

Análisis del comportamiento de las componentes del campo magnético terrestre ante la ocurrencia de eclipses solares

Nota Técnica SMN 2021-112

María Laura Cariaga¹, Sabrina H. Juárez¹ y Camila Farias¹

¹Área Geofísica, Dirección Central de Monitoreo del Clima

Diciembre 2021

Información sobre Copyright

Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.

La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.

Resumen

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) obtiene mediciones del Campo Magnético Terrestre (CMT) desde hace más de un siglo, mediante la operación ininterrumpida desde 1903 del Observatorio Orcadas del Sur en la Antártida Argentina. En la actualidad el Área de Geofísica de este Organismo tiene la coordinación de la operación de los observatorios, obtención de datos y el análisis de estos.

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento de los potenciales efectos en las componentes del Campo Magnético Terrestre (CMT) ante la ocurrencia de los eclipses solares totales ocurridos el 2 de julio de 2019 y 14 de diciembre de 2020, utilizando las mediciones obtenidas en la red de observación geomagnética del Servicio Meteorológico Nacional.

Abstract

The National Meteorological Service (SMN) has obtained measurements of the Earth's Magnetic Field (CMT) for more than a century, through the uninterrupted operation since 1903 of the South Orcadas Observatory in the Argentine Antarctic. At present, the Geophysics Area of this Organization has the coordination of the operation of the observatories, data collection and analysis.

The objective of this publication is to analyze the behavior of the potential effects on the components of the CMT in the event of total solar eclipses that occurred on July 2, 2019 and December 14, 2020 using the measurements obtained in the geomagnetic observation network of the National Meteorological Service.

Palabras clave: geomagnetismo, eclipses, meteorología espacial, INTERMAGNET

Citar como:

Cariaga M.L., Juárez S.H., Farías C., 2021: Análisis del comportamiento de las componentes del campo magnético terrestre ante la ocurrencia de eclipses. Nota Técnica SMN 2021-112.

1. INTRODUCCION

La meteorología espacial estudia las condiciones ambientales del espacio, que están influenciadas por la actividad solar. Su monitoreo es importante ya que las condiciones de la interacción entre el sol y la tierra, pueden causar perturbaciones en los sistemas de comunicación satelitales, en naves espaciales y aéreas, en redes de distribución de energía y minerales, riesgos para la salud humana, entre otros efectos. Dentro de la meteorología espacial, el geomagnetismo se ocupa del estudio del Campo Magnético Terrestre (CMT) y de sus variaciones temporales. El campo magnético de la Tierra se extiende desde el interior de la Tierra hacia el espacio y es el escudo protector del planeta frente a las partículas cargadas de alta energía procedentes del Sol. Por tal motivo resulta interesante poder conocer posibles perturbaciones sobre el CMT y sus efectos. En un eclipse solar, la luna se interpone entre la Tierra y el Sol, bloqueando la llegada de radiación solar hacia nuestro planeta. El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de las componentes del campo magnético observado, ante la ocurrencia de este fenómeno astronómico.

2. EL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE

El campo magnético terrestre es una magnitud vectorial, caracterizada por su módulo, su dirección y sentido. Al módulo de este vector (ver Fig. 1) se lo denomina fuerza total o intensidad total F , siendo la resultante de la suma vectorial de sus tres componentes cartesianas (X , Y , Z). La proyección de las componentes X e Y , da lugar a la componente horizontal H . En tanto que el ángulo formado entre H y eje X (es decir la dirección del Norte Geográfico) se la denomina "Declinación" (D). El ángulo que forma H con el eje Z , se denomina "Inclinación" (I). La unidad de medida de la intensidad total del campo geomagnético F y de sus componentes se denomina Tesla (T), pero en la práctica se utiliza el submúltiplo nanotesla ($1nT=10^{-9}$ Tesla).

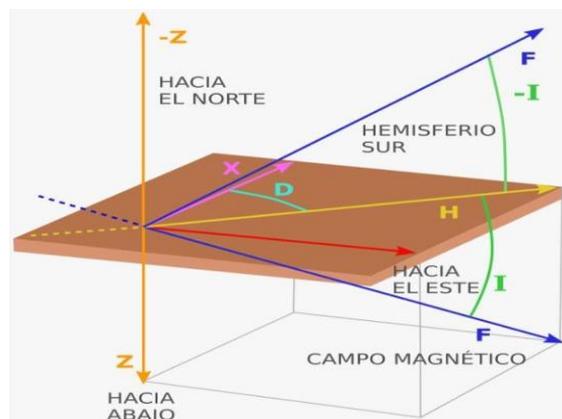


Fig. 1: Esquema de las componentes del campo magnético.

3. RED DE OBSERVACION

El área de Geofísica de este Organismo, funciona en la Sede Central del SMN, dentro de la Dirección Central de Monitoreo del Clima (DCMC) dependiente de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios (DNCIPS).

El Servicio Meteorológico Nacional forma parte de INTERMAGNET, la red global de observatorios magnéticos permanentes, cuyo fin es monitorear y estudiar la evolución espacio temporal del campo magnético en la superficie terrestre. Nuestra red está compuesta por:

El **Observatorio Magnético de Pilar (PIL)** en la provincia de Córdoba, opera desde el año 1904 y sus registros datan desde entonces. Cuenta con instrumental el cual posee una configuración clásica acorde a la mayoría de los observatorios magnéticos, es decir magnetómetro protónico que registra la intensidad del campo total F, un magnetómetro triaxial fluxgate para registrar las variaciones de las componentes horizontal H, vertical Z, y la declinación D, y un teodolito que permite determinar D e I por medio de una observación manual. En noviembre de 2010, el Observatorio se actualizó con la instalación del Sistema INDIGO (Intermagnet Digital Geomagnetic Observatory) para dar inicio a registros digitales. El Observatorio opera con Geomagnetic Data Acquisition System (GDAS), desarrollado por la British Geological Survey (BGS). El INDIGO Watch facilita la verificación del registro de las variaciones de las componentes del campo magnético, y el funcionamiento del sistema de medición. Un operador supervisa estas variaciones. Las observaciones absolutas conjuntamente con los datos obtenidos por el Sistema INDIGO, se procesan en el software (GDAS), y producen un registro continuo de los valores absolutos del campo magnético.

El **Observatorio de la Base Orcadas (ORC)** en el Sector Antártico Argentino, es el más antiguo que ha estado operando en la Antártida desde su creación en 1903. En este Observatorio se miden ininterrumpidamente parámetros geomagnéticos que muestran la evolución y el comportamiento de una región situada cerca del polo magnético y lejos de las perturbaciones antropogénicas. El Observatorio cuenta con un magnetómetro protónico que registra la intensidad del campo, F, un magnetómetro triaxial fluxgate para registrar las variaciones de las componentes horizontal H, vertical Z, y la declinación D, y un teodolito que permite determinar D e I por medio de una observación. Al principio, la instrumentación utilizada en el Observatorio Orcadas era analógica. Desde 2012, se ha instalado el sistema INDIGO para actualizar y digitalizar las mediciones.

La **Estación magnética de Cipolletti (CIP)** en Río Negro fue instalada a fines de 2015 dentro del predio de la estación meteorológica con el fin de monitorear la intensidad total del Campo Magnético Terrestre en una región precordillerana. Los datos obtenidos en este punto geográfico son de gran interés geomagnético tanto para estudios científicos como para aplicaciones industriales de prospección de recursos naturales, abundantes en la zona. Por lo que, estos registros aportan información de gran relevancia al conocimiento del comportamiento y evolución del campo a nivel local, regional y global, mejorando el modelado del campo a distintas escalas. La instalación de la estación magnética permanente de Cipolletti permite conocer la

evolución espacio-temporal de la intensidad total F del CMT en sitios de interés geomagnético, de ésta manera se podría contribuir con la confección del Modelo Internacional de Campo Geomagnético de Referencia (IGRF). La intensidad total F del CMT en ésta Estación se registra con un Magnetómetro de Precesión Protónica, marca Geometrics, modelo G856; cedido por la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de la Plata. El registro óptimo del sistema es cada 5 minutos a diferencia del sistema INDIGO de los Observatorios de Pilar y Orcadas que manejan intervalos de medición de 1 minuto.

En el verano de 2018-2019, desde el área de Geofísica del SMN, se inició un proyecto que tiene como objetivo el monitoreo anual de la intensidad del campo magnético (F) en puntos específicos de distintas bases antárticas, generando así datos de vital importancia para el estudio de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur. En dicha oportunidad, el derrotero de navegación del buque Rompehielos A.R.A Almirante Irizar (RHA1) permitió realizar mediciones absolutas y desarrollar tareas logísticas en las bases Carlini (CAR), Esperanza, Petrel, y Marambio.

4. DATOS Y AREA DE ESTUDIO

Se analizaron los registros diarios de las variables que representan el campo magnético terrestre, en los observatorios y estaciones magnéticas del SMN (Figura 2), durante los eclipses solares del 02 de julio de 2019 y del 14 de diciembre de 2020. La Tabla I muestra las coordenadas geográficas de cada punto de registro.

Cada observatorio mantiene un registro continuo de las componentes del campo geomagnético y su variación temporal a través de instrumentos, en tanto que en una estación el registro es continuo, pero no de todas las componentes del campo.

Tanto en Pilar como en Orcadas los registros son cada un minuto, en Cipolletti cada cinco minutos y los registros de un minuto obtenidos durante la Campaña Antártica de verano 2020/2021 en la estación de repetición Base científica Carlini para el eclipse de 2020.

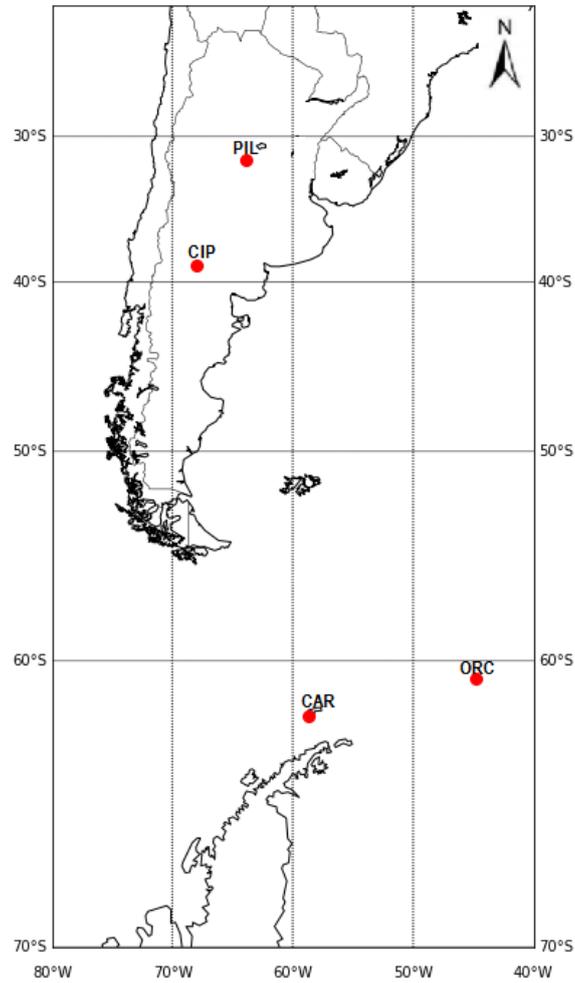


Fig. 2: Ubicación de los Observatorios y Estaciones magnéticas.

Tabla I: Coordenadas geográficas de los puntos observación.

| OBSERVATORIO GEOMAGNETICO | LAT | LON |
|---------------------------|---------------|---------------|
| PILAR (PIL) | 31° 40' 00" S | 63° 53' 00" O |
| ORCADAS (ORC) | 60° 44' 15" S | 44° 44' 14" O |
| CIPOLETTI (CIPO) | 38° 56' 27" S | 67° 58' 40" O |
| CARLINI (CAR) | 62° 14' 17" S | 58° 40' 04" O |

5. DESCRIPCION DE LOS FENOMENOS

Un eclipse de Sol sucede cuando la Luna, moviéndose por el espacio en su órbita alrededor de la Tierra, se interpone entre el Sol y la Tierra, ocultando así el disco solar por un breve tiempo para un observador ubicado sobre la superficie de nuestro planeta. Cuando la ocultación es completa, se denomina “eclipse total”, y cuando se oculta sólo una parte del disco solar, se denomina “eclipse parcial”. En ciertos años, sucede un tipo de eclipse particular, denominado “eclipse anular”: durante estos eclipses la Luna cruza el disco del Sol por su centro, pero no llega a ocultarlo por completo, dejando un fino anillo de luz por fuera del disco oscuro de la Luna. De ahí su nombre, ya que “anular” proviene de la palabra “anillo”.

Los eclipses pueden caracterizarse a través de la “magnitud”, que en el caso de los eclipses solares se calcula dividiendo el diámetro de la parte oculta entre el diámetro solar. El resultado se da en tanto por ciento o tanto por uno. En el punto máximo de ocultación resulta una medida de la magnitud del eclipse. Su valor será de 1 o mayor que 1 en el caso de un eclipse total. Cuanto mayor sea, más durará el eclipse, pues el limbo lunar excede en mayor cantidad al limbo solar. También, el “grado de oscurecimiento” se define como el cociente entre las superficies de contacto Sol-Luna y la superficie total del Sol.

5.1 Eclipse total de Sol del día 2 de julio de 2019

El eclipse parcial fue visible en el Pacífico sur y Sudamérica. Se inició a las 16:55h UTC en un punto del océano Pacífico al sur de la Polinesia Francesa. El fin del eclipse se produjo a las 21:50h UTC en un punto situado al sudeste de San Pablo de Lípez, en el departamento de Potosí (Bolivia). La duración total del fenómeno fue de 295 minutos (algo menos de 5 horas).

El eclipse total se inició a las 18:02h (UTC) en un punto del océano Pacífico al este de Nueva Zelanda; cruzó el Pacífico de oeste a este, se adentró en Chile por las regiones de Coquimbo y Atacama, pasó a Argentina por la provincia de San Juan, continuando por La Rioja, San Luis, Córdoba y Santa Fe, hasta finalizar en la provincia de Buenos Aires. El eclipse total terminó a las 20:43h UTC en un punto al sudeste de la ciudad de Chascomús (Argentina). La duración total del fenómeno fue de 161 minutos (algo menos de 2 horas y tres cuartos).

El máximo del eclipse (es decir cuando la luna se interpone por completo entre la Tierra y el sol) fue a las 19:23h UTC en un punto del océano Pacífico al norte de la Isla de Pascua (Chile), siendo la duración máxima de la totalidad de 4 min 33 s y la anchura de la sombra en el máximo de unos 201 km. En La Serena (Chile) la duración de la totalidad fue de 2 min 15 s, en Río Cuarto (Argentina) 1 min 58 s, en Venado Tuerto (Argentina) 2 min 11 s, y en Junín (Argentina) 2 min.

La Figura 3 muestra la trayectoria de este evento, en tanto que la Tabla II muestra el desarrollo del mismo en los puntos de observación mencionados anteriormente.

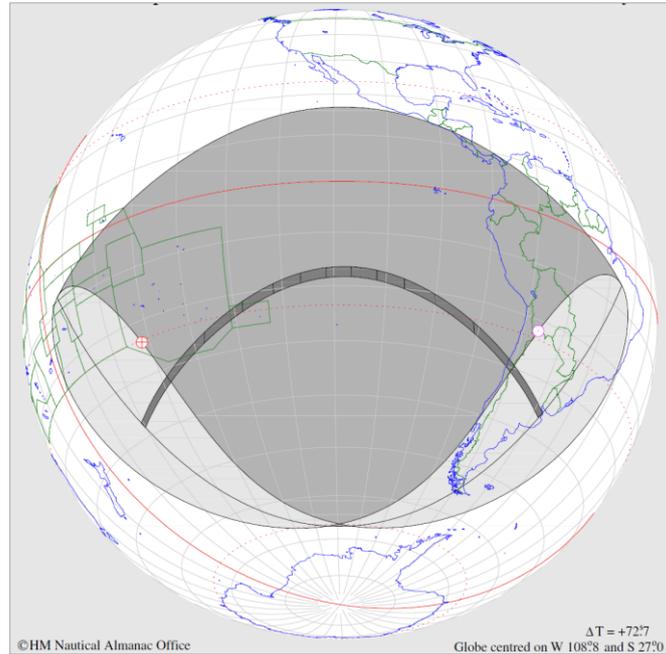


Fig.3: Trayectoria del eclipse del 2 de Julio de 2019. El diagrama muestra las sombras de oscuridad total (umbra) y oscuridad parcial (penumbra) de la Tierra como una proyección ortográfica. Los grises más oscuros delimitan la región donde el eclipse tiene mayor porcentaje de oscurecimiento. En aquellas áreas donde no hay sombras, el eclipse no es visible. <http://astro.ukho.gov.uk/eclipse/0312019/>

Tabla II: Desarrollo temporal del eclipse en cada punto de observación y su correspondiente porcentaje de oscurecimiento

| | Inicio (UTC) | Max (UTC) | Fin (UTC) | Osc % |
|-----|-------------------------------------|-----------|-----------|-------|
| PIL | 19:32:32 | 20:43:56 | 21:47:1 | 98,7 |
| CIP | 19:22:02 | 20:34:05 | 21:38:4 | 79,9 |
| ORC | Sin eclipse solar visible (Osc: 0%) | | | |

5.2 Eclipse total de Sol del día 14 de diciembre de 2020

El 14 de diciembre de 2020, se observó un eclipse total de sol donde la Luna proyectó su sombra sobre América del Sur.

El eclipse parcial fue visible en el Pacífico, Sudamérica, la Antártida y el sur del Atlántico. El eclipse se inició a las 13:34 h UTC a una latitud de -2° en el océano Pacífico y el fin del eclipse se produjo a las 18:53 h UTC en un punto del océano Atlántico al sur de la isla Santa Elena (Reino Unido). La duración total del fenómeno fue de 319 minutos (algo más de 5 horas y un cuarto).

El eclipse total se inició a las 14:32h UTC en un punto del océano Pacífico al este de las islas Marquesas (Francia), cruzó el Océano Pacífico de oeste a este, se adentró en Chile por la región de la Araucanía y el norte de la región de los Ríos, atravesó las provincias argentinas de Neuquén y Río Negro y finalizó cruzando el Atlántico de oeste a este. El eclipse terminó a las 17:54h UTC a una latitud de $-23,5^{\circ}$ en un punto del océano Atlántico frente a la costa de Namibia. La duración total del fenómeno fue de 202 minutos (algo menos de 3 horas y media).

El máximo del eclipse (es decir cuando la luna se interpone por completo entre la Tierra y el sol) fue a las 16:13h UTC al noroeste de Sierra Colorada, en la provincia de Río Negro, siendo la duración máxima de la totalidad de 2 min 10 s. En el máximo la anchura de la sombra fue de unos 90 km. En Temuco (Chile) la duración de la totalidad fue de 1 min, en Villarrica (Chile) 2 min 9 s, en Piedra del Águila (Argentina) 1 min 54 s, en Las Grutas (Argentina) 2 min 7 s, y en el sur de Viedma (Argentina) alcanzó los 30 s.

La Fig. 4 muestra la trayectoria de este evento, en tanto que la Tabla III muestra el desarrollo del mismo en los puntos de observación mencionados anteriormente.

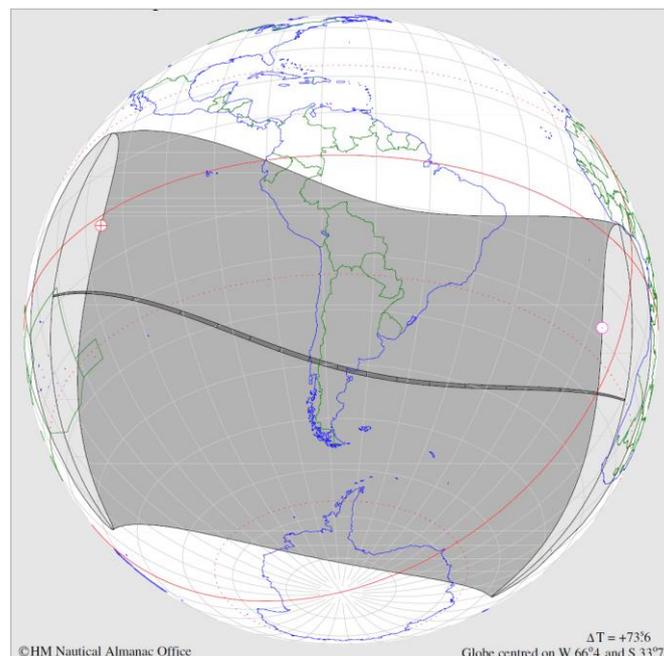


Fig. 4: Trayectoria del eclipse. El diagrama muestra las sombras de oscuridad total (umbra) y oscuridad parcial (penumbra) de la Tierra como una proyección ortográfica. Los grises más oscuros delimitan la región donde el eclipse tiene mayor porcentaje de oscurecimiento. En aquellas áreas donde no hay sombras, el eclipse no es visible <http://astro.ukho.gov.uk/eclipse/0612020/>

Tabla II: Desarrollo temporal del eclipse en cada punto de observación y su correspondiente porcentaje de oscurecimiento.

| | Inicio (UTC) | Max (UTC) | Fin (UTC) | Osc % |
|-----|-----------------|--------------|--------------|-------|
| PIL | 14:49:20 | 16:16:44 | 17:45:47 | 65,3 |
| CIP | 14:47:31 | 16:12:20 | 17:39:53 | 96,9 |
| ORC | 15:47:32 | 16:47:30 | 17:45:52 | 35,1 |
| CAR | 15:35:00 | 16:33:00 | 17:30:00 | 31 |

6. METODOLOGIA

Del análisis preliminar de las series de datos observados se consideró en forma arbitraria para el estudio, un período total de ciento ochenta minutos en cada evento, tomando como referencia el minuto cero, como el momento del máximo porcentaje de oscurecimiento del eclipse en cada punto de observación. Luego, se consideraron noventa minutos anteriores y noventa minutos posteriores. La determinación de la hora de ocurrencia de dichos máximos, se obtuvo a través de la información provista por Five Millenium Catalog of Solar Eclipses / NASA e interpretada a través de la web <http://xjubier.free.fr/>

Se tuvo en cuenta que ninguno de los días analizados corresponde a los diez días más calmos ni a los cinco días más perturbados, según la clasificación de la Asociación Internacional de Geomagnetismo y Aeronomía (IAGA).

En cuanto a las perturbaciones externas del campo magnético, para el eclipse del 2019 no hubo fenómenos, no así en el 2020 puesto que la mancha solar denominada AR2792 desató una llamarada solar de clase C4 el 14 de diciembre a las 1437 UTC, que no afectó a la atmosfera terrestre.

Se analizaron las variaciones respecto a la línea de base de H, D, Z para Pilar tanto para 2019 como para 2020. En el caso de Orcadas se analizó solo el eclipse de 2020 ya que el eclipse de 2019 no fue observable (0% oscuridad).

Se estudiaron los registros de intensidad (F) para Pilar y Cipolletti en 2019 y para Pilar, Orcadas, Cipolletti y Carlini en 2020.

También se realizó un análisis de los cambios en la ionosfera sobre los puntos de observación, pues cuando la luna bloquea la radiación solar entrante a la Tierra, podría provocar una reducción de la densidad de electrones en la ionosfera y por lo tanto, reducir la conductividad en la capa de ionosfera E. De acuerdo a

Ruhitman y otros (2016), se obtuvo la densidad de corriente equivalente (J) a una altitud de 110km (ionosfera) en los eventos estudiados. Se realizó este análisis para Pilar 2019 y para Pilar y Orcadas 2020.

7. RESULTADOS

7.1 Evento del día 2 de julio de 2019

Las Figuras 5 (a), (b), y (c) muestran las variaciones respecto a la línea de base del observatorio, cada un minuto de las componentes del campo magnético H, D, Z en los registros de Pilar. Los trazos en color rojo, en todos los gráficos, muestran el momento de ocurrencia del eclipse. Se observa una tendencia en disminución tanto en H como en D alrededor del comienzo del eclipse. Esto no se observa en Z.

En las Figuras 6 (a) y (b) se muestran los registros de intensidad (F) de Pilar y Cipolletti. Estos no muestran cambios significativos respecto al efecto del eclipse.

La Figura 7, muestra la densidad de corriente equivalente en la ionosfera (aproximadamente a 110 km de altura). Los valores de J se mantienen relativamente estables, no se observan cambios significativos, observándose una diferencia de 10mA/m entre su máximo y mínimo.

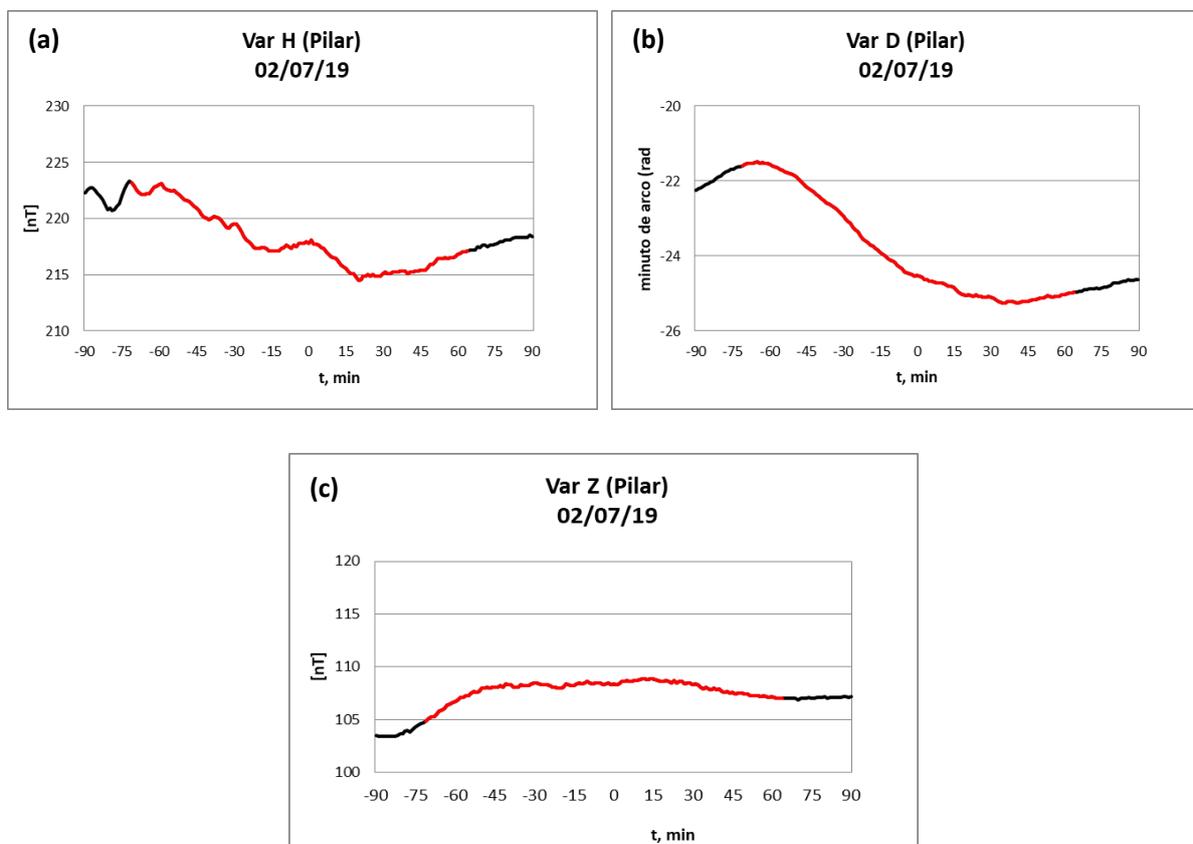


Fig. 5: Variaciones de las componentes del campo magnético terrestre, centradas en el instante del máximo desarrollo del eclipse en Pilar.

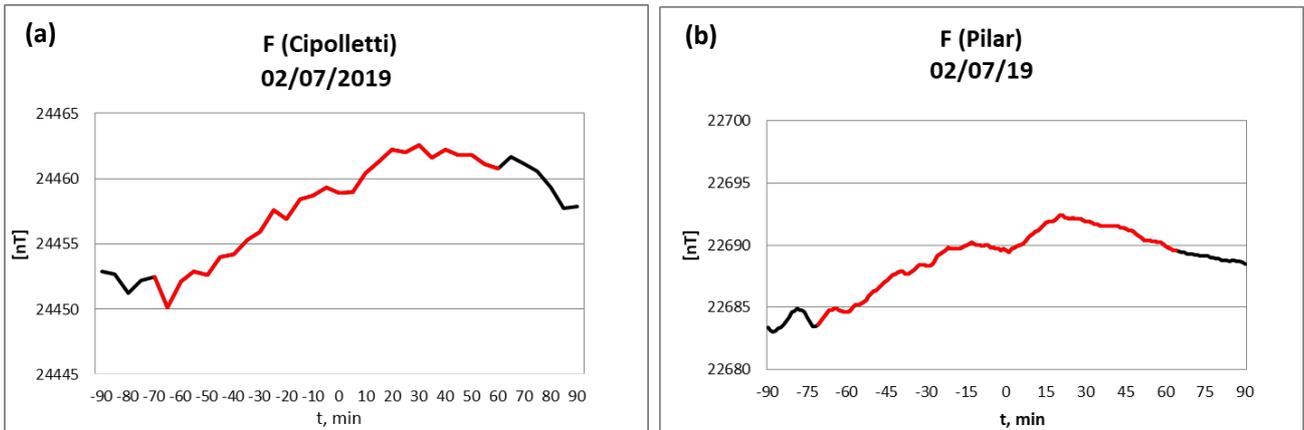


Fig. 6: Registros de la Intensidad del campo magnético (F) en (a) Pilar, y (b) Cípolletti.

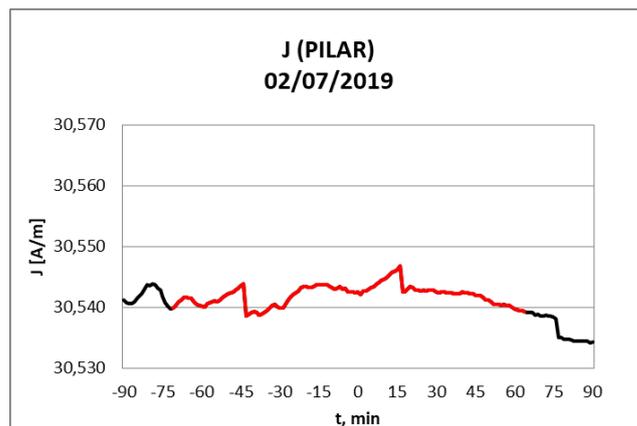


Fig. 7: Densidad de corriente equivalente en 110 km de altitud.

7.2 Evento del día 14 de diciembre de 2020

Las Figuras 8 y 9 (a), (b), y (c) muestran las variaciones respecto a la línea de base del observatorio, cada un minuto de las componentes del campo magnético H, D, Z en los registros de Pilar y Orcadas. Los trazos en color rojo, en todos los gráficos, muestran el momento de ocurrencia del eclipse.

En las Figuras 8 (a), (b) y (c) se observa una disminución en sus valores minutos después del comienzo del eclipse. La variable D presenta su mínimo alrededor de veinte minutos después del máximo del eclipse.

Las Figuras 9 (a), (b) y (c) muestran una disminución en la serie, minutos después del comienzo del eclipse. La variable H, registra el valor más bajo de la serie que coincide con el punto máximo del eclipse. La componente Z, muestra un decrecimiento a partir del momento de máximo oscurecimiento.

En la Figura 10 (a), se observa una disminución en los valores registrados, principalmente después de 15 minutos después del momento máximo, en (b) Orcadas y (d) Carlini la intensidad disminuye a medida que el eclipse llega a su momento del máximo oscurecimiento. En la Figura 10 (c) la intensidad disminuye al comienzo del eclipse.

La Figura 11 (a) en Pilar con un oscurecimiento de 65.3%, los valores de J disminuyen hasta 40 mA/m hacia el fin del eclipse, siendo lenta el establecimiento a los valores observados antes del eclipse. En (b) Orcadas la densidad comienza a descender minutos después de iniciado el eclipse, coincidiendo su momento máximo con el mínimo de densidad de electrones presentes en la ionosfera. Finalizado el eclipse los valores se restablecen. Con un oscurecimiento menor, de 35,1%, se obtiene una disminución en J de 20 mA/m. Este resultado era lo esperable, dado que el bloqueo que ejerce la luna sobre el sol hace que disminuya la densidad de corriente ionosférica.

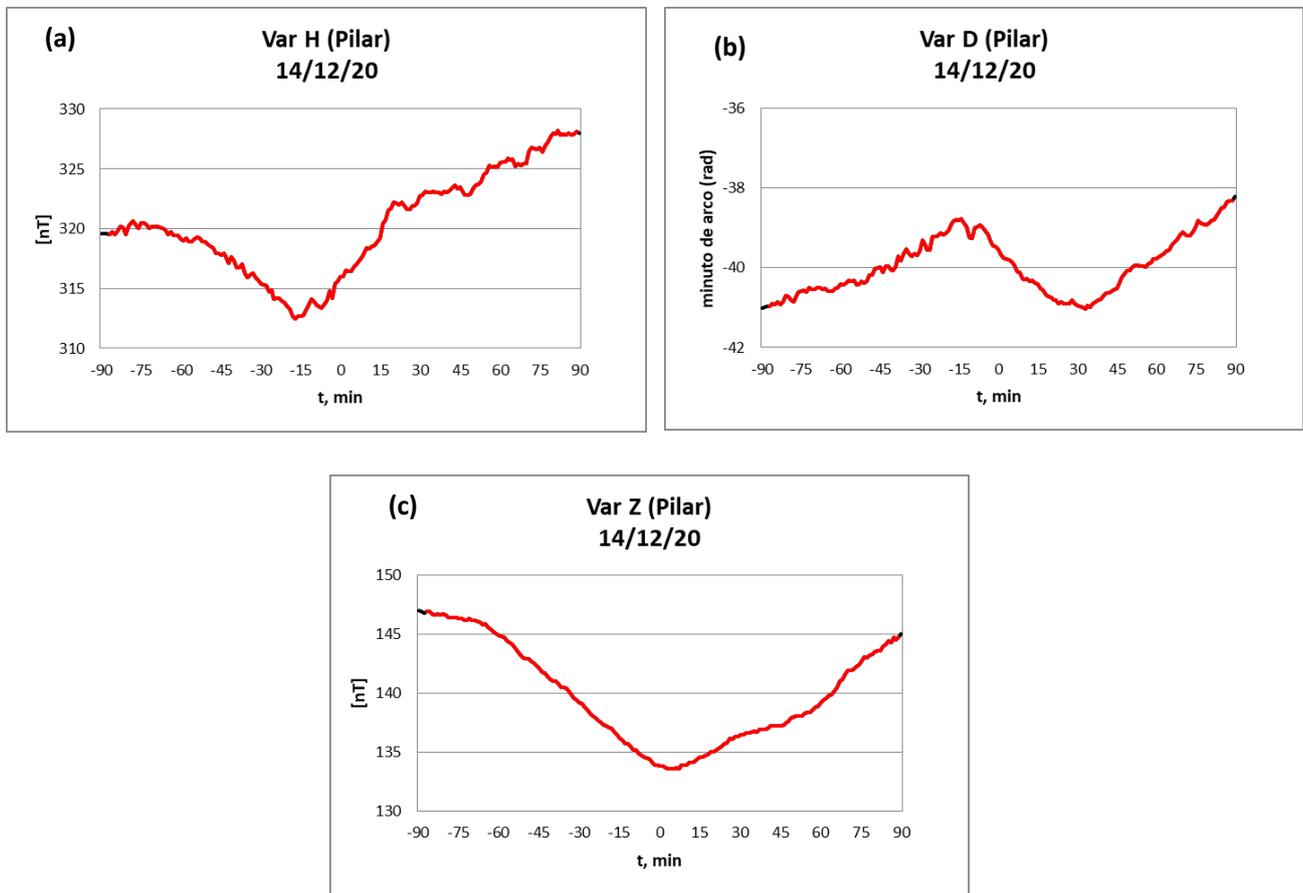


Fig. 8: Variaciones de las componentes del campo magnético terrestre, centradas en el instante del máximo desarrollo del eclipse en Pilar.

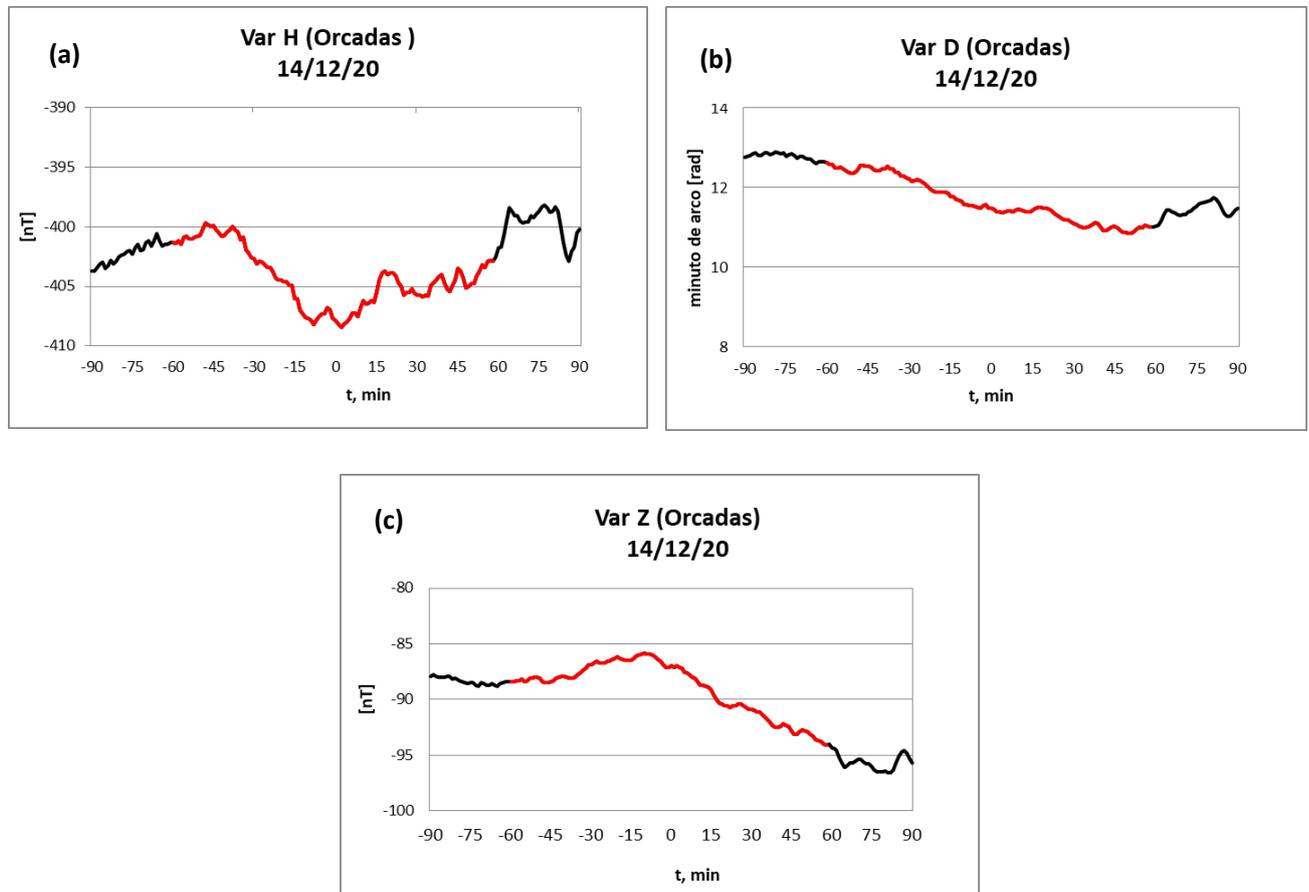


Fig. 9: Variaciones de las componentes del campo magnético terrestre, centradas en el instante del máximo desarrollo del eclipse en Orcadas.

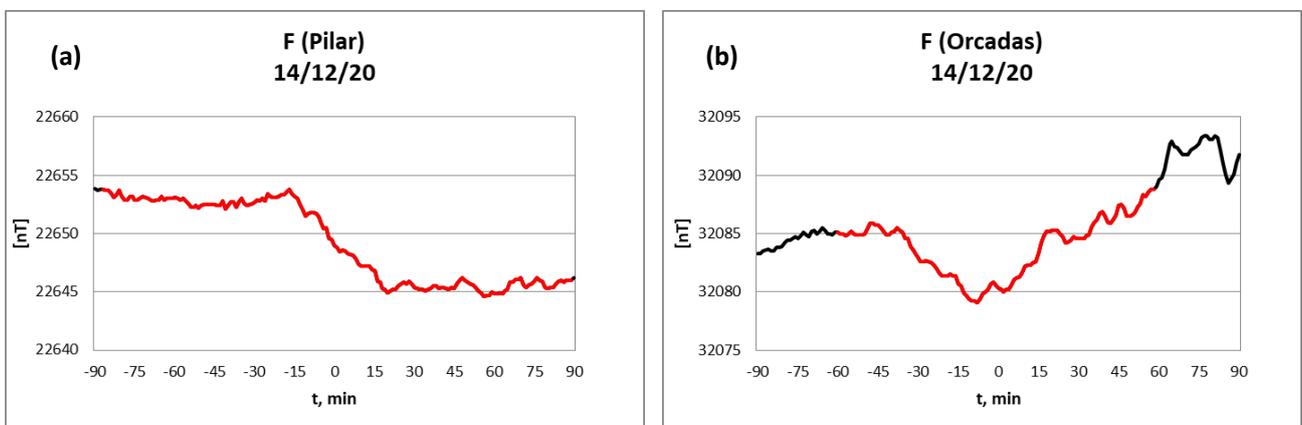


Fig. 10: Registros de la Intensidad del campo magnético (F) en (a) Pilar, (b) Orcadas

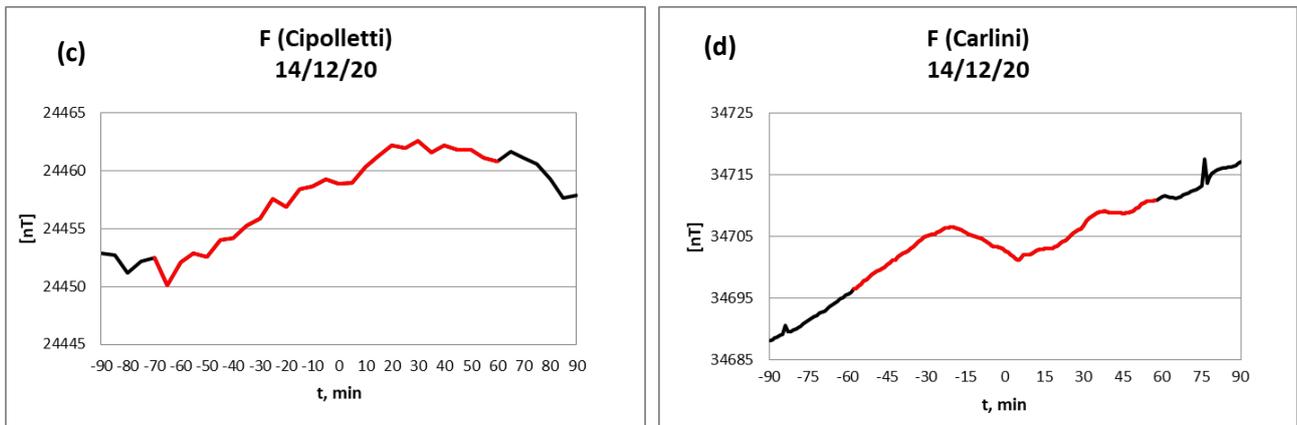


Fig. 10 (cont): Registros de la Intensidad del campo magnético (F) en (c) Ciproletti y (d) Carlini.

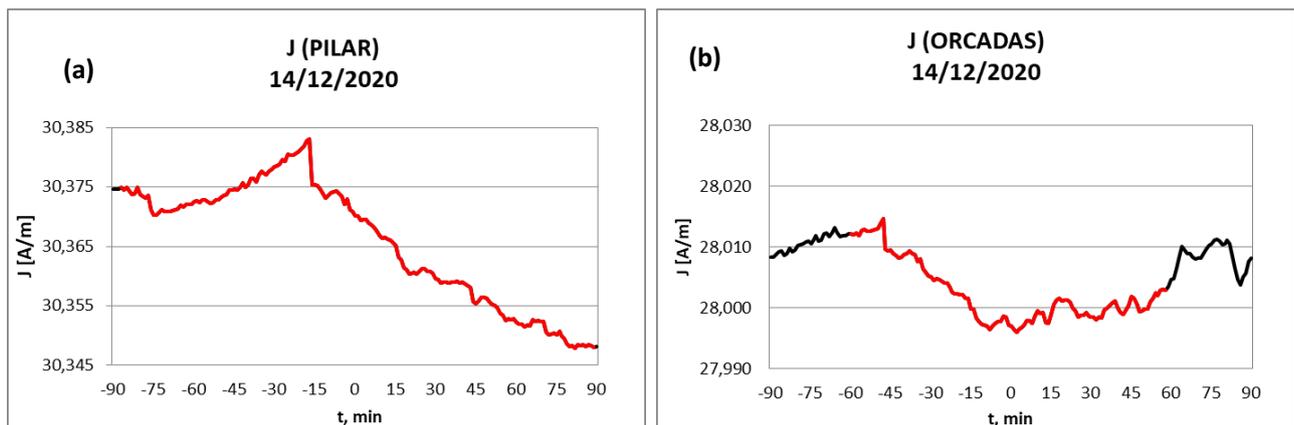


Fig. 11: Densidad de corriente equivalente en 110 km de altitud en (a) Pilar y (b) Orcadas.

8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para el caso de estudio del año 2019 no permiten establecer un patrón de relación en cuanto a los efectos de un eclipse sobre las componentes del CMT. En tanto que, en 2020 se pudieron observar algunos efectos esperados ante el bloqueo a la acción del Sol durante el eclipse, en las variables analizadas. En relación a esto Korte y otros (2001) mencionaron, citando a Campbell (1997), que en algunos estudios la relación eclipse-CMT se ha logrado observar y en otros casos no se han encontrado efectos.

Esto es algo esperable, como ha afirmado Chapman (1993), es difícil que el eclipse pueda lograr un gran impacto sobre el CMT, a excepción de modificar la ionización de la atmósfera superior afectando así, solo a una pequeña parte formadora del CMT, sin modificarlo a nivel del suelo. Esto se sustenta, en el análisis aquí realizado con los resultados obtenidos para J.

Resulta interesante poder analizar a futuro, ampliando el número de eventos, si la época del año y/o el horario de ocurrencia de estos eventos astronómicos influyen o no en algún posible efecto en la relación eclipse-CMT.

También planteamos la importancia del estudio del posible impacto en el CMT en relación a las características del ciclo solar en donde se producen los eclipses, discriminando la actividad solar habitual de la extraordinaria y su análisis en escalas de tiempo (5-7 días) que pueden alterar los efectos de los eclipses solares.

9. REFERENCIAS

Babakhanov, I.Y., et al., 2013: The geophysical disturbances during the total solar eclipse of 1 August 2008 in Novosibirsk, Russia. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2012.09.016>

Champan, S., 1933: The effect of a solar eclipse on the earth's magnetic field. Journal of Geophysical Research, Vol 38. <https://doi.org/10.1029/TE038i003p00175>

Korte, M. et. al., 2001: Did the solar eclipse of August 11, 1999, show a geomagnetic effect? Journal of geophysical research, vol. 106. <https://doi.org/10.1029/2001JA900006>

Ruhimat, M. et al., 2016: Effect of March 9, 2016 Total Solar Eclipse on geomagnetic field variation. Journal of Physics: Conference Series, Vol 771. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/771/1/012036>

Vázquez, M.F., 2015: Análisis de una tormenta geomagnética intensa ocurrida en 2012. [Tesis de Grado en Geofísica, Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas] recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52005>

Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid 2020 / Instituto Geográfico Nacional. Madrid (General Ibáñez de Ibero, 3. M-28003): I. G. N., 1860. 20 cm. Publicación anual. NIPO: 162-19-028-06 – EAN: 8423434365200. ISSN: 0373-5125 1. Astronomía I. España. Instituto Geográfico Nacional. 52. https://www.ign.es/web/resources/acercaDe/libDigPub/Indice_AnuarioAstronomico_2020.pdf

Anuario del Real Observatorio de Madrid / Instituto Geográfico Nacional. Madrid (General Ibáñez de Ibero, 3. M-28003): I. G. N., 1860. 20 cm. Publicación anual. NIPO: 162- 09-. ISSN: 0373-.1. Astronomía I. España. Instituto Geográfico Nacional. 52 <https://www.ign.es/web/resources/acercaDe/libDigPub/Anuario2019.pdf>

Matzka, Jürgen; Bronkalla, Oliver; Tornow, Katrin; Elger, Kirsten; Stolle, Claudia, 2021: Geomagnetic Kp index. V. 1.0. GFZ Data Services. <https://doi.org/10.5880/Kp.0001>

Johnston, H.F., 1943: Mean K-indices from twenty one magnetic observatories and five quiet and five disturbed days for 1942, Terr. Magn. Atmos. Elec., 47, 219. <http://dx.doi.org/10.1029/TE048i004p00219>

Esenak, F. and Meeus, J., 2006: Five Millennium Canon of Solar Eclipses: -1999 to +3000, NASA TP-2006-214141, Greenbelt, MD. <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/5MCSE.html>

Paolantonio Santiago, Camino Nestor Eduardo, 2020. Eclipse total de Sol del 14 de diciembre de 2020 / 1a ed. Córdoba. Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-987-86-6065-3

Veiga Alonso, Xosé D. 2006: Eclipses Sol Manual Didáctico Castellano 1ª Edición: Altega - Xestión del Lecer Versión 5.0 ISBN-10: 84-611-3442-7 ISBN-13: 978-84-611-3442-7 <https://www.apea.es/wp-content/uploads/Eclipses-de-Sol-Manual-Didactico.pdf>

Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía (rdelia@smn.gov.ar), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martin Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo (macevedo@smn.gov.ar).