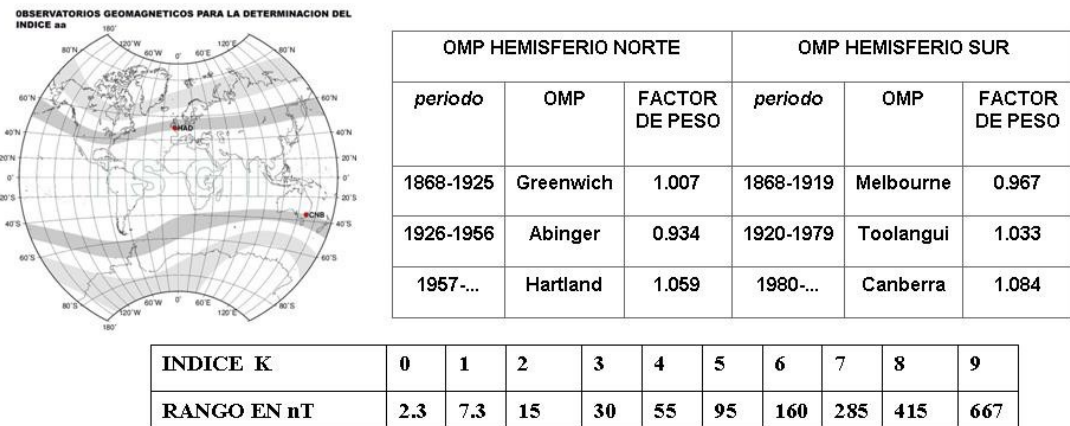
INDICE Kp - ap



La distribución de los OMP es heterogénea por ende la calificación de los intervalos de 3h y 24h no muestran en su selección de quietos Q, regulares R y perturbados D, coherencia con los registros de los OMP para determinar la variación diurna quieta (Sq+L).

FIGURA 37

INDICE K - aa



ES EL UNICO INDICE QUE SE USA PARA DETERMINAR UN INTERVALO DE 48 HORAS DE ACTIVIDAD CALMA SEGÚN ESTA ESCALA:

CON EL SIGUIENTE CRITERIO:

UN INTERVALO DE 48 HORAS ES CALMO SI

EL VALOR MEDIO DEL INDICE $aa < 13nT$

Es un día "C" realmente quieto si $\sum p < 6$

Es un día QUIETO "K" si cumple con la condicion $\sum p \geq 6$

Rango (nT)	PESO
$aa \leq 17$	0
$17 < aa \leq 21$	1
$21 < aa \leq 28$	2
$28 < aa \leq 32$	4
$32 < aa$	6

FIGURA 38

Las Figuras 36, 37 y 38 muestran las escalas de los índices y los OMP intervinientes y los criterios adoptados para la selección de la actividad diaria o de un intervalo de 48h en TU (Fig. 38), con el índice aa. Los rangos de tres índices seleccionados y sus rangos (aa, ap y am) fueron ajustados por funciones exponenciales de K, Kp, y Km como se muestran en la figura 39, para tomarlas como referentes en la generación de una sola escala y producir un nuevo índice.

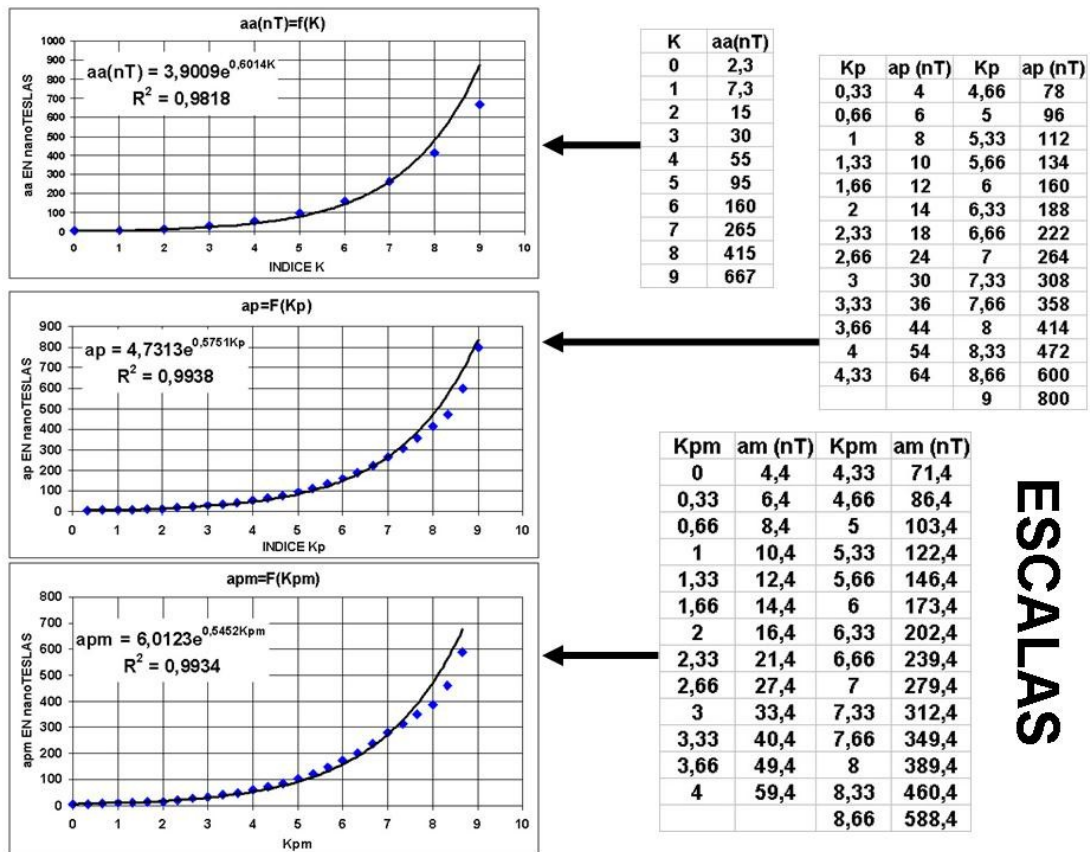


FIGURA 39

En la Figura 40 se muestra el resultado para cada escala exponencial para rangos entre 0 a 9 en escala decimal y el valor promedio de cada rango para luego aplicársele ajustes por medio de funciones logarítmicas en base e, para la determinación del índice K. A esta funciones se le aplicaron cambios en los parámetros α , β y δ para determinar las variaciones del índice K. La secuencia de cálculo y grafico de 1 a 4 muestra la similaridad del índice K de las dos funciones graficadas.

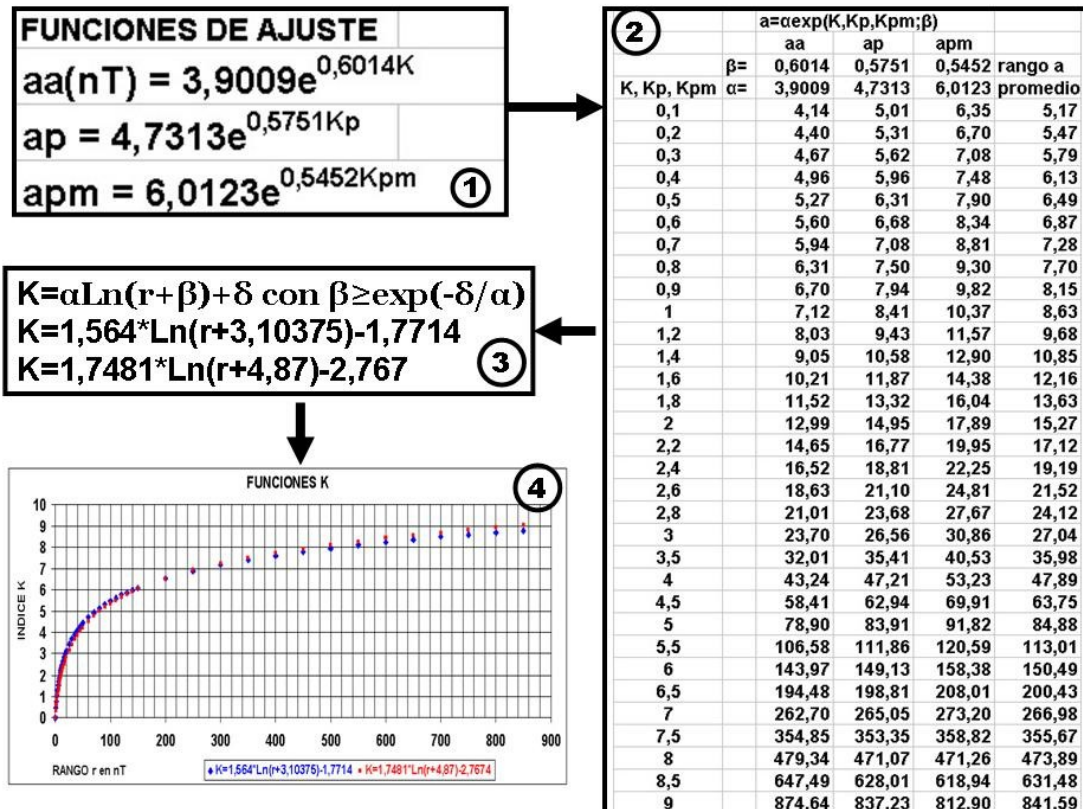


FIGURA 40

APLICACIÓN: Se aplicó esta forma de determinación de un índice alternativo, global y comparativo a través de la Intensidad Total F sobre los OMP. La disponibilidad de registros cada 1 minuto de los OMP de la red INTERMAGNET permitió ubicar en 4 regiones los OMP del Tipo 1 y dos OMP del Tipo 2 (LAS y CIP). En la Tabla 02 se detallan los OMP seleccionados y ordenados por colatitud geográfica.

IAGA	NOMBRE	COLATITUD	LONGITUD E
CODIGO	OBSERVATORIO	GRADOS, DEC	GRADOS, DEC
THL	QAANAAQ THULE	12,5300	290,7730
HRN	HORNSUND	13,0000	15,3700
RES	RESOLUTE BAY	15,3100	265,1050
DED	DEADHORSE	19,6400	211,2100
GDH	QEQERTARSAUQ	20,7480	306,4670
CBB	CAMBRIDGE BAY	20,8770	254,9690
ABK	ABISKO	21,6420	18,8230
NAQ	NARSARSUAQ	28,8400	314,5580
SIT	SITKA	32,9400	224,6700
MEA	MEANOOK	35,3840	246,6530
OTT	OTTAWA	44,5970	284,4480
SBL	SABLE ISLAND	46,0679	299,9905
BOU	BOULDER	49,8600	274,7600
FRN	FRESNO	52,9100	240,2800
TUC	TUCSON	57,8200	249,2700
TEO	TEOLOYUCAN	70,2500	260,8100
SJG	SAN JUAN PUERTO RICO	71,8900	293,8500
MBO	MBOUR	75,6200	343,0300
KOU	KOURU	84,7900	307,2700
ASC	ASCENCION ISLAND	97,9500	345,6200
HUA	HUANCAYO	102,0500	284,6700
VSS	VASSOURAS	112,4000	316,3500
GNG	GINGIN	121,3560	115,7150
PIL	PILAR	121,4000	296,1200
HER	HERMANUS	124,4300	19,2300
LAS	LAS ACACIAS	125,0070	302,3200
CNB	CANBERRA	125,3200	149,3600
TDC	TRISTAN DA CUNHA	127,0670	347,6850
AMS	MARTIN DE VIVES	127,8000	77,5700
CIP	CIPOLLETTI	128,9800	292,0000
TRW	TRELEW	133,2500	294,7000
EYR	EYREWELL	133,4740	172,3930
CZT	PORT ALFRED	136,4300	51,8700
PAF	PORT AUX FRACAISE	139,3500	70,2600
PST	PORT STANLEY	141,7000	302,1100
KEP	KING EDWARD POINT	144,2821	323,5071
MCQ	MACQUARIE ISLANDS	144,5000	158,9500
ORC	ORCADAS	150,7370	315,2600
CSY	CASEY	156,2830	110,5330
DRV	DUMONT D'URVILLE	156,6700	140,0100
MAW	MAWSON	157,6000	62,8800
SBA	SCOTT BASE	167,8500	166,8800
VOS	VOSTOK	168,4640	106,8350

TABLA 02

La ubicación por regiones 1 a 4 se muestra en la Figura 41, donde la Región 1 corresponde a América del Norte incluyendo la zona del ovalo auroral y región subauroral norte. La Región 2 corresponde a la región subecuatorial norte y ecuatorial siguiendo la forma de la isoclina de 0° (Figura 10), en la Región 3 se tiene los OMP de la RRAA en conjunto con los de TDC y HER. Finalmente la Región 4 presenta los OMP que circundan al Polo de I=-90° según el IGRF llamado DIP POLO Sur y la Zona auroral sur.

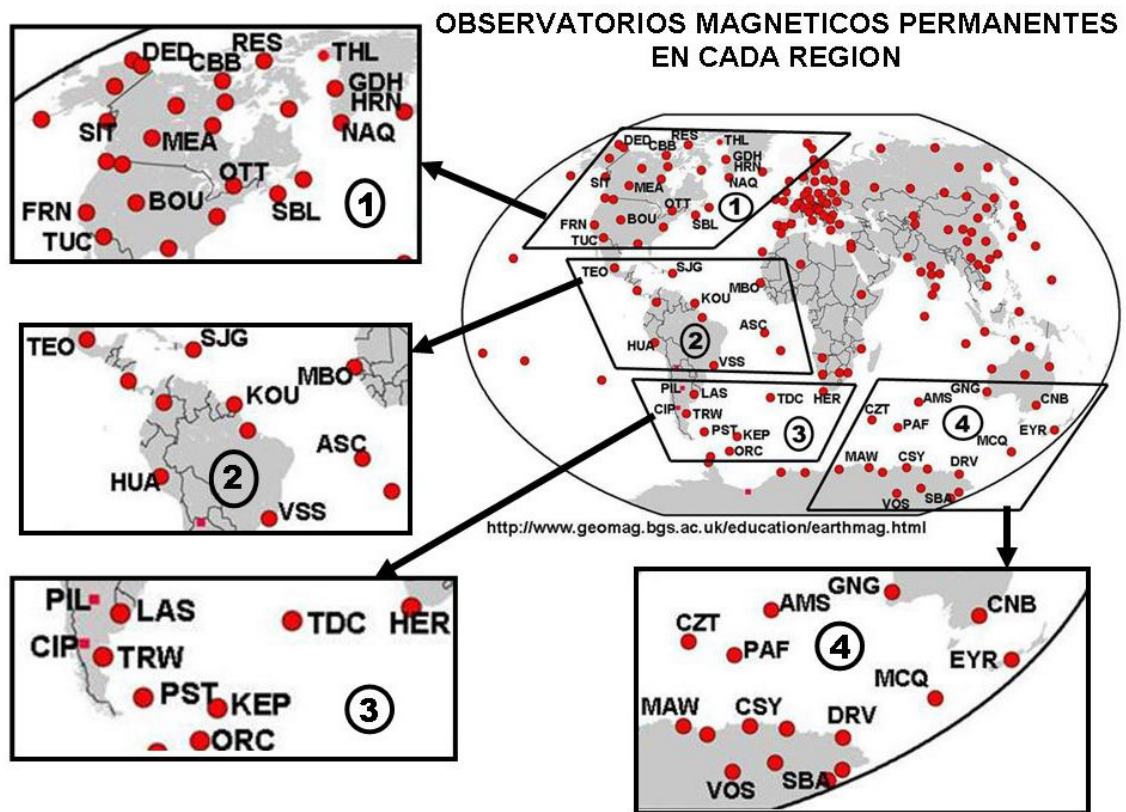


FIGURA 41

Se seleccionaron los días comprendidos entre el 25 a 29 de mayo de 2017 inclusive, donde los días 25 y 26 son “Q” según la selección de la IAGA y los días 26 a 29 presentan una tormenta geomagnética de actividad regular según la calificación de sus efectos en la superficie terrestre por la NOAA, en lo referente a CIG que puedan afectar a la actividad de redes de transmisión eléctrica gasoductos y comunicaciones. Los registros de F para cada OMP se tienen en las Figuras 42 a 45.

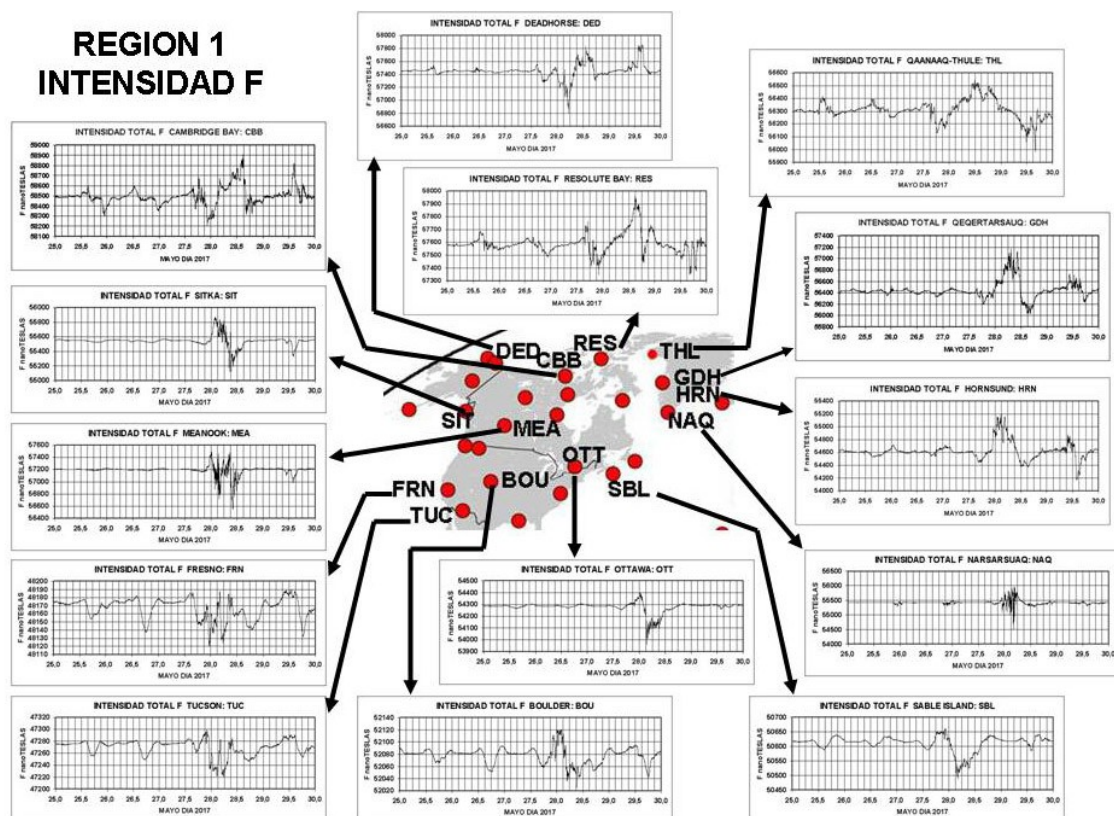


FIGURA 42

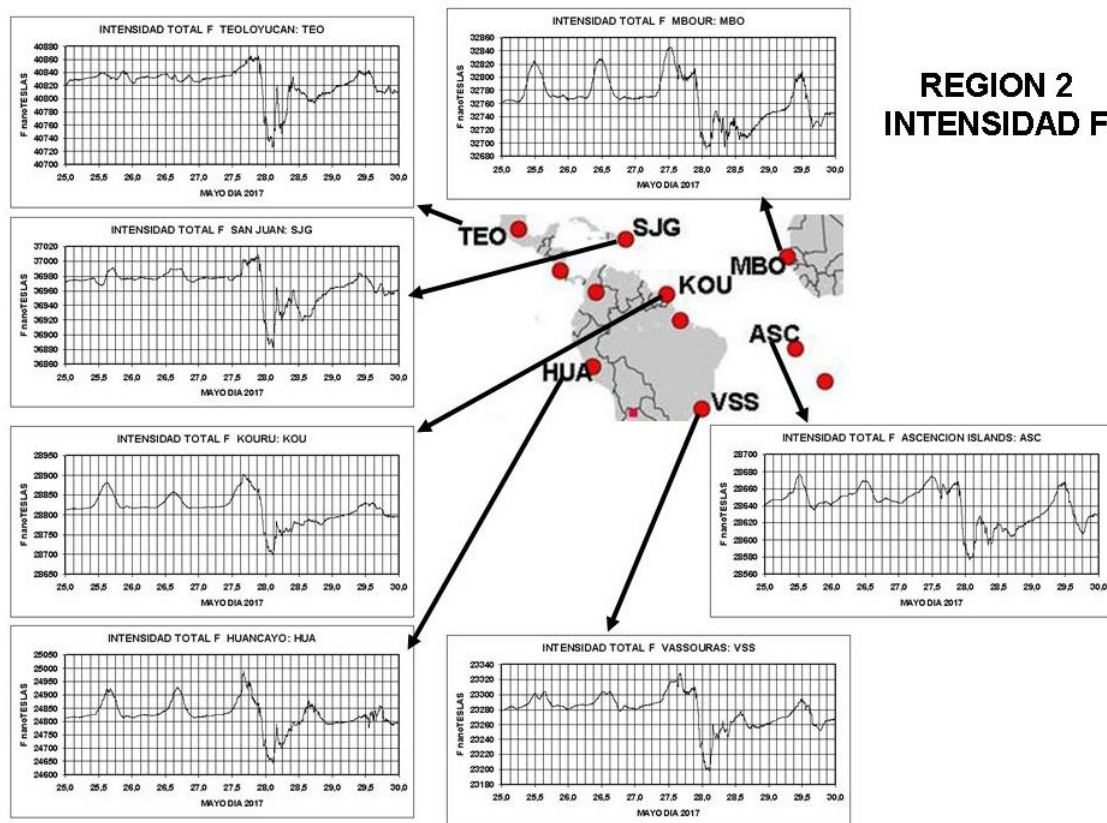


FIGURA 43

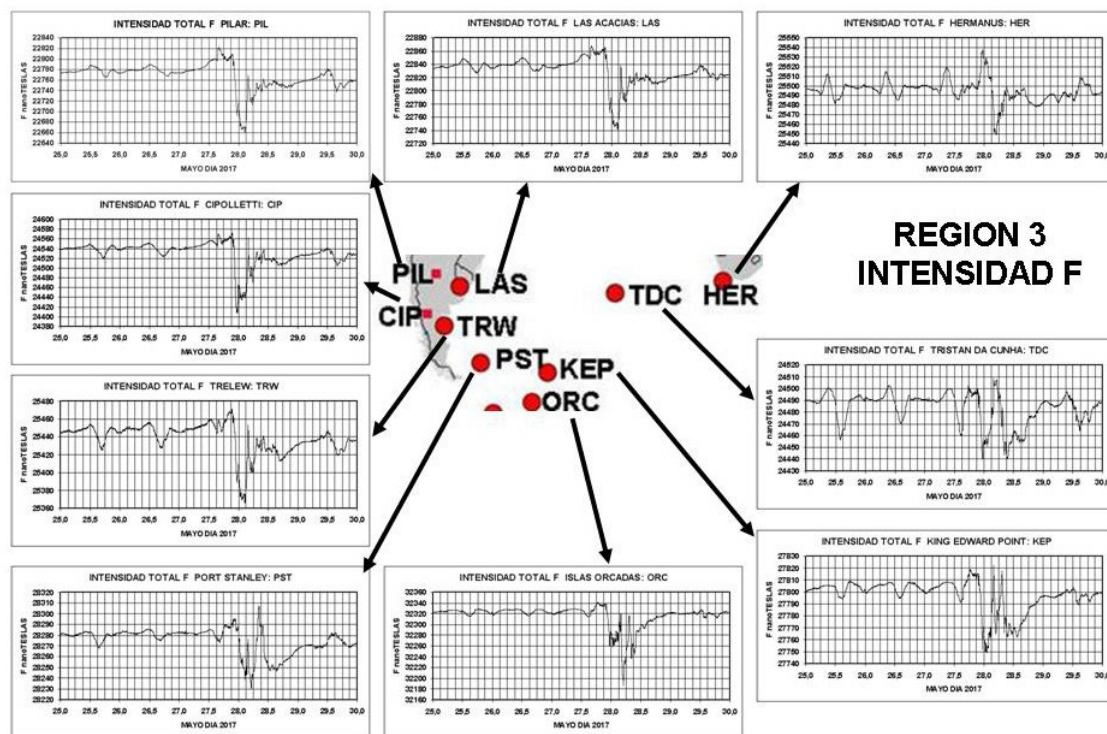


FIGURA 44

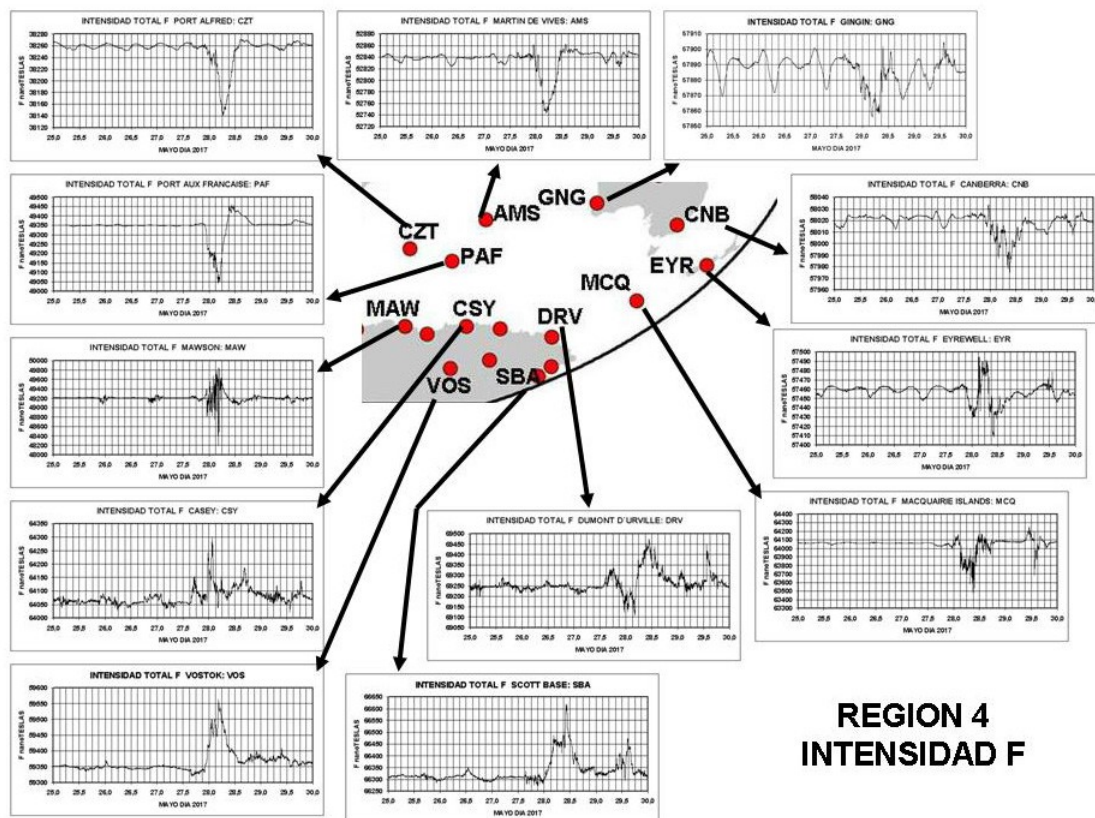
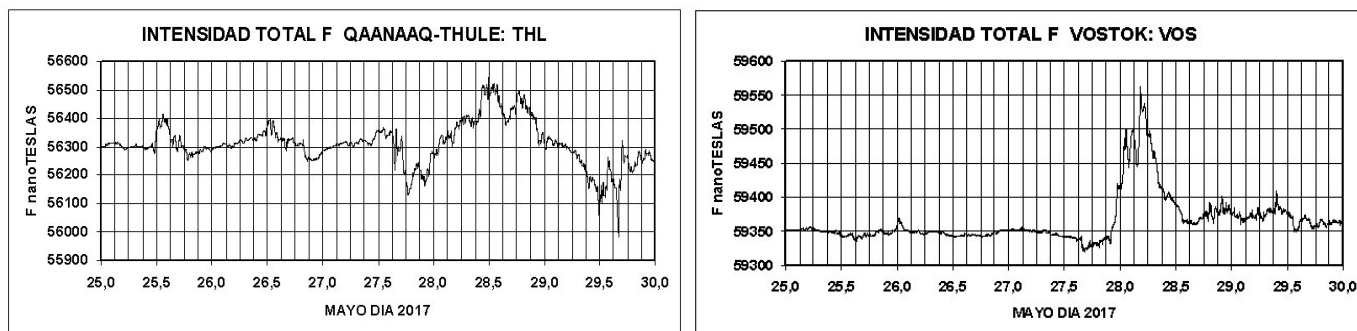


FIGURA 45

La comparación de los registro muestran (Figuras 42 a 45) el efecto del los SCE en los registros absolutos de F de los OMP evidenciando un comportamiento no homogéneo, indicando que el comportamiento del CMT principal juega un rol importante en la interacción Sol-Tierra: “la calota polar norte tiene un comportamiento diferente al comparar los registros de los OMP de THL con los de la calota polar sur (no son antipódicas) en su OMP de VOS (Figura 46)”.



FFIGURA 46

Los OMP de THL y VOS son los referentes para la determinación del índice PC de carácter disímil y de fenómenos de comportamiento particular de cada calota por tener expresiones del campo principal diferentes.

Ver la pagina http://isgi.unistra.fr/indices_pc.php

Para la determinación del índice k relacionado ahora con el elemento geomagnético F se calcularon los rangos cada 3 horas en TU como la diferencia del “valor máximo” menos el “valor mínimo” en ese intervalo. A este índice se lo denominó **kF3h**. De esta forma es factible de una manera global tener una evaluación de los efectos de todas las fuentes aportantes a la intensidad total F absoluta registrada. Las Figuras 47 a 50 muestran la evolución y valor del rango.

REGION 1 INTENSIDAD F RANGOS CADA 3h

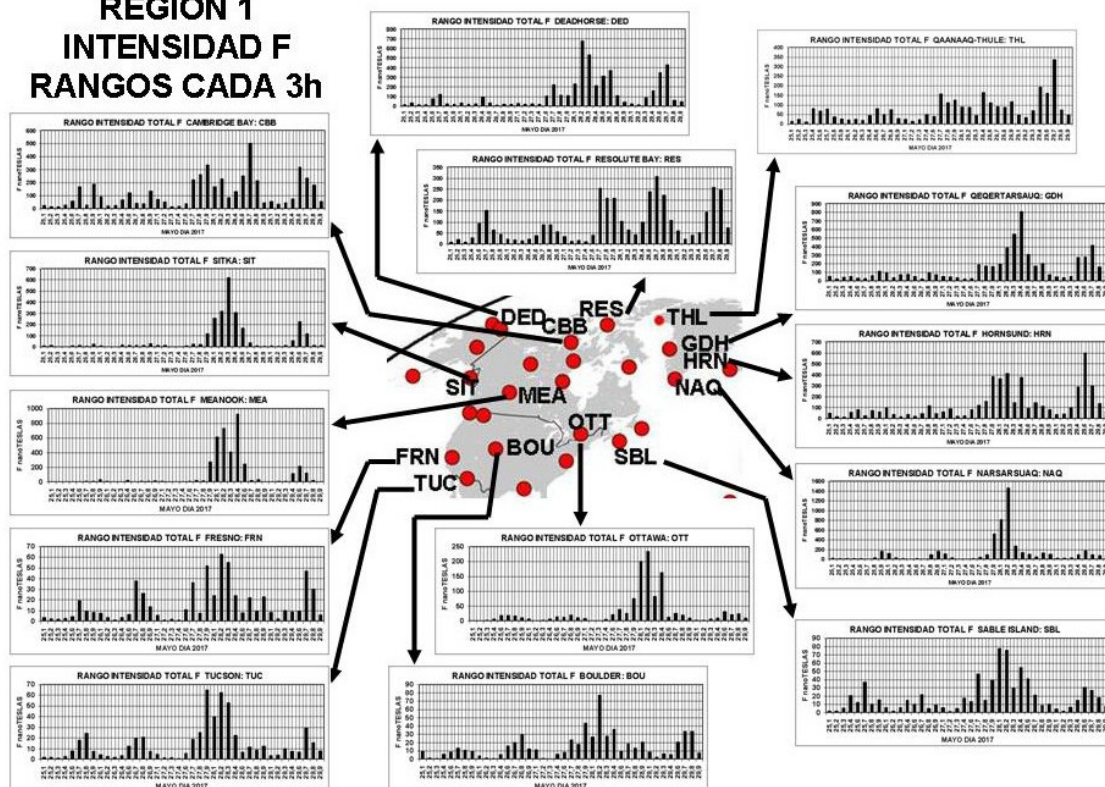


FIGURA 47

REGION 2 INTENSIDAD F RANGOS CADA 3h

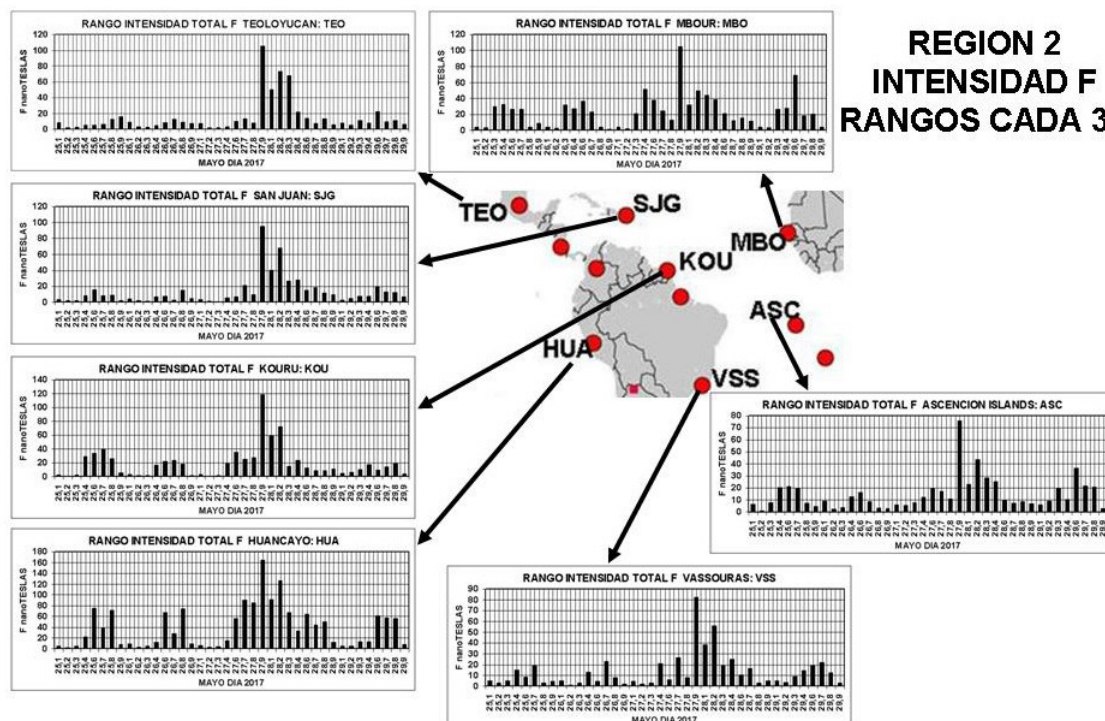


FIGURA 48

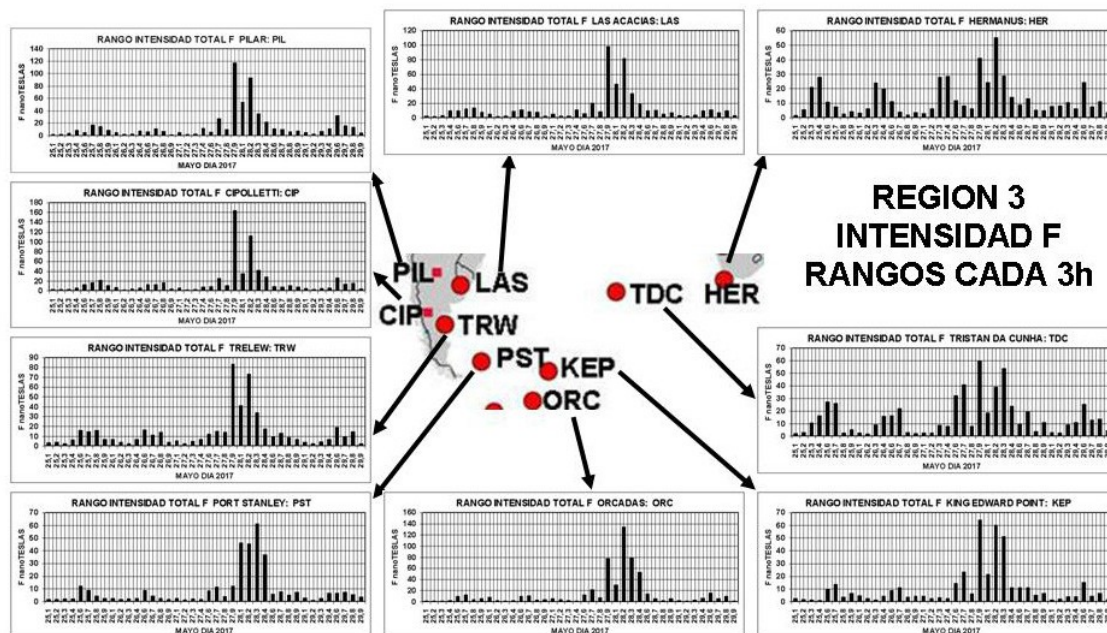


FIGURA 49

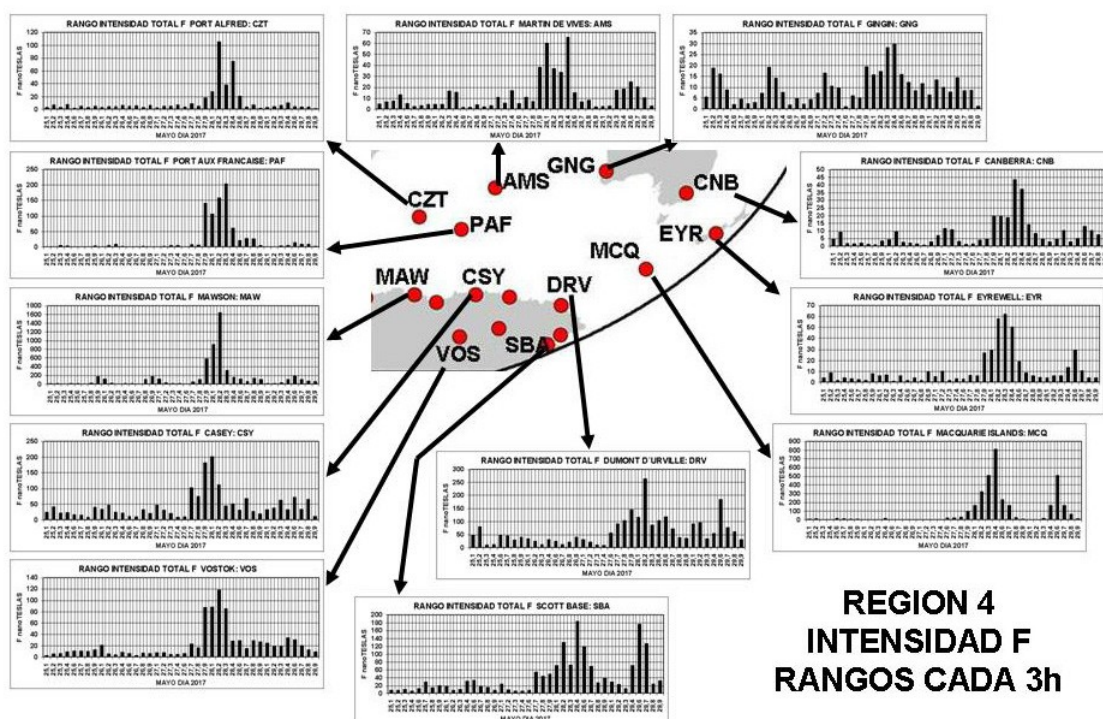


FIGURA 50

Los valores de los rangos r calculados son aplicados a la formula que permite la determinación del índice $kF3h$,

$$kF3h = 1,7481 \cdot \ln(r + 4,87) - 2,767 \quad \text{Formula 1}$$

Las figuras 51 a 54 muestran los valores del índice $kF3h$, en una escala adimensional entre 0 a 10, pudiendo tener valores mayores, de tal forma de observar en todo los OMP la evolución de los efectos de los SCE producto del acoplamiento Sol-Tierra.

REGION 1 **INTENSIDAD F** **INDICE kf3h CADA 3h**

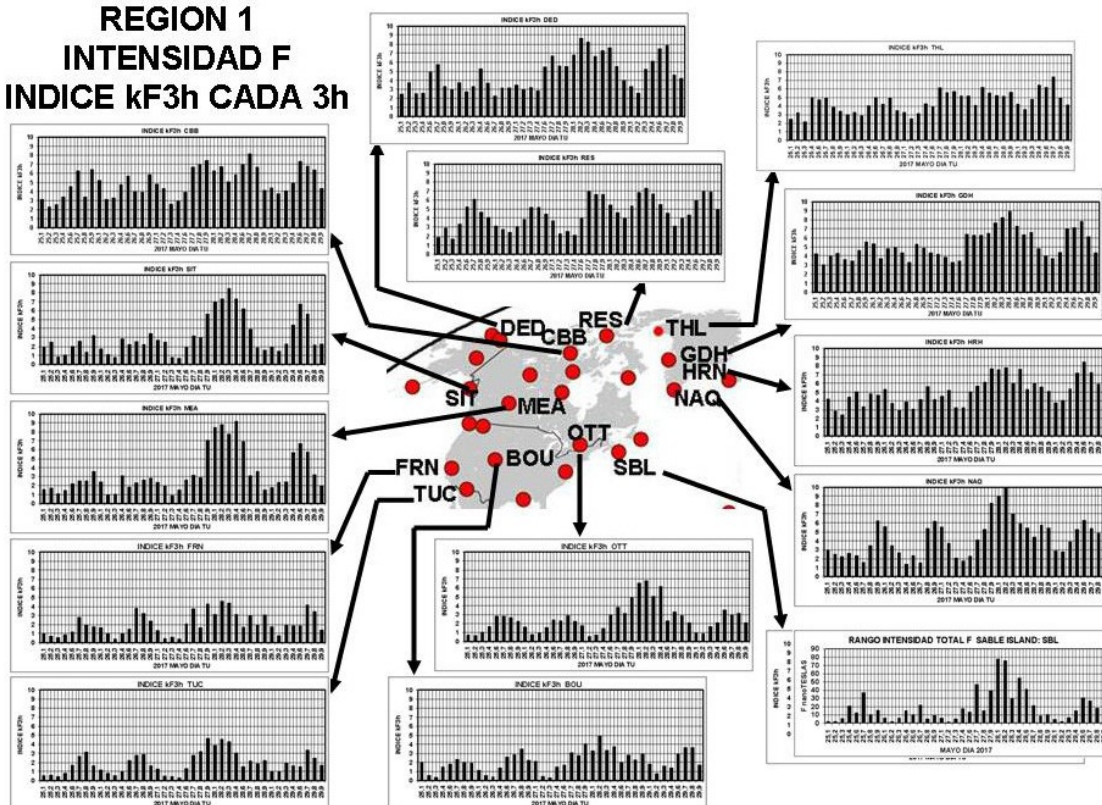


FIGURA 51

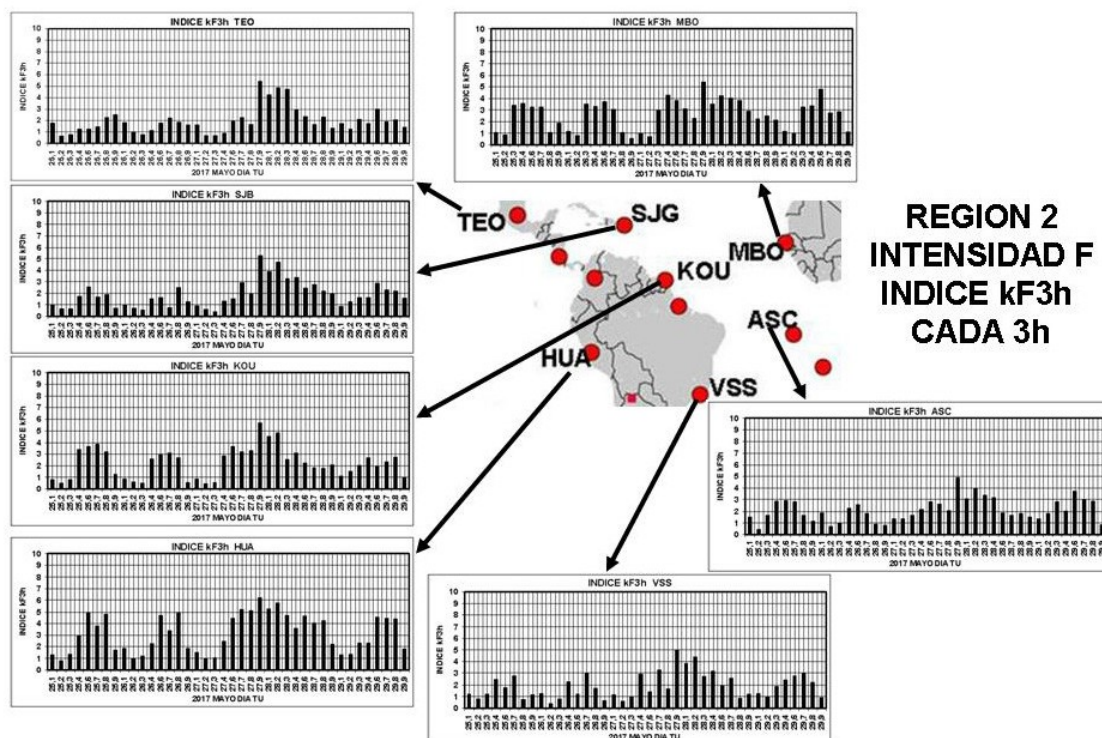


FIGURA 52

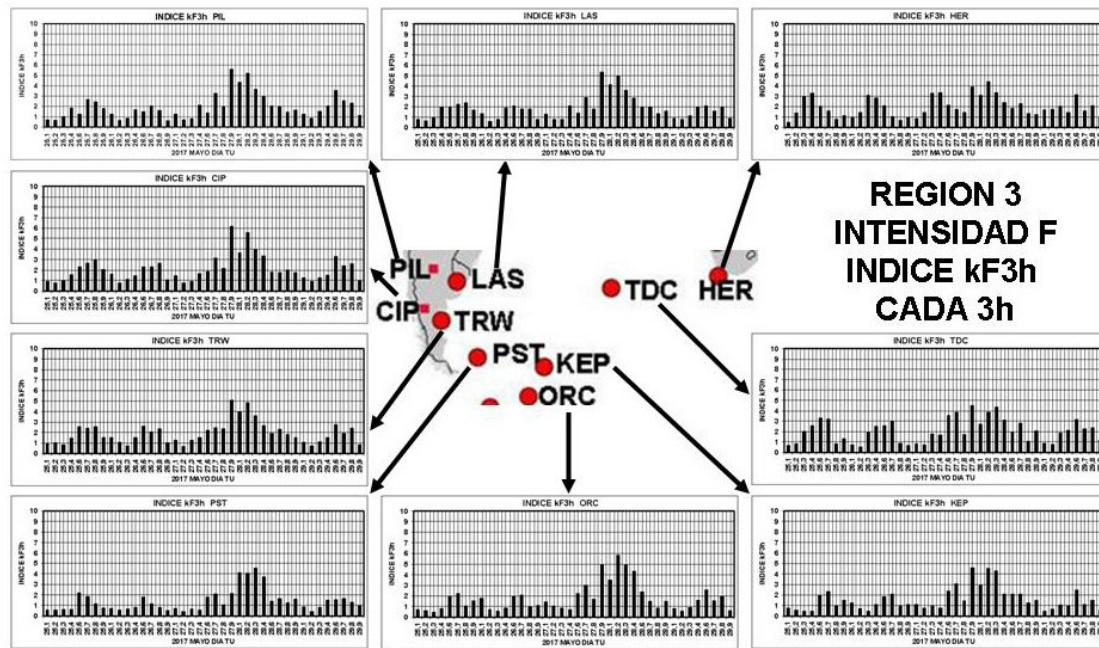


FIGURA 53

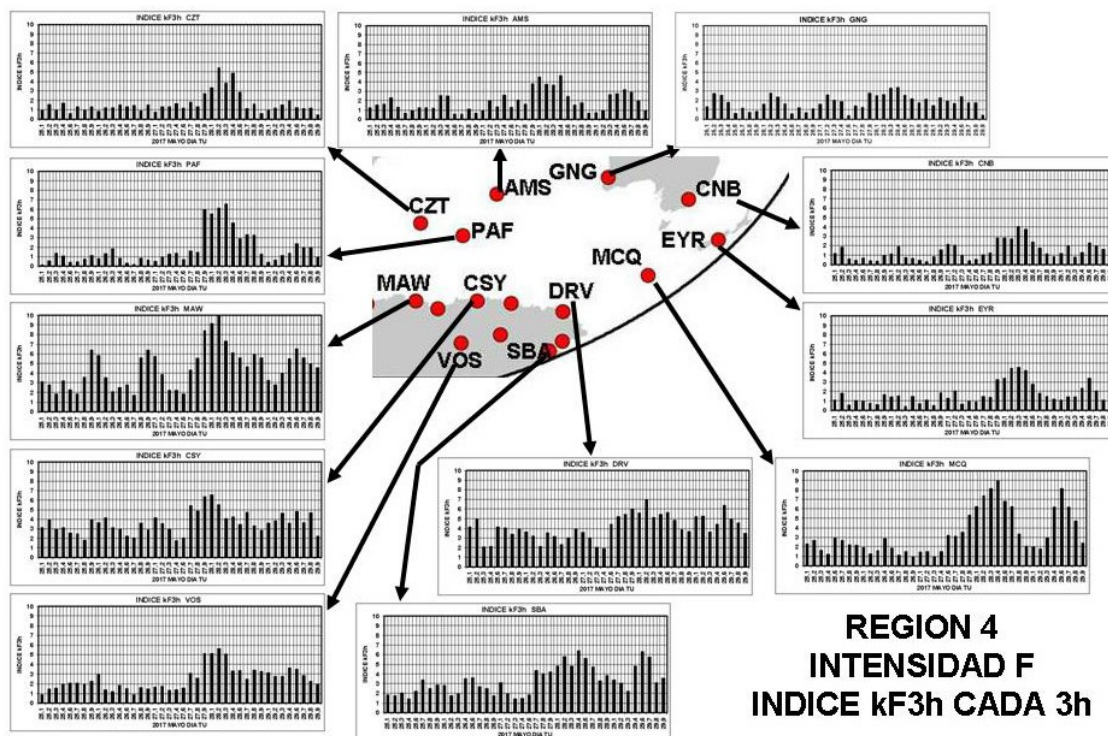


FIGURA 54

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS y DISCUSIÓN. Los resultados muestran que la actividad determinada por este método permite en forma automática instalar un sistema de aplicación directamente sobre las mediciones de cualquier ppm (Proton Precession Magnetometer) y obtener la actividad del índice kF3h. La sensibilidad se observa en la aplicación del método sobre el rango equivalente denominado ap (escala en nT del rango correspondiente a una distribución de OMP con mayor peso en el hemisferio Norte). Para este análisis se calculó la equivalencia del índice kF3h aplicado (Formula 1 con $r=ap$) al rango ap y su comparación con el índice Kp (Figuras 55 y 56). La substracción de la variación diurna ($Sq+L$) en el cálculo del índice Kp y su rango equivalente ap (en nT) queda

evidenciada para los días 25 y 26 seleccionados como Q (quieto), donde los valores de Kp son menores frente a los valores de kF3h (Figuras 55 y 56) concordando aproximadamente solamente en el máximo de la tormenta del día 28 de Mayo de 2017. El problema a discutir es: *las variaciones (Sq+L) que son el efecto del sistema de corrientes ionosféricas (producen también corrientes inducidas) y no son incorporadas al cálculo del rango (ap) de los OMP involucrados para la determinación del Kp. ¿Representa entonces este índice Kp una forma aceptable para usar y determinar el alerta de efectos relacionados con los fenómenos de origen de interacción Sol - Tierra en los objetivos de la Climatología Espacial?*

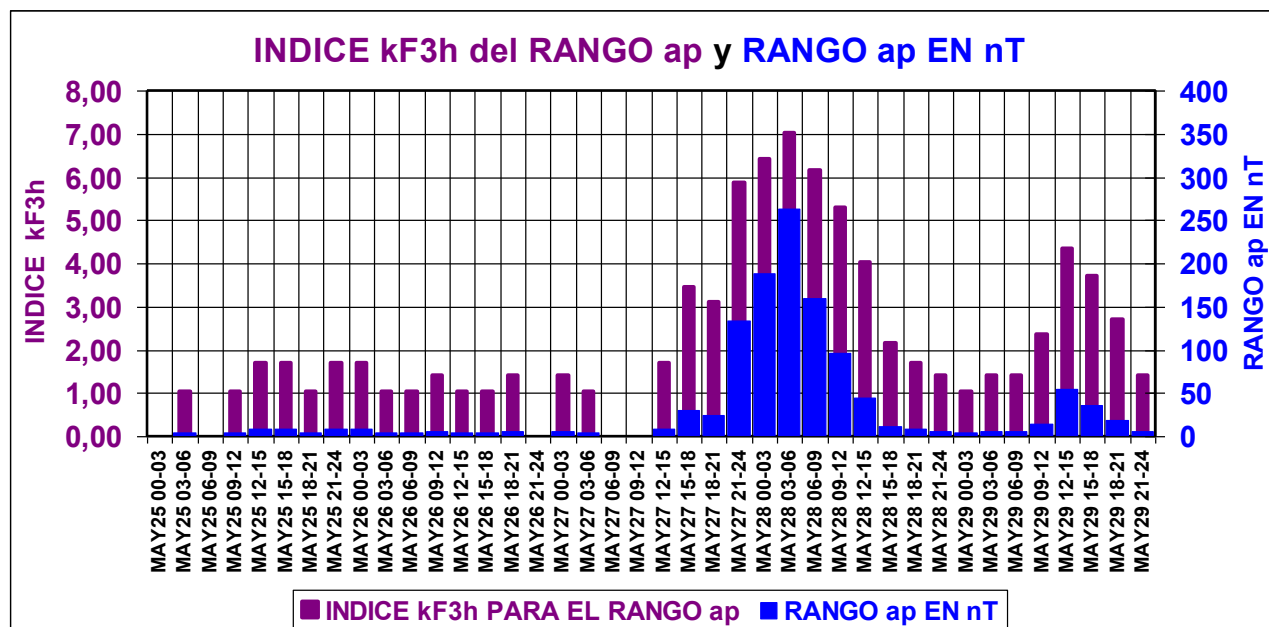


FIGURA 55

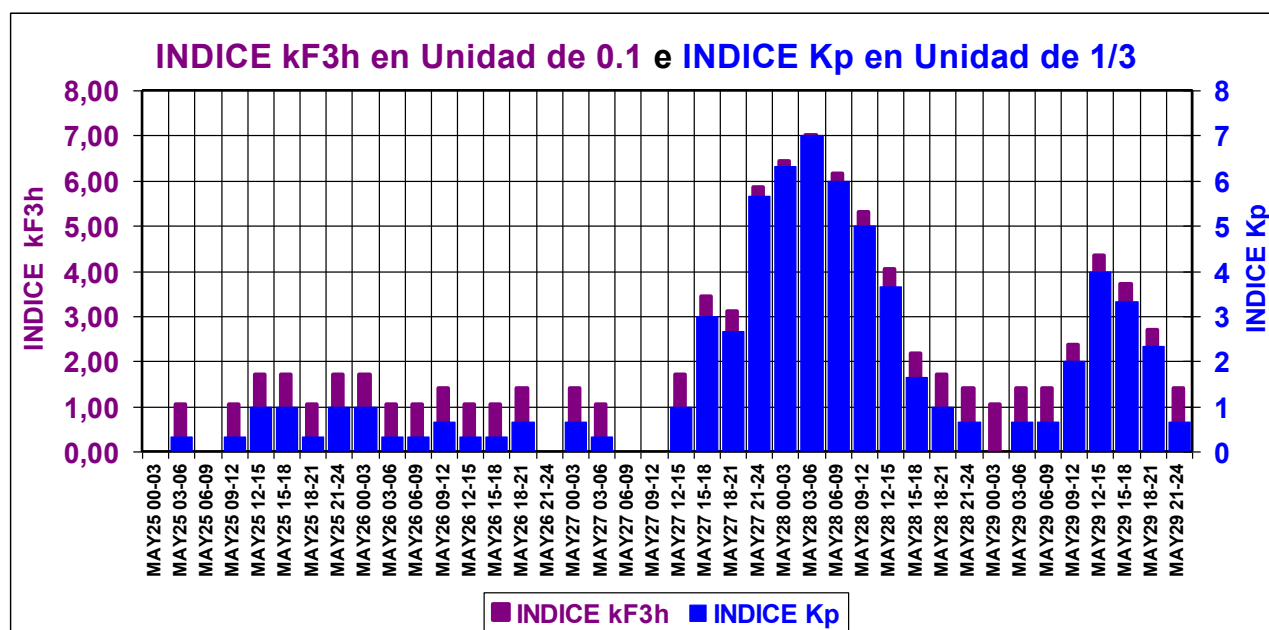


FIGURA 56

Otro de los resultados importantes es la utilización del índice kF3h para la determinación del correspondiente y equivalente índice Kp como muestra la Figura 57 en especial su metodología de cálculo. La Tabla 03 muestra la relación en escala decimal entre el índice kF3h y el índice Kp de tal manera que determinado el índice kF3h se obtiene su equivalente Kp.

La evolución y determinación del índice kF3h trihorario es también aplicable a intervalos de 1 hora o 24 horas y la mas interesante 48 horas ya que este último intervalo es el mas adecuado a obtener las 24hs mas quietas o calmas del mes para el año gregoriano o intervalo de 27 días que corresponde a una rotación solar promedio. El diagrama de flujo de estos cálculos se tiene en la Figura 58.

METODOLOGIA:

1.- GENERACION DE LA SERIE DE RANGOS EQUIVALENTES ap mediante la función

$ap = 4,7313 \cdot \exp(0,5751 \cdot Kp)$ (coef. de corr.=0,9976) para $0.0 \leq Kp \leq 10,0$ a intervalos $\delta=0,1$

2.- Con estos valores se calcula el índice $kF3h$

Mediante la función:

$kF3h = 1,7481 \cdot \ln(ap + 4,87) - 2,767$

3.- Se grafica la relación $Kp=f(kF3h)$

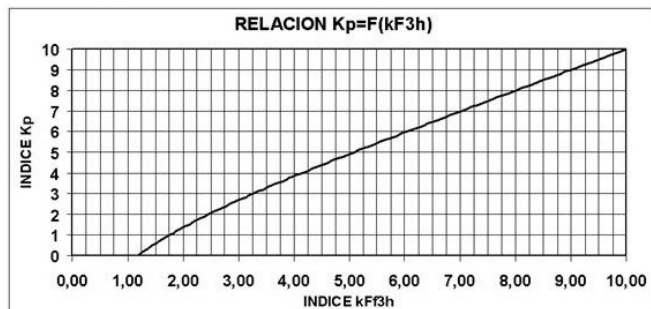


FIGURA 57

EQUIVALENCIAS $Kp \leftrightarrow kF3h$									
kF3h	Kp	kF3h	Kp	kF3h	Kp	kF3h	Kp	kF3h	Kp
1,19	0	2,45	2	4,14	4	6,04	6	8,01	8
1,24	0,1	2,53	2,1	4,23	4,1	6,14	6,1	8,11	8,1
1,29	0,2	2,61	2,2	4,33	4,2	6,23	6,2	8,21	8,2
1,34	0,3	2,69	2,3	4,42	4,3	6,33	6,3	8,31	8,3
1,40	0,4	2,77	2,4	4,51	4,4	6,43	6,4	8,41	8,4
1,45	0,5	2,85	2,5	4,60	4,5	6,53	6,5	8,51	8,5
1,51	0,6	2,93	2,6	4,70	4,6	6,63	6,6	8,61	8,6
1,57	0,7	3,01	2,7	4,79	4,7	6,72	6,7	8,71	8,7
1,63	0,8	3,09	2,8	4,89	4,8	6,82	6,8	8,81	8,8
1,69	0,9	3,18	2,9	4,98	4,9	6,92	6,9	8,91	8,9
1,75	1	3,26	3	5,08	5	7,02	7	9,01	9
1,82	1,1	3,35	3,1	5,17	5,1	7,12	7,1	9,11	9,1
1,88	1,2	3,43	3,2	5,27	5,2	7,22	7,2	9,21	9,2
1,95	1,3	3,52	3,3	5,36	5,3	7,32	7,3	9,31	9,3
2,02	1,4	3,61	3,4	5,46	5,4	7,41	7,4	9,41	9,4
2,09	1,5	3,69	3,5	5,55	5,5	7,51	7,5	9,51	9,5
2,16	1,6	3,78	3,6	5,65	5,6	7,61	7,6	9,61	9,6
2,23	1,7	3,87	3,7	5,75	5,7	7,71	7,7	9,71	9,7
2,30	1,8	3,96	3,8	5,84	5,8	7,81	7,8	9,81	9,8
2,38	1,9	4,05	3,9	5,94	5,9	7,91	7,9	9,91	9,9
2,45	2	4,14	4	6,04	6	8,01	8	10,01	10

TABLA 3

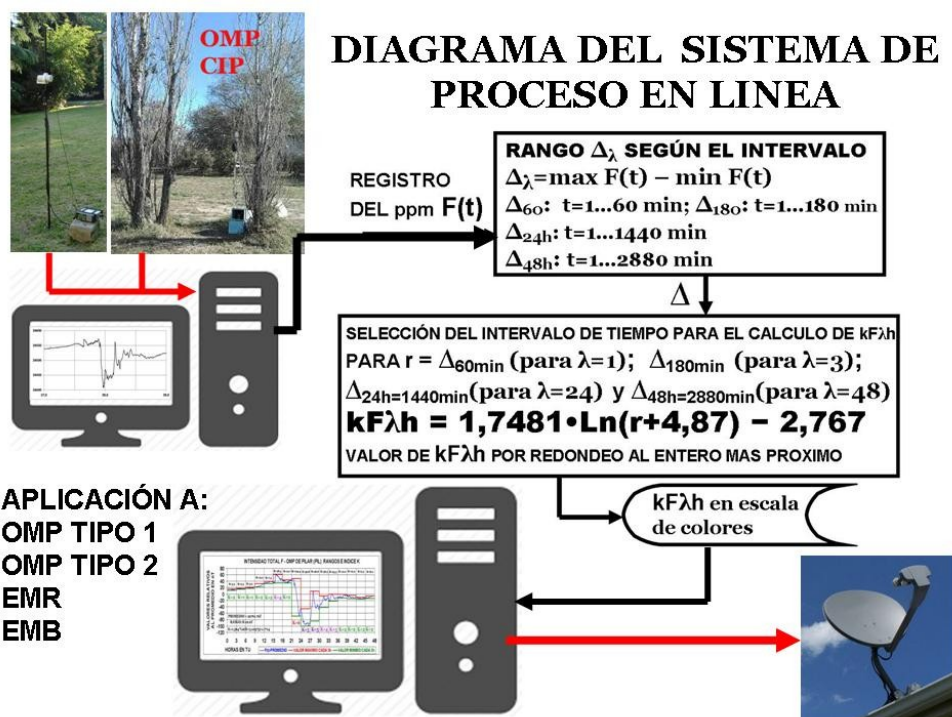


FIGURA 58

El diagrama de la Figura 58 muestra que por medio de la aplicación a la red de Internet se puede brindar un servicio en línea en tiempo real, de la actividad del CMT colaborando con el paradigma desarrollado por el ISGI y la IAGA. La aplicación a los OMP TIPO1 se inscribe en un problema a discutir ya que no todos los OMP de este TIPO 1 poseen dentro de su estructura instrumental un ppm, a diferencia de los OMP TIPO 2, las Estaciones Magnéticas de Repetición (EMR), y las Estaciones Magnéticas Base (EMB), donde el ppm es uno de los instrumentos importantes para la finalidad de estos sistemas y pueden ser usadas a este fin. Cuando se instala una EMB con la finalidad de aplicar la corrección por variación diurna de relevamientos magnéticos, los registros tienen una duración de más de un día, a lo cual la metodología descrita permite determinar el índice $kF3h$ y así estimar el nivel perturbación del CMT en ese sitio. Esta información también es de utilidad para estimar si las CIG son de importancia en el área del relevamiento, en lo referente a cañerías, líneas de alta tensión, y transmisión de señales satelitales, que puedan ser

afectadas. Dentro de otros aspectos a considerar son los factores de error de las mediciones con un ppm caracterizados por la cantidad del líquido del cabezal sensor, la constante de Larmour y la sintonía del sistema electrónico. Para las regiones donde la tendencia de F del CMT esta en disminución a niveles menores a 20.000 nT (Anomalía Magnética del Atlántico Sur: AMAS) se deberá utilizar un ppm de vapor de cesio. Otro de los aspectos a discutir es un análisis de los modelos analíticos y estadísticos que se aplican para la determinación de los índices adoptados por la IAGA, parte de estos análisis comparativos esta presentado en las Figuras 55 a 58 y Tabla 03. Estos resultados también pueden aplicarse a los datos de los OMP1 que se disponen en la base de datos de INTERMAGNET con otros elementos geomagnéticos tales como Z, y H. Los rangos de variación de los elementos geomagnéticos no son similares. La Formula 1 es una relación entre un rango de variación en un intervalo de tiempo ($\lambda h=1h; 3h, 24h$ o $48h$ preferentemente) arbitrario sin estar relacionado a ningún paradigma, siendo su utilidad importante para conocer que actividad es mas sobresaliente en cualquier elemento geomagnético. Como ejemplo se seleccionaron dos OMP1 de cada región, en la 1 (THL y RES), en la 2 (KOU y HUA), en la 3 (PST y KEP) y en la 4 (DRV y VOS) para determinar en los elementos H, Z y F el rango y actividad en el intervalo de 3h, que se presentan en las Figuras 59 (OMP seleccionados) y en las de 60 a 75 los rangos e índices $kH3h$, $kZ3h$ y $kF3h$.

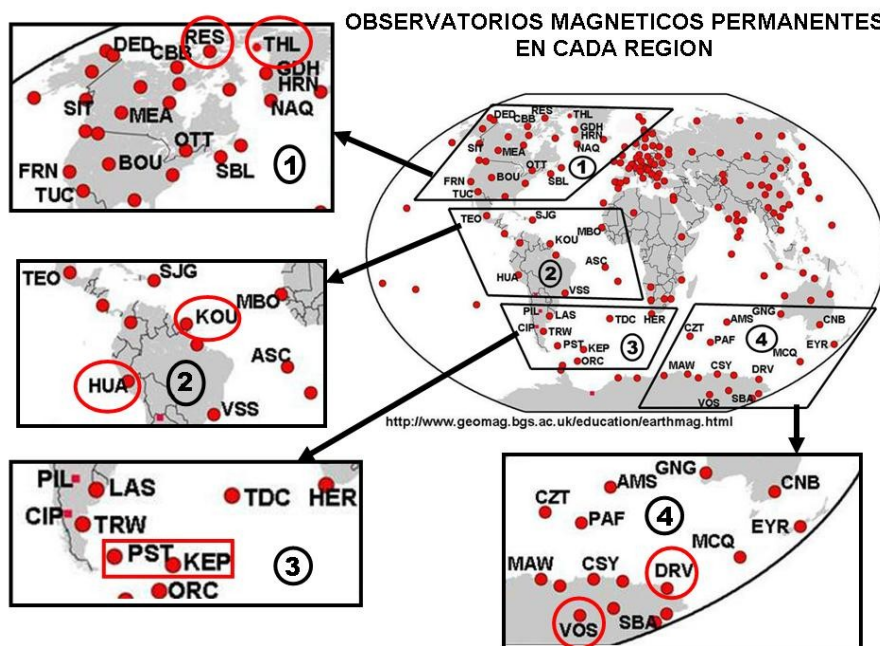


FIGURA 59

REGION 1

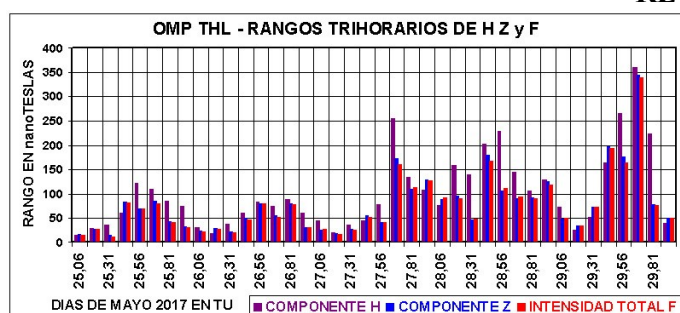


FIGURA 60

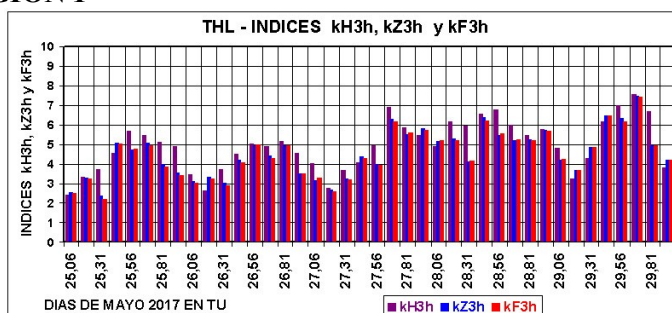


FIGURA 61

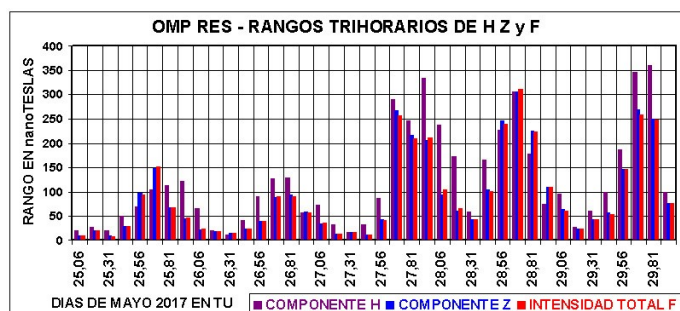


FIGURA 62

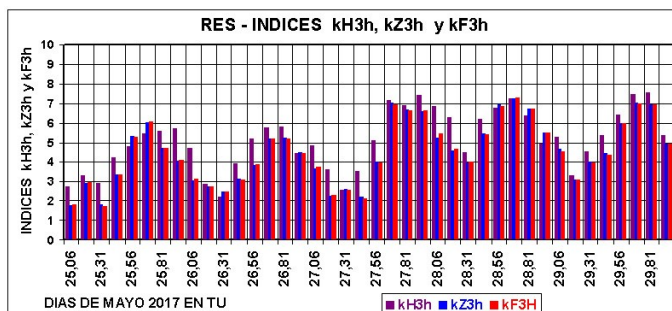


FIGURA 63

REGION 2

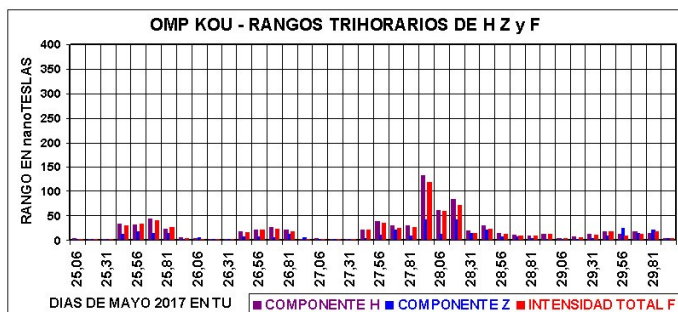


FIGURA 64

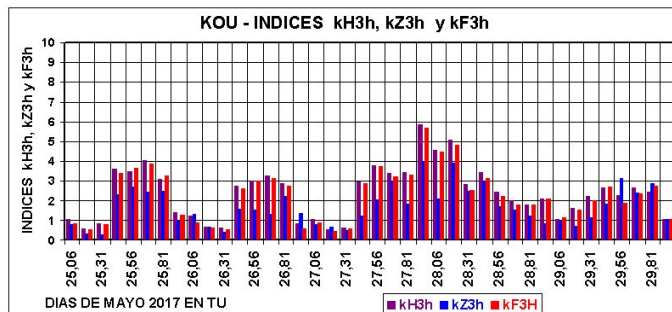


FIGURA 65

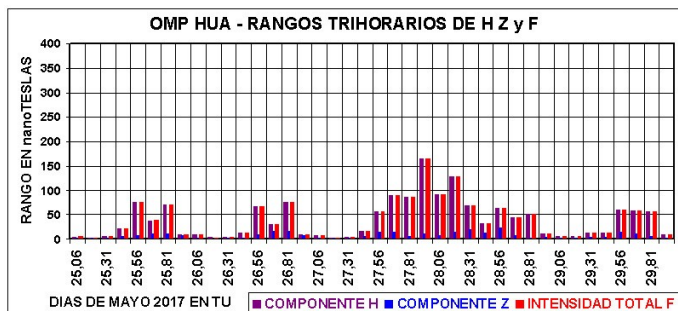


FIGURA 66

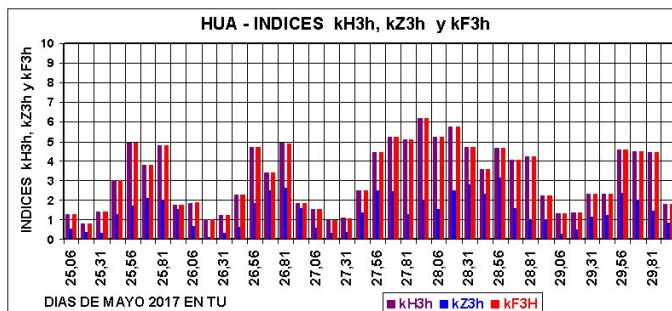


FIGURA 67

REGION 3

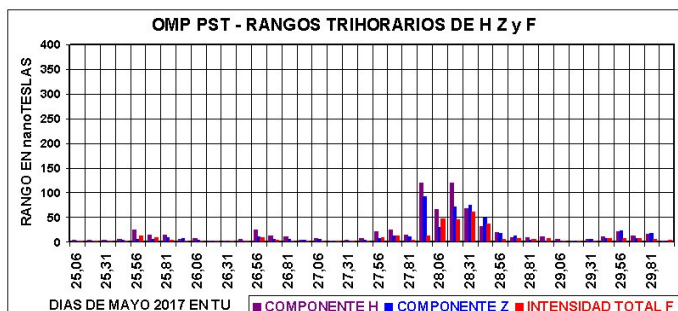


FIGURA 68

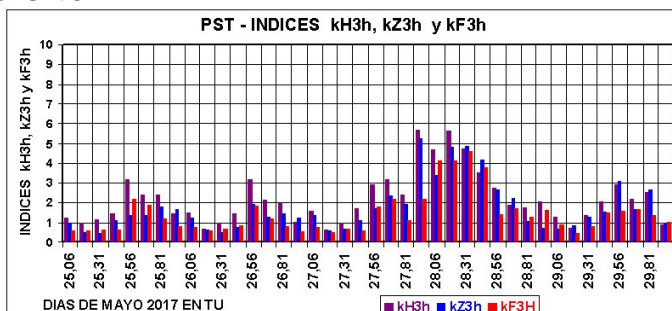


FIGURA 69

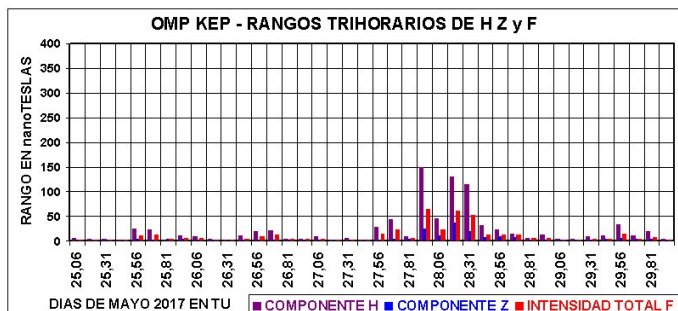


FIGURA 70

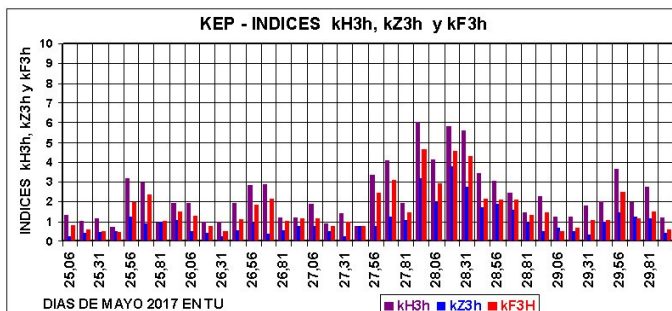


FIGURA 71

REGION 4

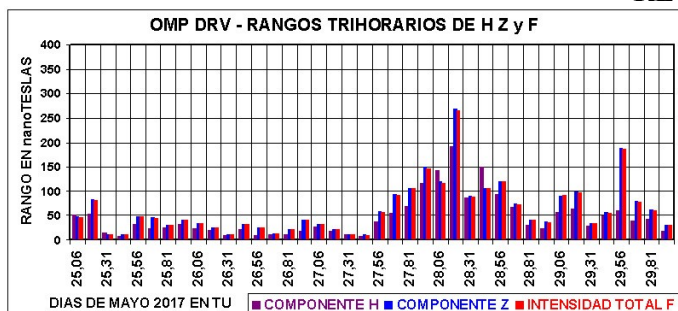


FIGURA 72

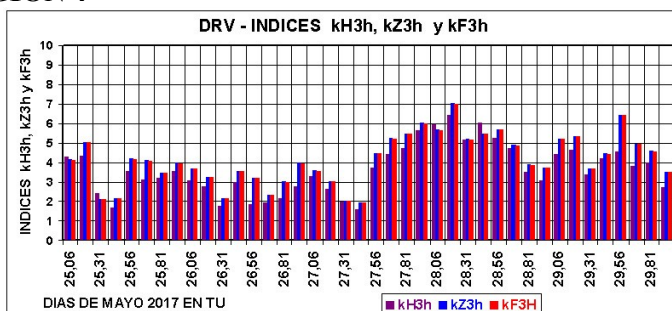


FIGURA 73

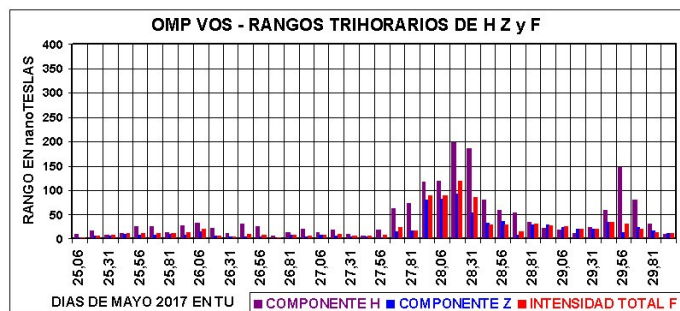


FIGURA 74

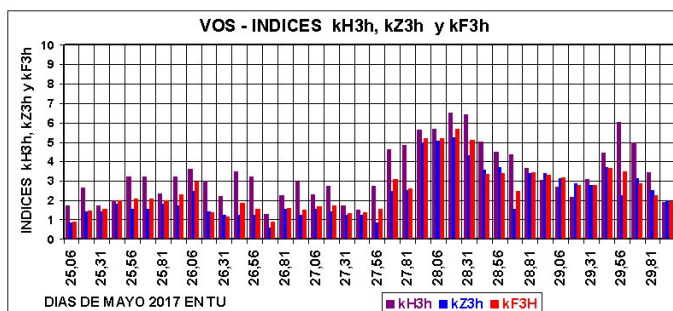


FIGURA 75

Los rangos en escalas similares indican que la actividad depende de la ubicación de los OMP y de los elementos seleccionados para su evaluación. La red de OMP muestra claramente la heterogeneidad de la actividad, inclusive en la región $\pm 60^\circ$ de latitud. El índice determinado por la Formula 1 (miembro seleccionado de una familia de funciones) es otra manera de evaluación y selección de la actividad del CMT, utilizando los valores absolutos de F, y en conjunto con su aplicación a los elementos geomagnéticos H y Z, permiten una selección de intervalos calmos o quietos, regulares y perturbados usando escalas y criterios similares a las utilizadas por la IAGA pero con conceptos y finalidades diferentes. A pesar que los paradigmas utilizados por las instituciones vinculadas a la Climatología Espacial toman la técnica de determinación del índice K con escalas particulares como el OMP de BOU siguiendo una distribución estadística de la calificación para su predicción el índice kF3h es mas sensible.

La discusión se centra ahora en la pregunta **¿Cómo correlacionar los eventos de actividad solar con un índice geomagnético global igualmente evaluado sobre todo el planeta para su predicción y que permita una forma rápida su cálculo?**. Esta correlación es función de las facilidades de la red Internet donde la información de los eventos solares esta en tiempo real. Las fuentes del CMT están acopladas y son en distintas escalas de tiempo y frecuencia, las que se manifiestan en la actividad que el índice en si mismo representa. En la superficie terrestre un ppm determina en forma absoluta los efectos del acoplamiento Sol-Tierra siendo la RADIACION SOLAR interactuante con el CAMPO PROPIO la que genera la cavidad Magnetosférica en la que se producen toda una serie de fenomenológicas que dan origen a las SCE y estas inducen en toda la actividad antropogénica las CIG. Una cuestión se agrega a esta discusión es la mayor factibilidad de usar el instrumental absoluto ppm. A diferencia del sistema de variómetro, el ppm es un instrumental omnidireccional fijo y que solo necesita las coordenadas geocéntricas de Lat. Long y Altura sobre el nivel medio del mar. Esta característica se dispone en todos los OMP, ENR y EMB. En cambio los variómetros que registran las variaciones de los elementos de CMT en forma relativa a un nivel de referencia, dependiendo su valor de observaciones absolutas con un teodolito magnético, control de sitio y valor angular de la dirección a una marca o mira de acimut geográfico previamente determinado. El aspecto de costo de instalación de un OMP TIPO 1 es notablemente mucho mayor que el de uno de TIPO 2 y es otra razón de análisis de la temática de LA POLITICA CIENTIFICA FRANTE A LOS PROYECTOS FACTIBLES DE REALIZACION. Las redes constituidas solamente por variómetros de registro de (δX , δY , δZ) es otra alternativa pero no aporta información para el conocimiento del campo propio, su variación secular y su costo es mayor que la instalación de un ppm.

AMPLITUD DE LOS RANGOS TRIHORARIOS E INDICE kF3h: SU DISTRIBUCION COLATITUDINAL.

Otro item importante a discutir sobre los resultados obtenidos, en los días de análisis elegidos de cada OMP, es la observación de las amplitudes de los rangos de F para cada día en particular. Las propiedades de estos 5 días elegidos residen en que los días 25 y 26 de mayo de 2017 son quietos (días Q para la IAGA) mientras que el día 28 de mayo de 2017 es perturbado (día D para la IAGA), quedando los días 27 y 29 de mayo de 2017 como días regulares. Este criterio de clasificación esta basado en el índice Kp, como ya se mencionó con una distribución irregular de OMP (ver Figuras 12 y 37). En las Figuras 76 a 86 se presentan la evolución de la amplitud del rango y su correspondiente índice kF3h en función de la colatitud de los OMP. En cada colatitud correspondiente al OMP seleccionado (ver Tabla 02) se grafica con un punto el valor de cada rango en nT y del índice kF3h calculados cada 3hs en forma encolumnada.

GRAFICOS DE RANGOS CADA 3h

GRAFICOS DEL INDICE kF3h

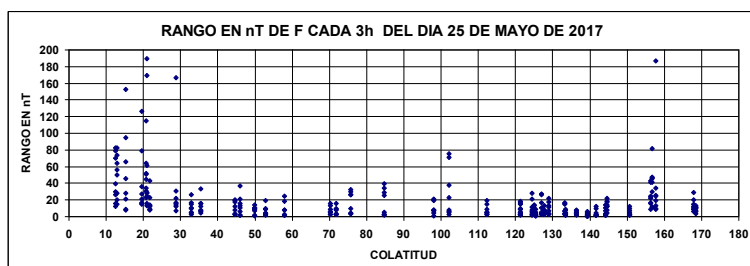


FIGURA 76

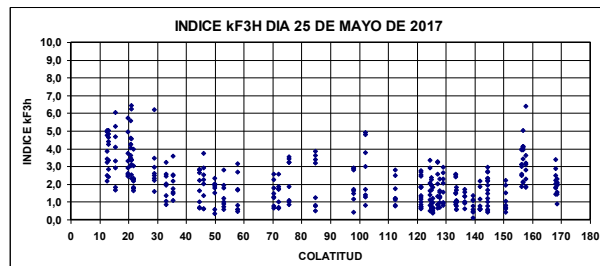


FIGURA 77

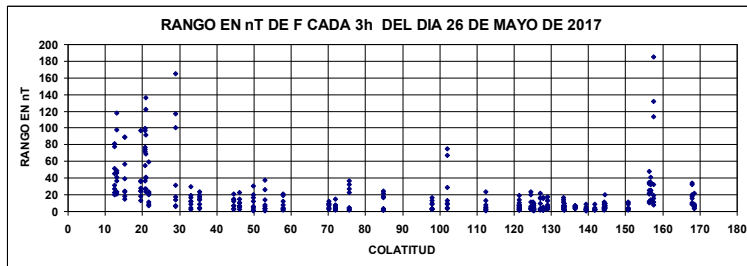


FIGURA 78

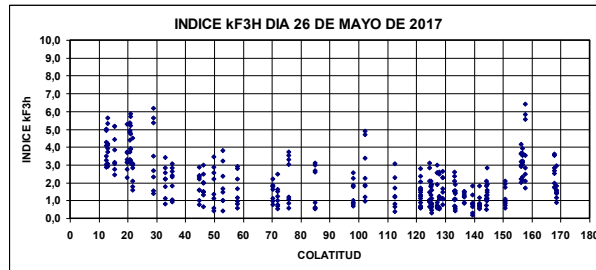


FIGURA 79

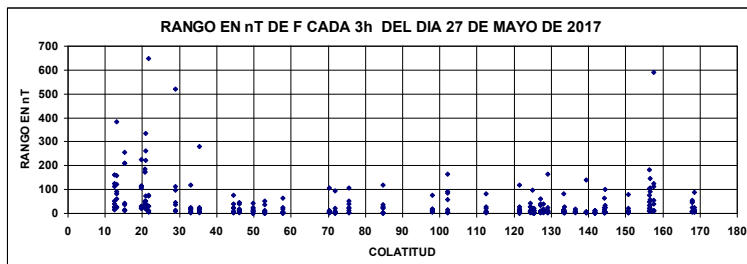


FIGURA 80

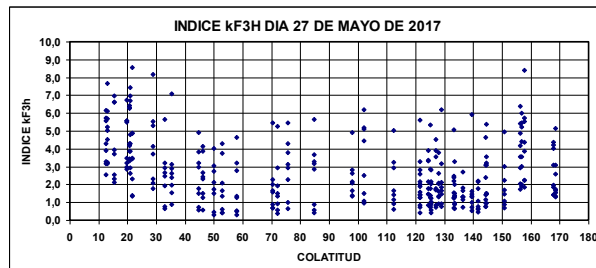


FIGURA 81

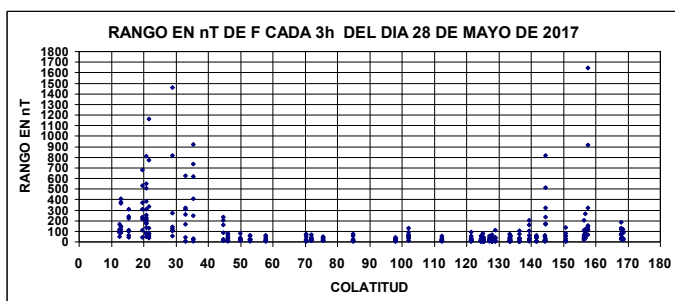


FIGURA 82

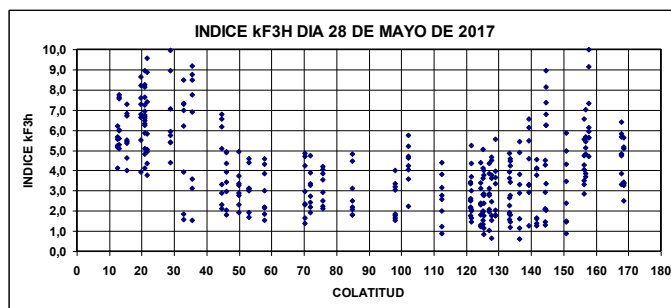


FIGURA 83

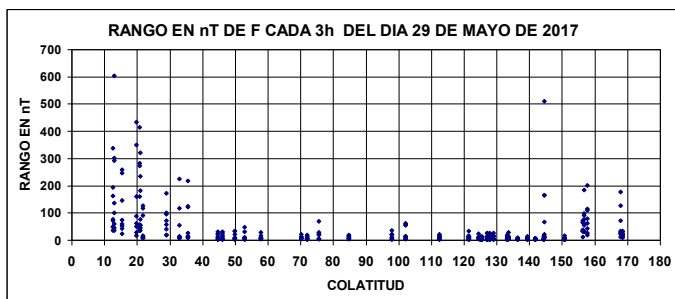


FIGURA 84

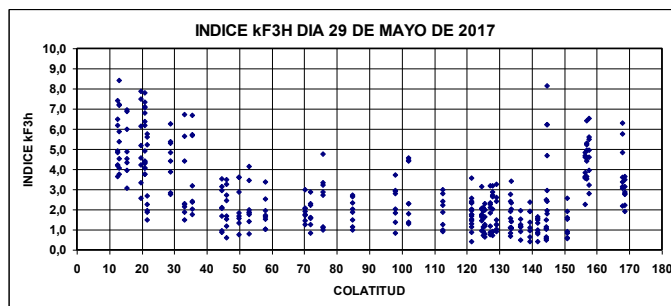


FIGURA 85

Estos resultados son una muestra de la posibilidad de una selección de la característica de los días por medio del índice kF3h y el rango, indicando que la actividad tiene diferenciaciones notables en cada OMP. Las zonas comprendidas entre 0° a 30° y entre 151° a 180° la actividad es diferente y esta en relación con la característica del campo magnético principal del CMT mostrado en la Figura 8, donde el valor de F es del orden de 60.000nT en la gran región del polo norte en contraposición del valor de 69.000nT en la región del polo sur. La actividad en estas calotas norte y sur muestran que pueden ser evaluadas, comparadas y clasificadas por medio de este índice kF3h, como también el efecto de la actividad del electrochorro ecuatorial en los OMP de HUA, KOU y MBO hacia el norte y en los OMP de HER y TDC al sur. La comparación de los rangos e índice kF3h para clasificar los días como calmos, regulares y perturbados es inmediata. El siguiente criterio de evaluación para cada intervalo de 3 horas en cada OMP como $0 \leq kF3h \leq 4$ baja actividad; $4 < kF3h \leq 6$ actividad de alerta; $6 < kF3h \leq 8$ actividad perturbada y con $kF3h > 8$ como actividad muy perturbada es también inmediata como el criterio desarrollado por el OMP de BOU. Esta clasificación es de importancia para estimar los efectos de las CIG y determinar sus efectos sobre la actividad antropogénica.

CONCLUSION. De la información provista por los OMP TIPO 1 y TIPO 2 en la bases de datos disponibles, como INTERMAGNET y de los diferentes formas de calculo de los índices geomagnéticos disponibles (ISGI) permiten un análisis y propuesta de nuevos índices. Una propuesta ya probada se presenta un índice global utilizando la intensidad total F del CMT: kF3h. También es de suma importancia la comparación de los rangos para la finalidad de correlacionar con las mediciones de las CIG cuestión esta que no se observan en los índices del ISGI. Se concluye también, que mediante un ppm, es posible evaluar en tiempo real la evolución de F y de su índice asociado cada 3 horas: kF3h, y la actividad del CMT tanto local como global. Su correlación con los eventos solares se puede establecer mediante la información de la sonda SOHO en línea y con la página SPACE WEATHER.COM y sus otras paginas de enlace. De esta manera se tiene un mensaje de alerta sobre CIG. La determinación del índice kF3h pone en claro que la selección de los índices expuestos por el ISGI, para la evaluación de la actividad del CMT del geosistema, no permite realizarlo en forma global, disponiéndose como alternativa de este índice kF3h de fácil cálculo y otros similares tal como el P1F para la determinación de la días calmos.

Ver la página donde se demuestra la inadecuada clasificación de los días Q según la IAGA utilizando el índice P1F:

<http://www.conexion-sol->

[tierra.com/files/TRABAJOS/GIANIBELLILA%20ACTIVIDAD%20DEL%20CAMPO%20MAGNETICO%20TERR ESTRE.pdf](http://www.conexion-sol-tierra.com/files/TRABAJOS/GIANIBELLILA%20ACTIVIDAD%20DEL%20CAMPO%20MAGNETICO%20TERR ESTRE.pdf)

La implementación descrita en la Figura 58, es factible tanto en los OMP TIPO 1 y 2, EMR y EMB. Los resultados y la metodología expuesta son una herramienta para definir que condiciones del CMT deben ser calmas en las regiones de las calotas polares con las no polares. Como restantes estudios la evaluación de la aplicación de esta metodología sobre rangos de F de 1 hora, 24 horas y de 48 horas es de suma importancia.

Se deja anotado que la sigla IGRF (Internatioal Geomagnetic Reference Field) tiene su equivalente en castellano como CIGR (Campo Internacional Geomagnetico de Referencia) o MIGR (Modelo Internacional Geomagnético de Referencia)

JULIO CÉSAR GIANIBELLI

21 de agosto de 2017