

# RANGO Y ESCALA PARA LA ACTIVIDAD GEOMAGNETICA

Julio César Gianibelli

Servicio Meteorológico Nacional, SMN

Fac. de Cs. Astronómicas y Geofísicas, UNLP.

[geofisicogianibelli@yahoo.com.ar](mailto:geofisicogianibelli@yahoo.com.ar)

**INTRODUCCION:** Un índice de actividad de un sistema representa, en alguna escala de referencia, y en una unidad adecuada (si fuera necesario), 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, ap-Kp, Dst, PCN, PCS, AE, AU, AL, AO, AC, ASY, SYM, a $\sigma$ , y listado de Días Q (días quietos), Días D (días perturbados) y Días CK (días calmos) descritos 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. El objetivo de este trabajo reside en utilizar un elemento geomagnético de registro rápido, de valores sin singularidades sobre todo el planeta y que involucre todas las fuentes de generación del Campo Magnético Terrestre (CMT). A este respecto la Intensidad Total F del CMT es la adecuada, con escalas similares a las utilizadas en latitudes ( $\pm 70^\circ$  de latitud), pero con una misma función de transferencia en intervalos de 1h, 3h, 24h y 48h para poder y con cobertura en todo el planeta. De esta manera es posible comparar la actividad en cada uno de los Observatorios Magnéticos Permanentes (OMP). El aporte del modelo IGRF (International Geomagnetic Reference Field) permite identificar los tres aportes principales, Campo Propio, Campo Externo y Campo Inducido y sus porcentajes relativos (Figura 1).

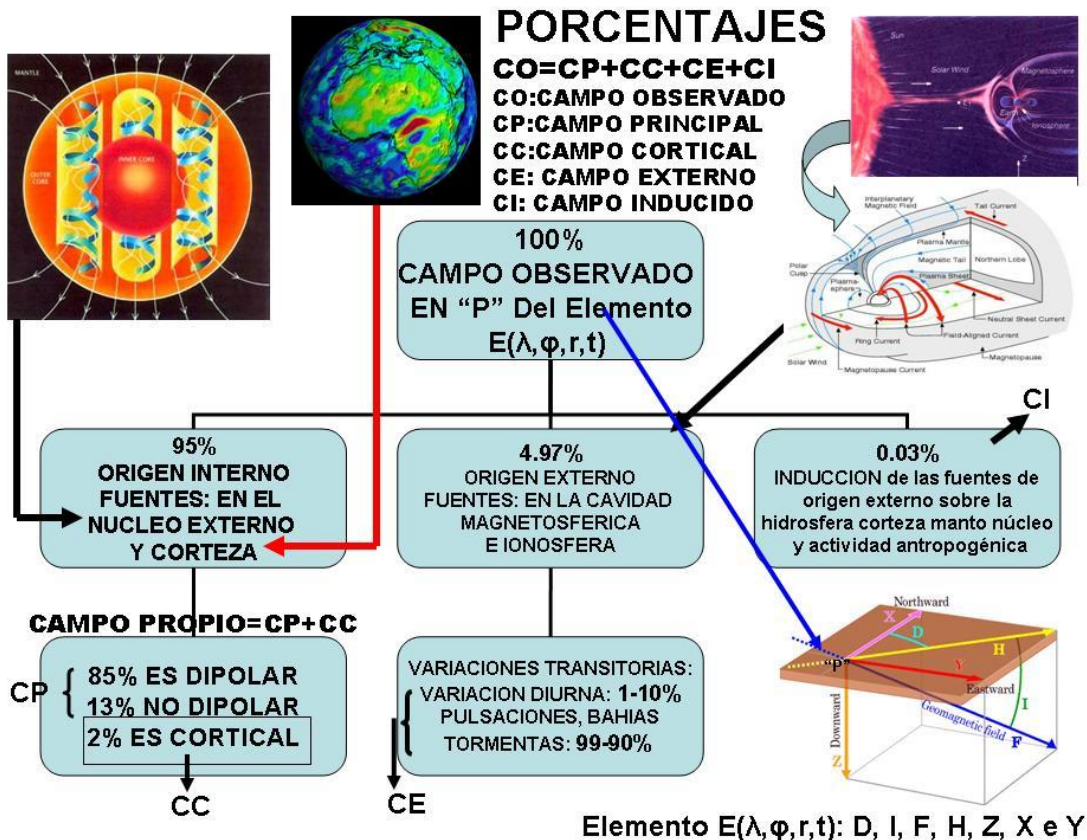


FIGURA 1

**ESCALAS DE INDICES.** Las escalas de calificación disponibles están dedicadas a intervalos de 3h, con una distribución de OMP desequilibradas y tratando de homogeneizar la actividad del CMT, referente a un hipotético modelo de CMT dipolar. Los índices ap, aa y am con escalas están referidas al rango de los registros de la componente horizontal H en un intervalo de 3h dado por  $r=\max(H(t))-\min(H(t))$ . Este rango no es aplicable en las regiones de las calotas polares donde H tiene valores tendientes a cero en su magnitud. En estas regiones de los polos magnéticos la magnitud de Z tiende a F mientras que en la

región ecuatorial  $H=F$  no existiendo ningún OMP de estas regiones, en la evaluación de los índices mencionados. Las Figura 2 muestra la red de OMP de la RRAA, sus definiciones y propiedades y las Figuras 3, 4 y 5 la red de OMP que se usan para la determinación de los índices  $ap$ ,  $aa$  y  $am$  que identifican un rango equivalente al índice K diferente entre si.  
(NOTESE que se ha nombrado al índice  $am$  como  $apm$  por su analogía con su índice Kpm).



FIGURA 2

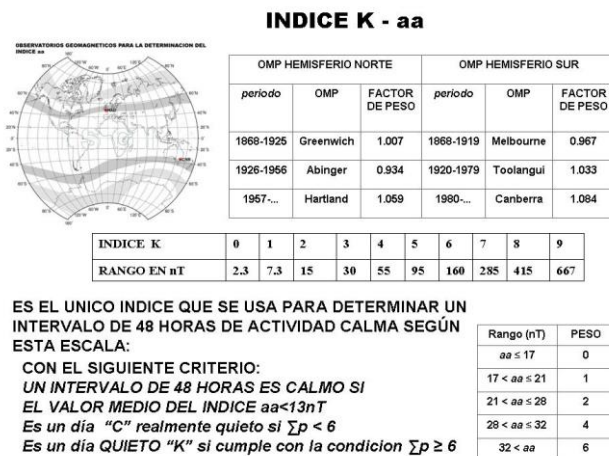
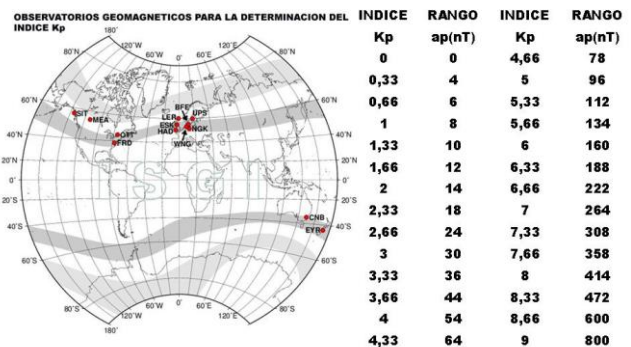


FIGURA 4

El índice Kp y su equivalente ap (rango en nT, Figura 3) esta determinado por un conjunto de OMP, distribuido irregularmente sobre la Tierra mientras que el índice Kpm y su equivalente apm (rango en nT, Figura 4) tiene una distribución sobre la región sub-polar mejor que el Kp pero omite la región ecuatorial donde reside el efecto del Electrochorro Ecuatorial (EEJ: Equatorial Electro-Jet, Figura 6 y 7).

### 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 3

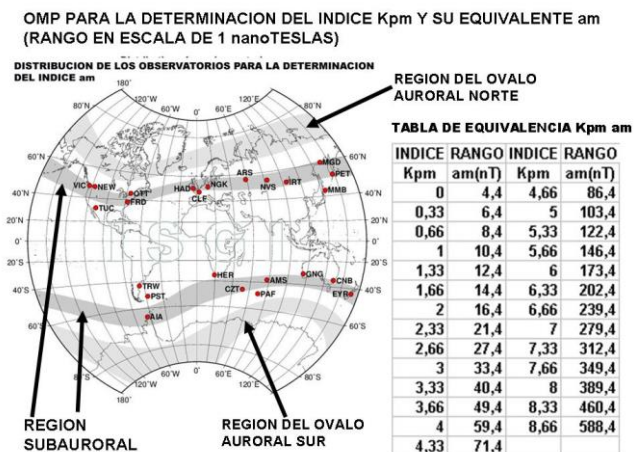


FIGURA 5

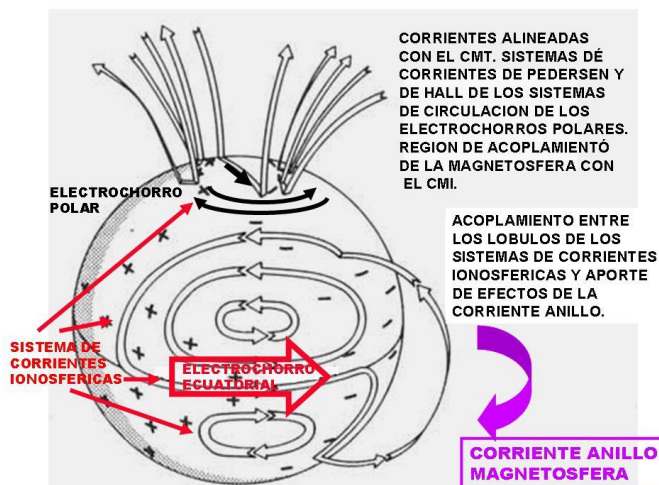


FIGURA 6

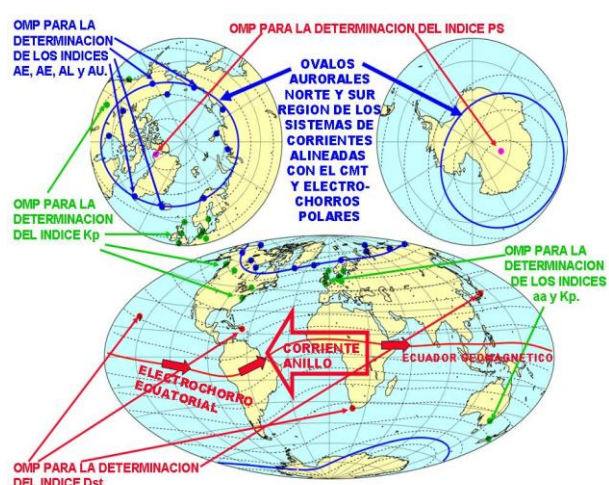


FIGURA 7



El índice aa es el que su serie de tiempo se extiende desde 1868 hasta el presente (Figura 4) y es el único que presenta una forma de determinación de un intervalo de 48Hs en TU, calmo totalmente diferenciado a la selección de los días Q dados por la IAGA (International Asociation of Geomagnetism and Aeronomy). Ver las siguientes referencias: [http://isgi.unistra.fr/geomagnetic\\_indices.php](http://isgi.unistra.fr/geomagnetic_indices.php) y <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>. Las escalas expuestas están basadas en formulaciones cuasi logarítmicas con estimaciones de los rangos de características que no tienen una relación directa con estas formulaciones.

**DISEÑO DE LA NUEVA ESCALA.** Se parte de las escalas de relación K-aa, Kp-ap y Kpm-am mediante tres ajustes por funciones exponenciales de los datos mostrados en la Figura 8.

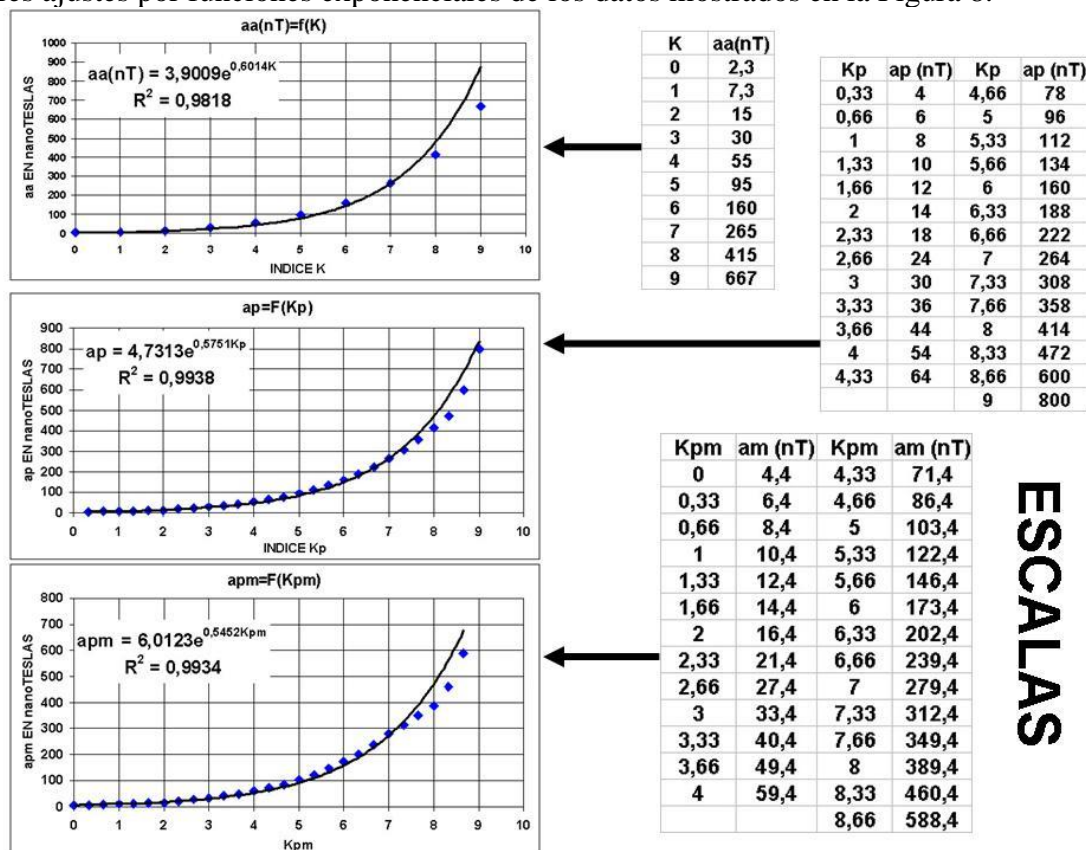
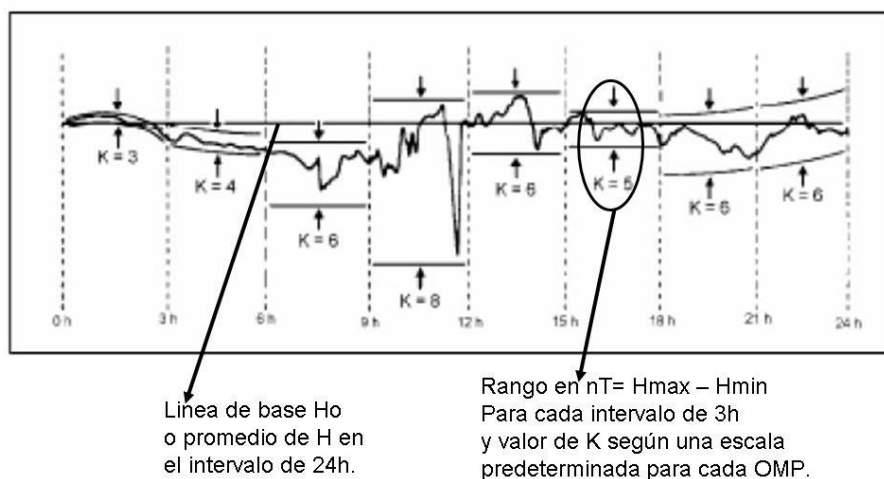


FIGURA 8

La Figura 9 muestra la manera de cálculo del rango r en un magnetograma analógico clásico.

MAGNETOGRAMA de H de un OMP



EN UN MAGNETOGRAMA ANALOGICO (por ejemplo el de H)  
 Valor absoluto de  $H(t)$ = Valor de la línea de base  $H_0$  +  
 desvío en mm de la curva respecto de la línea de base x Valor de escala nT/mm.  
 Para la determinación del Rango no es necesario conocer  $H_0$ .

FIGURA 9

A partir de estas funciones se generan los rangos en nT para una escala de K comprendida entre 0.1 y 9.0 mostrada en la Figura 10. Se promedia las escalas de los índices equivalentes para obtener una escala de a-K a la que se le ajusta una función logarítmica dada por siguiente Formula 1 que representa esencialmente una familia de funciones:

$$K = \alpha \cdot \ln(\text{rango} + \beta) + \delta \quad \text{con } \beta \geq \exp(-\delta/\alpha)$$

FORMULA 1

De esta manera se tiene una relación entre las determinaciones de los rangos (r) y el cálculo del índice K para cualquier OMP de sus elementos F, H, Z, X, e Y, distribuidos en el planeta y en particular los OMP del TIPO 2 tales como los de LAS, CIP y BGB de la RRAA. Un caso particular de este método es su aplicación en forma inmediata en los OMP (Tipo 1 y 2), en las Estaciones Magnéticas Base (EMB) de registro de F y variaciones de X, Y, y Z y en las Estaciones Magnéticas de Repetición (EMR), donde se registra durante 24 o 48 hs, en forma continua F con un Magnetómetro de Presesión Protónica (ppm). La definición genérica del rango r y su estimación respecto de la escala k se muestra en la Figura 9, siendo el rango r, para un registro digital, la amplitud en nT en un intervalo de tiempo seleccionado: 1h, 3h, 24h o 48h.

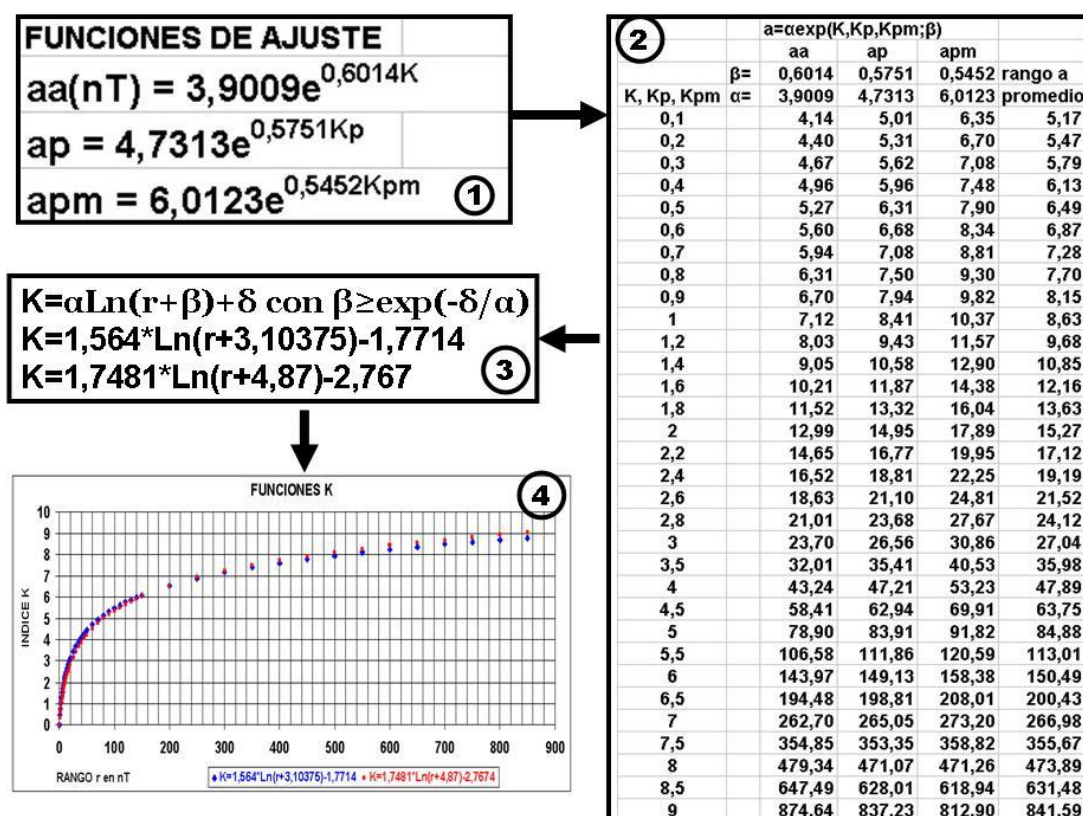


FIGURA 10

La figura 10 muestra la secuencia de cálculo y las 2 formulas obtenidas a partir de la familia de funciones dadas por la Formula 1. La primera  $K = 1,564 \cdot \ln(r + 3,10375) - 1,7714$  fue a partir de la los datos (Kpm, am) y la segunda  $K = 1,7481 \cdot \ln(r + 4,87) - 2,7674$  se determinó a partir del los valores comunes (K-Kp-Kpm, rango a promedio). El resultado mas importante es la similaridad de las curvas cuya diferencia del índice K calculado en decimales no supera a 0.5 en valor absoluto Figura 11 y las escalas de K de las Figuras 12 y 13. Otro aspecto importante es la evaluación del término  $\beta = \exp(-\delta/\alpha)$  para asegurar que  $\ln(r + \beta)$  cuando r es cero no presente singularidad. Estas funciones para evaluar los índices K adimensionales, tiene la propiedad de que la variabilidad de todos los sistemas productores del CMT registrado en punto determinado de la Tierra son comparables tanto en magnitud como en tiempo y espacio. La adopción de una función en particular es fundamental para ser aplicada a los registros en

línea y en particular de F. Un ejemplo es la aplicación a la intensidad F del OMP de Pilar, (PIL) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) (Figura 13), donde se calculo la actividad usando F en intervalos trihorarios.

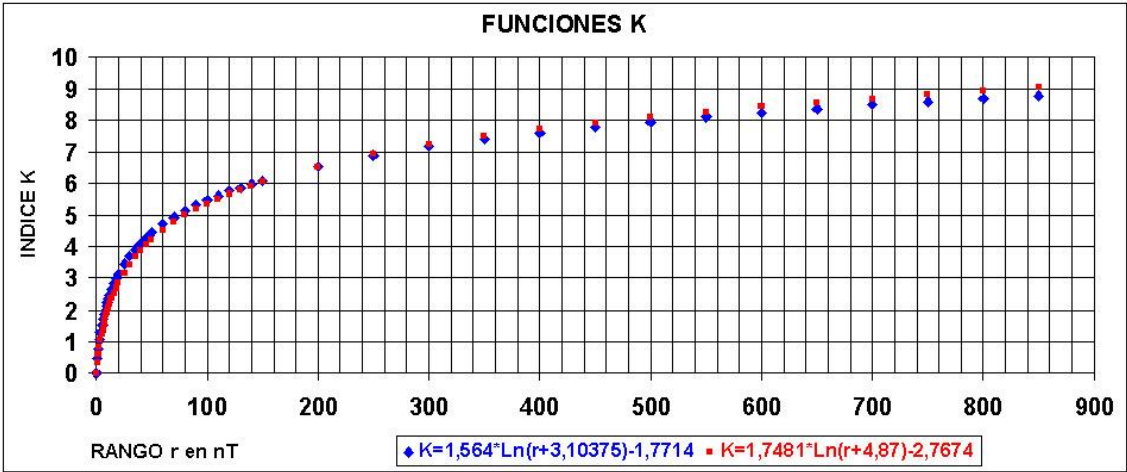
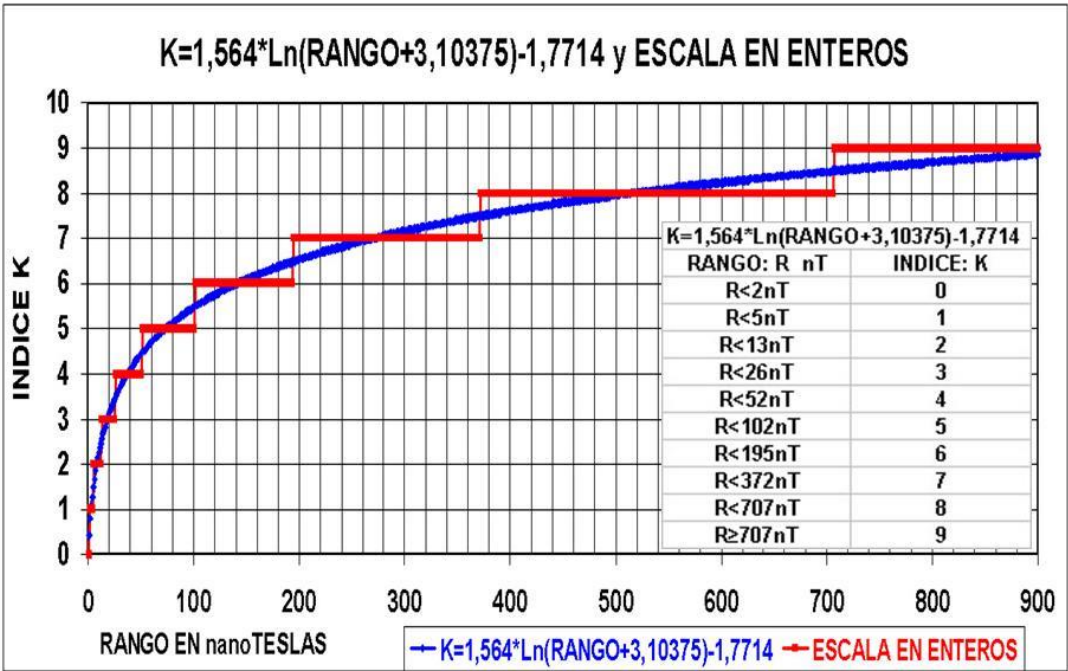


FIGURA 11



$$K=\alpha.Ln(rango+\beta)+\delta \text{ con } \beta\geq exp(-\delta/\alpha)$$

FIGURA 12

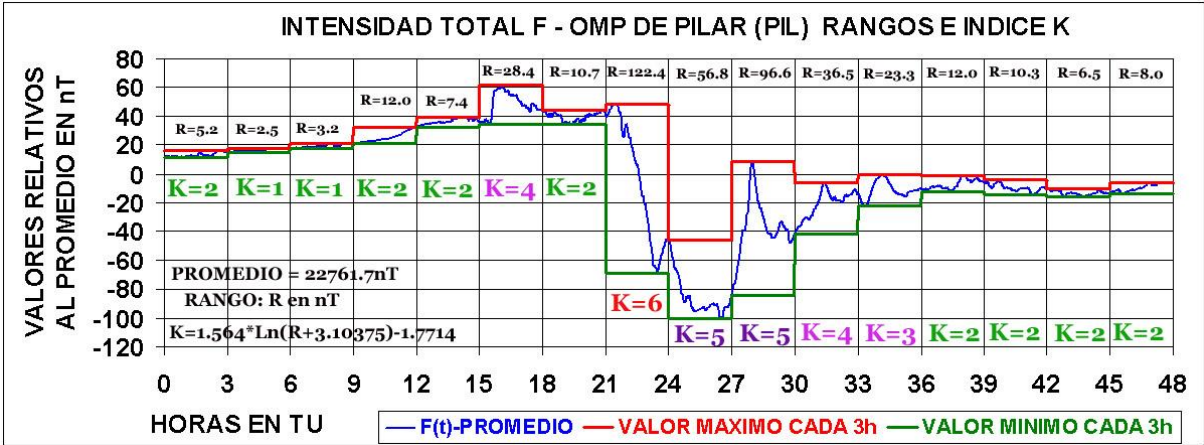


FIGURA 13



El diagrama de flujo para el cálculo de K esta descrito en la Figura 14 siguiente:

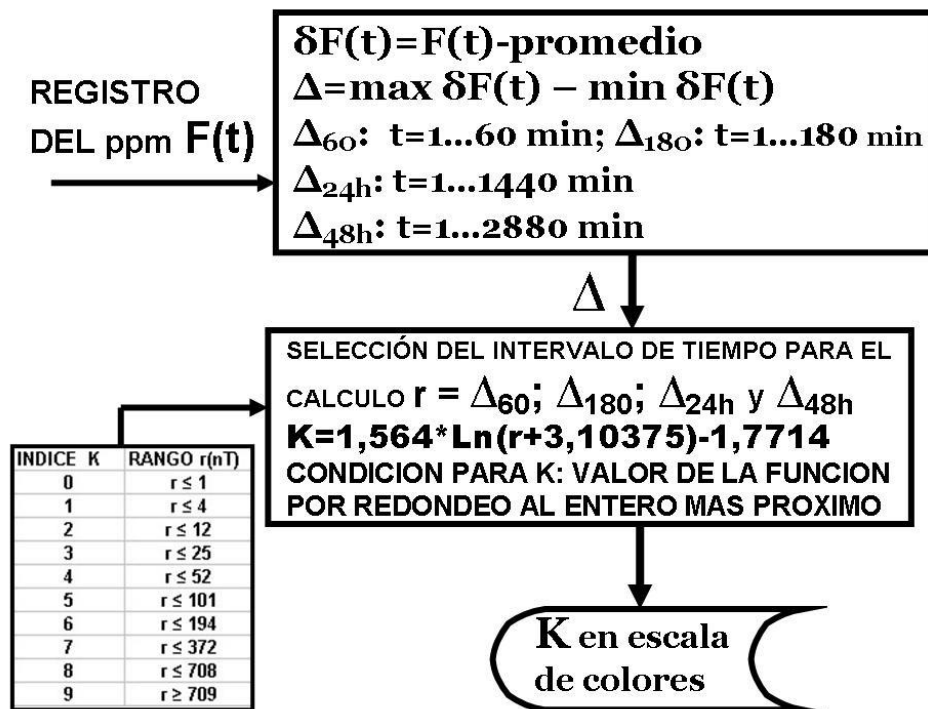


FIGURA 14

La Figura 15 muestra el diagrama de flujo utilizándose la formula  **$K = 1,564 * \ln(r+3.10375) - 1.7714$**  para los rangos **r** cada 60min, que se disponen desde 1991, para cada uno de los OMP de la red INTERMAGNET, cuya url se presenta.



FIGURA 15

**DIAS Q y DIAS CALMOS.** Los años 2007 al 2009 fue el intervalo entre los ciclos solares 23 y 24 de una actividad solar minima donde gran cantidad de días quietos Q (5 días por mes) y calmos permitieron evaluar su rango  $r$  (horario) de actividad de las variaciones quietas y calmas registradas por los OMP TIPO 1 y 2. El índice K denominado desde ahora  $fK1h$ , utilizando las formulas de calculo para comparar los efectos de la actividad de los SCE (Sistemas de Corrientes Equivalentes residentes en la cavidad Magnetosférica, su Magnetopausa y su Ionósfera) en cualquiera de los OMP de la red INTERMAGNET y así relacionar con los valores del índice trihorario  $ap$ . Este trabajo esta en desarrollo. Un resultado preliminar esta dado en la evaluación de las variaciones ( $Sq+L$ ) en el OMP de TRW (Figura 16) utilizando el número estacional de Bartels. Puede observarse claramente la modulación semianual.

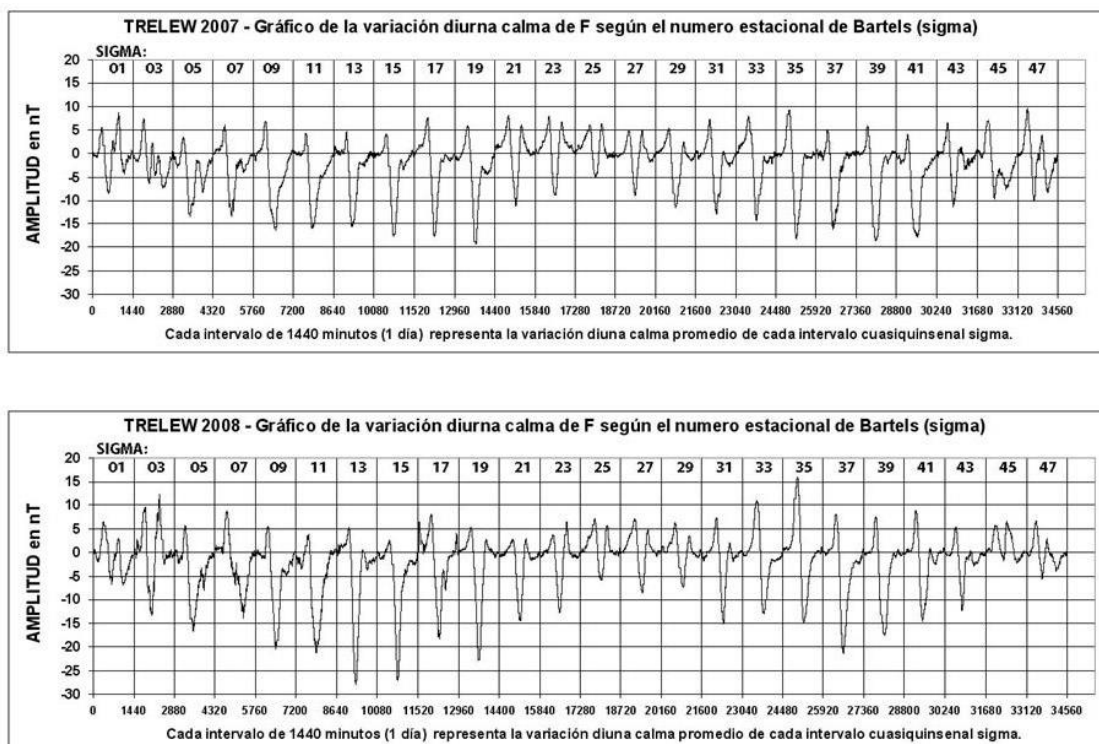


FIGURA 16

Diversas formas se han desarrollado para la distinción y calificación de los días en QUIETOS REGULARES y PERTURBADOS, pero la observación directa de los magnetogramas analógicos y los digitales han permitido la conclusión que es necesario ampliar el intervalo diario a 48 hs. Los OMP cuasi antipódicos de Hartland (HRT) y Canberra (CNB) respecto del modelo IGRF del CMT y en especial su aproximación dipolar por medio de los índices ( $K,aa$ ) (ver Figura 4), proponen una forma de calificar los intervalos de 48hs (2días en TU) como quietos o calmos. De esta manera y teniendo un calculo de  $fK1h$  es posible comprobar adecuadamente cual seria la evaluación y limites del rango  $aa$  en nT y su  $fK1h$ , en una escala decimal para un nuevo criterio para su selección.

**EL INDICE  $kF3h$ .** Se determinó el índice  $kF3h$  en los OMP de PIL, LAS, CIP, TRW, y ORC, cuya ubicación geográfica se muestra en la Figura 17.

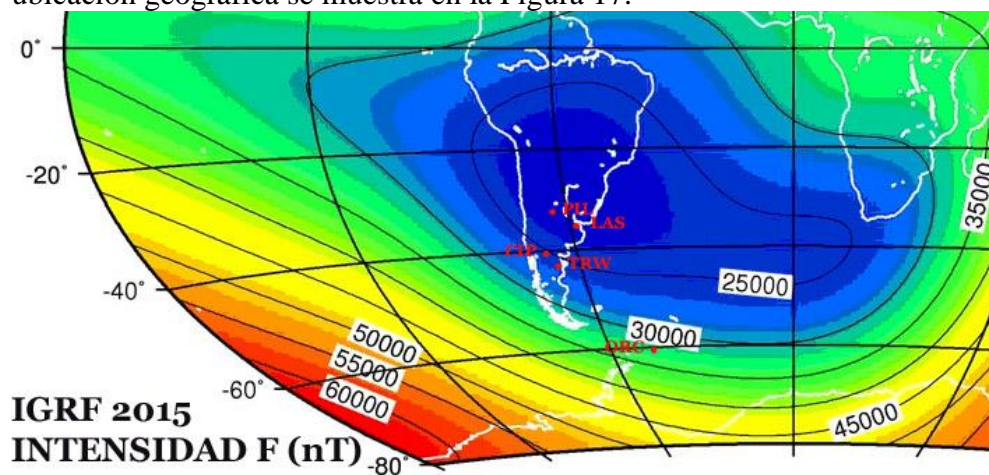


FIGURA 17: OMP y su

ubicación respecto de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS).

En las Figuras 3, 4 y 5, los OMP considerados para la determinación de la actividad geomagnética por medio de los índices Kp-ap, K-aa, y Kpm-am omiten su ubicación en la región ecuatorial y en la AMAS. Por lo tanto el aporte de otro índice como el kF3h en estas regiones y su comparación con el ap será útil para la interpretación integral del fenómeno “**Actividad del Sistema: Campo Propio – Campo Externo – Campo Inducido**”(Figura 1)”. Se eligió el conjunto de días comprendidos entre el 25 al 31 de Mayo de 2017, donde los días 25 y 26 son calificados como Q y el resto perturbados. Los registros absolutos de F de los OMP de PIL, LAS, CIP, TRW y ORC se muestran en las Figuras 18 a 21.

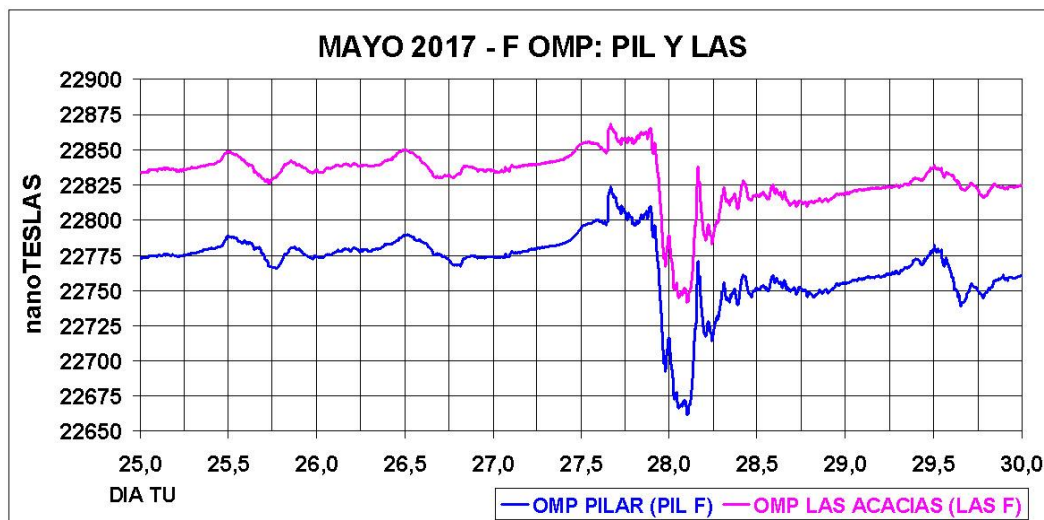


FIGURA 18

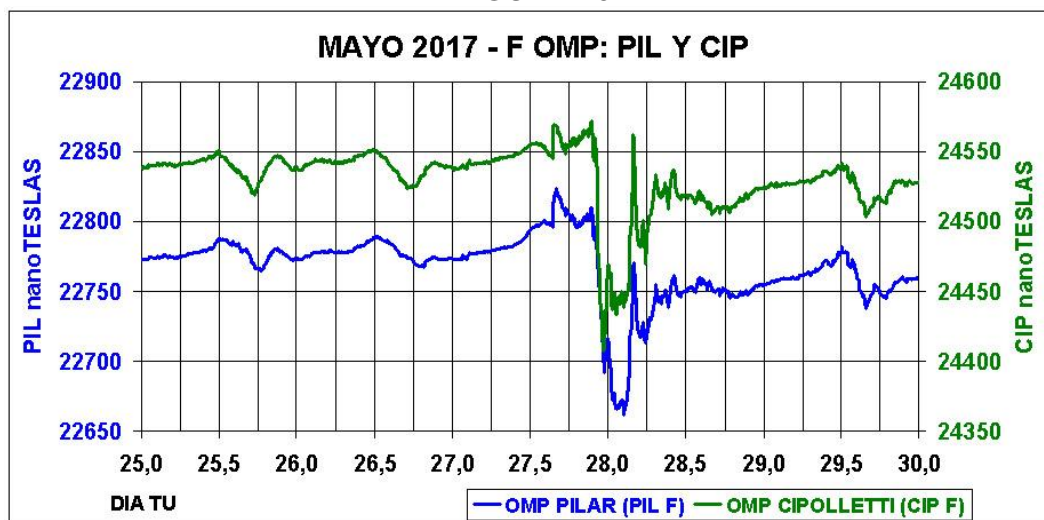


FIGURA 19

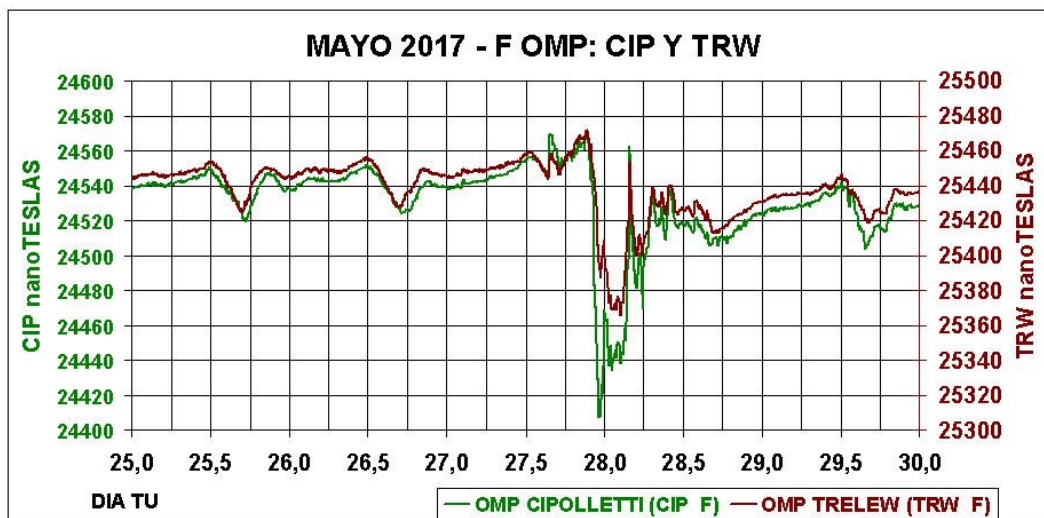


FIGURA 20



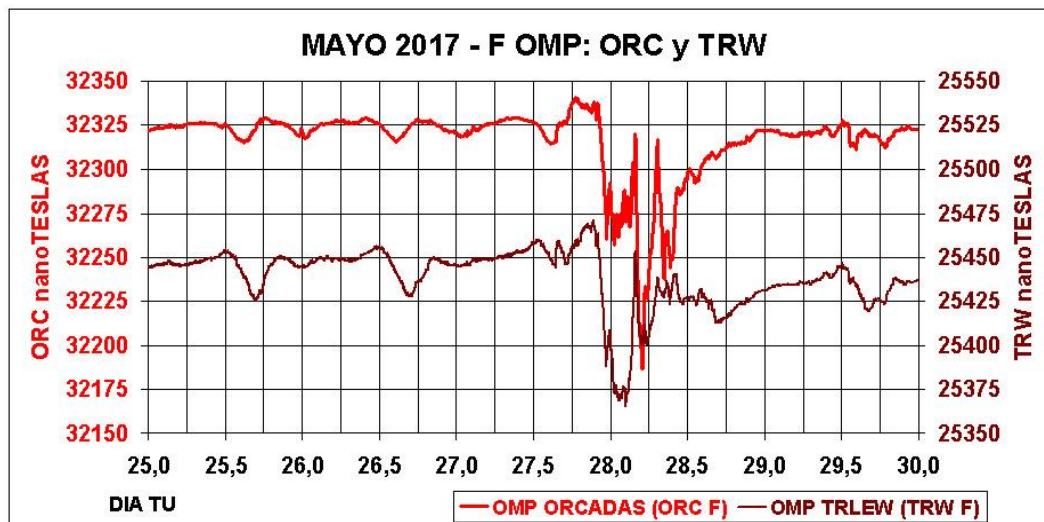


FIGURA 21

Los registros muestran que las características de los SCE se presentan en la Figuras 6, 7 y 22 y 23 donde se evidencia la preponderancia de la modelización para el hemisferio norte.

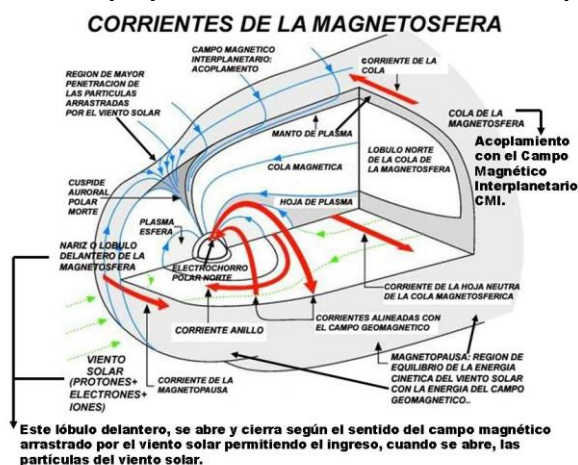
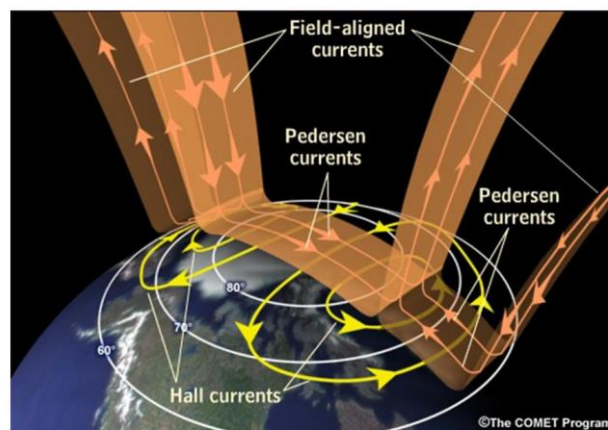


FIGURA 22



<http://spot.colorado.edu/~matsuot/research.html>

FIGURA 23

Es importante considerar que la Figura 23 correspondiente a la calota polar norte tiene características del campo principal en intensidad F notablemente diferentes a los de la calota polar sur por ello es importante analizar F en los OMP involucrados en esas regiones. De los registros de F mostrados en las Figuras 18 a 21 se determinaron los rangos **r** cada 3 horas en nT., presentados en las Figuras 24 a 26.

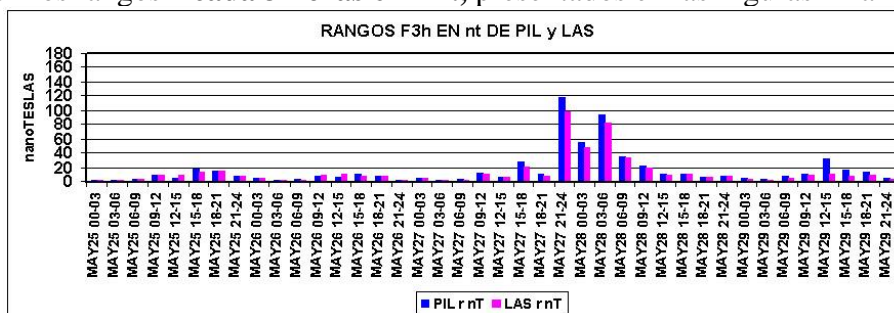


FIGURA 24

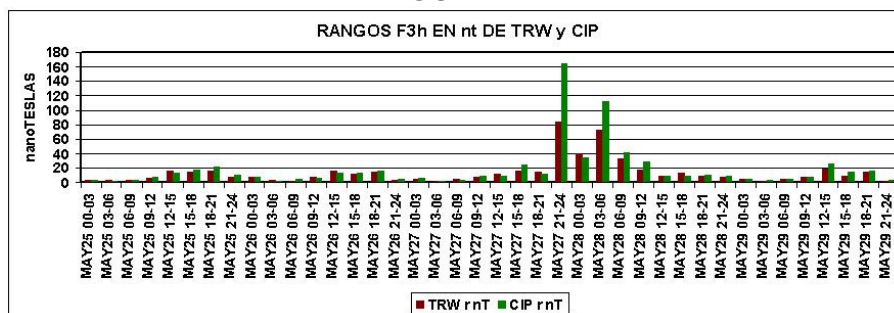


FIGURA 25

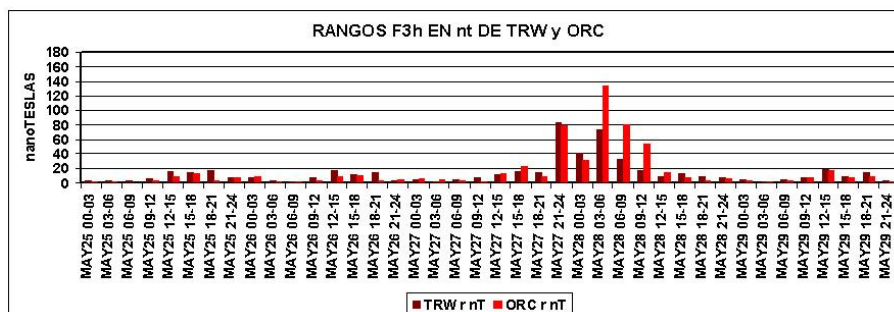


FIGURA 26

La aplicación del cálculo para  $\Delta_{180}$  descrita en el diagrama en la Figura 14 para el cálculo del índice K se muestran en las Figuras 27 a 30, donde se compara también con el índice Kp.

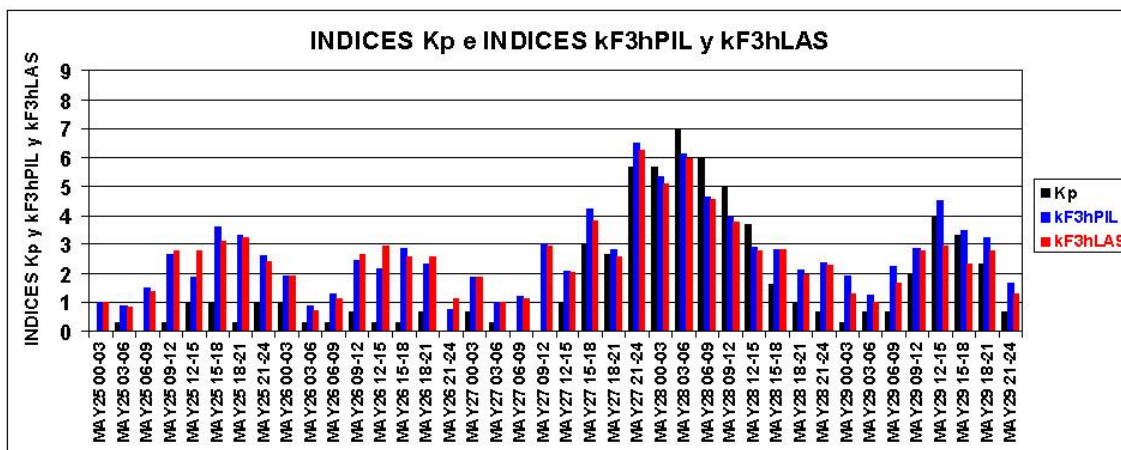


FIGURA 27

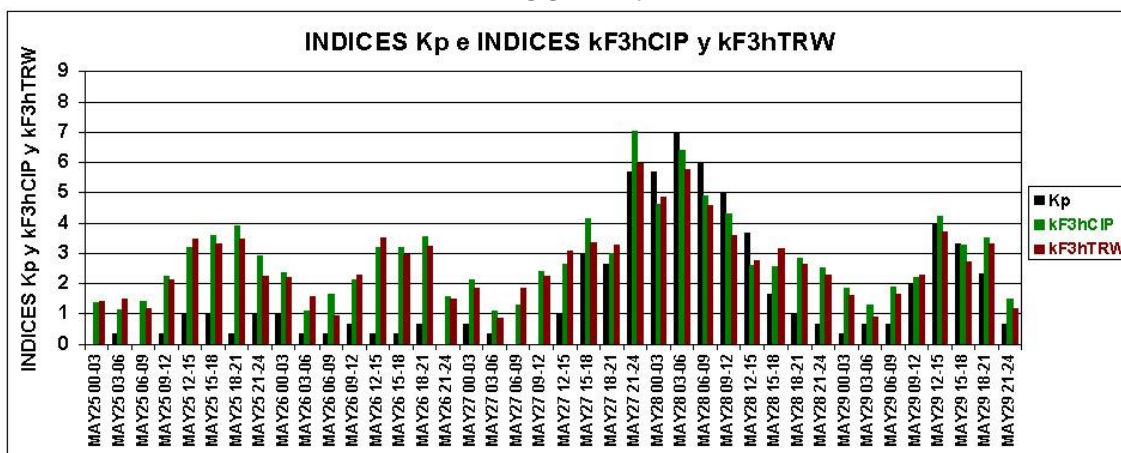


FIGURA 28

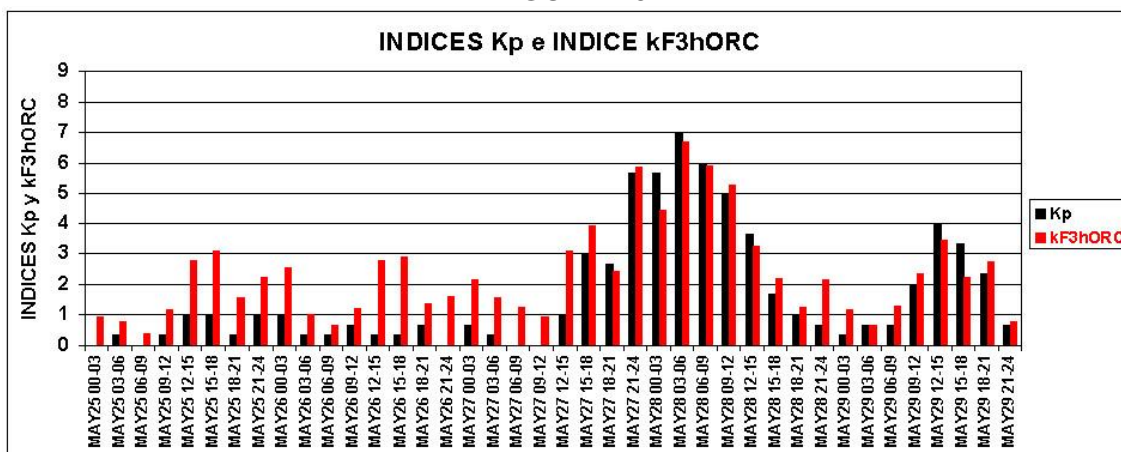


FIGURA 29

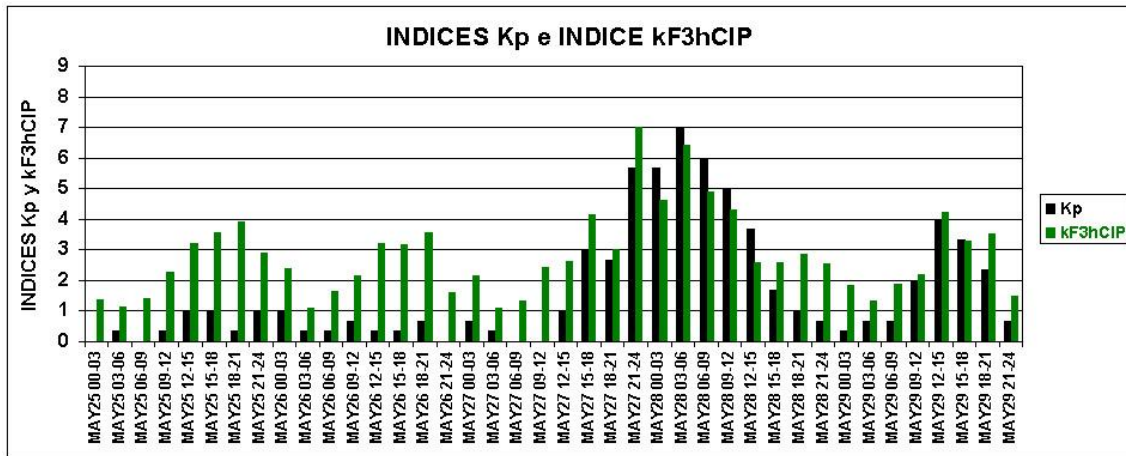


FIGURA 30

**DISCUSION Y CONCLUSION.** Uno de los aspectos a discutir es la reformulación de los criterios de actividad CALMA, REGULAR y PERTURBADA en la red global de OMP, por medio de las funciones que determinan el índice K con diferentes intervalos temporales de observación de los rangos de variación (60min, 180min, 24h, 48h) sobre la intensidad total F del CMT. Respecto de esta aplicación a una selección de OMP en la RRAA se concluye que el índice de actividad kF3h tiene una sensibilidad mayor que el Kp en especial por reflejar la actividad de la variación (Sq+L). Esta actividad correspondiente a la fotoionización, y acciones termogravitacionales del Sol y en conjunto con la gravitacional de la Luna esta siempre presente en todo registro de los elementos geomagnéticos. Es posible entonces ampliar los límites geográficos del índice K, Kp y Kpm y sus índices asociados aa, ap y am (con sus escalas en nT) con el fin de incorporar las calotas polares norte y sur (utilizando la intensidad total F para todo OMP TIPO 1 y 2 por medio del índice kF3h o el índice kF1h). La determinación de la actividad calma de las latitudes comprendidas en el intervalo de  $\pm 70^\circ$  se conocen, no así de  $(\pm 70^\circ, \pm 90^\circ)$  y este desafío implica un análisis pormenorizado de nuevos criterios donde los roles de todas las fuentes de variación se observen por medio de un índice global.

LA PLATA, 11de Junio de 2021.