



# Ondas de radio kilométricas de tipo II generadas por ECMs: relación con estructuras interplanetarias y grado de geoeffectividad

F. Manini<sup>1,2,3</sup>, H. Cremades<sup>1,3</sup> & F.M. López<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNSJ, Argentina

<sup>3</sup> CEDS, Facultad Regional Mendoza, UTN, Argentina

<sup>4</sup> Instituto de Ciencias Astronómicas, de la Tierra y del Espacio, CONICET-UNSJ, Argentina

<sup>5</sup> Centro de Radioastronomía e Astrofísica Mackenzie, Brasil

Contacto / francoamaninig@gmail.com

**Resumen** / Se analizaron espectros dinámicos del receptor WAVES/TNR (*Thermal Noise Receiver*) a bordo de la misión espacial *Wind* entre el 01/01/2000 y el 31/12/2012, en búsqueda de eventos de radio de tipo II kilométricos (kmTII). Se construyó una base de datos que interrelaciona las características de emisiones de radio de baja frecuencia con estructuras interplanetarias detectadas *in situ* potencialmente asociadas a dichas emisiones de radio. Se encontraron un total de 105 eventos, de los cuales 32 no se encuentran catalogados en la lista de eventos de tipo II de *Wind*/WAVES. Además, 46 eventos se asociaron con detecciones *in situ* de eyecciones coronales de masa interplanetarias (ECMIs), con 36 de éstos presentando características de nube magnética (NM). Para 74 eventos se obtuvieron los valores del índice Dst (*Disturbance Storm Time*, por sus siglas en inglés) correspondiente, a fin de estudiar la geoeffectividad de eventos con una ECMI o NM asociada. Para este grupo de estructuras interplanetarias asociadas a kmTII, se encontró que aquellos responsables de las tormentas geomagnéticas más intensas ocurrieron cerca del máximo de actividad solar. Por otro lado, se encontró que las mayores tormentas pueden ser atribuidas a ECMIs con características de NM. Mientras que los eventos de sólo ondas de choque, y ECMIs sin características de NM, se asociaron a tormentas de menor intensidad.

**Abstract** / We analyzed dynamic spectra from the WAVES/TNR (*Thermal Noise Receiver*) detector onboard the *Wind* mission, between 01/01/2000 and 12/31/2012 to search for Type II kilometric events (kmTII). A data base was built in which we correlate the low-frequency radio emissions with interplanetary structures detected *in situ* potentially associated with these radio emissions. A total of 105 events was found, 32 of which are not catalogued in the type II *Wind*/WAVES list of events. Moreover, 46 events were associated with *in situ* detections of interplanetary coronal mass ejections (ICMEs), 36 of which presented magnetic cloud (MC) characteristics. For 74 events, the Disturbance Storm Time (Dst) value was obtained to study the geoeffectiveness of these events with an associated ICME or MC. For this set of interplanetary structures associated to kmTII, we found that those behind the most intense geomagnetic storms happened close to the solar activity maximum. We also find that some of the greatest storms can be attributed to ICMEs with MC characteristics. The shock-only events and the ICMEs without MC characteristics were associated with less powerful storms.

**Keywords** / Sun: coronal mass ejections (CMEs) — solar–terrestrial relations — shock waves

## 1. Introducción

Las eyecciones coronales de masa (ECMs) son grandes erupciones de plasma caliente y energético combinado con campos magnéticos, que el Sol libera al espacio en periodos cortos de tiempo. Cuando se detectan *in situ* en el medio interplanetario, se llaman eyecciones coronales de masa interplanetarias (ECMIs). Éstas tienen una alta relevancia para la meteorología espacial. En particular, una ECMI viajando hacia la Tierra puede afectar significativamente el entorno de nuestro planeta, generando tormentas geomagnéticas y acarrearando una serie de efectos indeseables para la sociedad.

Algunas ECMs, usualmente las más rápidas, están acompañadas de una onda de choque magnetohidrodinámica que viaja por delante del frente de la ECM.

Durante su propagación, la onda de choque excita electrones del medio interplanetario, los cuales emiten radiación en radio de tipo II a la frecuencia local del plasma (Reiner et al., 1997; Bale et al., 1999). Esta emisión comienza a frecuencias de aproximadamente 400 MHz (longitudes de onda métricas) cerca del Sol, hasta llegar a frecuencias de 300-30 kHz (longitudes de onda kilométricas) para distancias heliocéntricas comprendidas en el rango de 20 a 170 radios solares.

En este trabajo nos basamos en la estrecha relación entre las emisiones de tipo II de baja frecuencia (kmTII de aquí en adelante) y las ondas de choque generadas por ECMs, para averiguar cómo afectan las características de estructuras interplanetarias asociadas. Además, exploramos la geoeffectividad de las estructuras magnéticas asociadas a los eventos kmTII analizados.

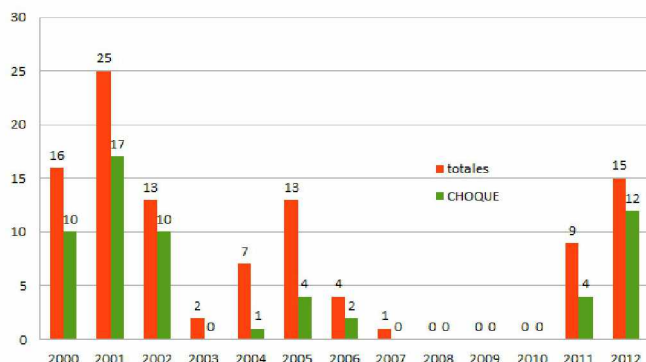


Figura 1: Histograma correspondiente a la totalidad de eventos detectados en este trabajo, por año.

## 2. Metodología y datos

Para registrar los eventos kmTII detectados en el rango de frecuencias del detector *TNR*, se realizó una inspección visual cuidadosa de los más de 4700 espectros dinámicos de *TNR* (provistos en el sitio oficial del instrumento *Wind/WAVES*), uno para cada día correspondiente al periodo de estudio. En particular se buscaron eventos que no hubieran sido reportados por el catálogo de emisiones de TII de la misión *Wind/WAVES*.

Para cada evento identificado se registró fecha y hora de comienzo y fin del evento, así como también el rango en frecuencia en que fue observado. Luego se examinó el catálogo de emisiones de TII métricas a decamétricas de *Wind/WAVES* para comprobar si algún evento se correspondía al evento kmTII identificado en *TNR*. El criterio para determinar si ambas emisiones de tipo II estaban asociadas entre sí, implicó que los rangos de frecuencia de ambas emisiones fueran compatibles. Es decir, el límite superior o inferior de la frecuencia catalogada dada en la lista oficial de *Wind/WAVES* debía ser menor a 256 kHz (límite superior de *TNR*). Además, se requirió que hubiera concordancia temporal entre la ocurrencia del registro oficial de la lista de *Wind/WAVES* y del kmTII identificado en *TNR*. El resultado final fue la identificación de 105 eventos de radio de baja frecuencia para su análisis.

## 3. Emisiones kilométricas y sus contrapartes in situ

La Figura 1 muestra la frecuencia anual de eventos kmTII durante el periodo de estudio. Las columnas naranjas corresponden a la totalidad de eventos por año, en tanto que las verdes son los eventos con onda de choque asociada. El histograma está en concordancia con el ciclo solar. Durante el máximo del ciclo 23 y la fase ascendente del 24, se observa el máximo número de eventos kmTII. El pico del ciclo 23 se condice con el máximo número de eventos detectados en un mismo año (25 eventos). Se distingue además un pico de eventos kmTII en el año 2005, que se corresponde con la fase decreciente del ciclo solar 23. Esto indica que durante la etapa de descenso de actividad del ciclo solar 23, se mantuvo un número elevado de eventos capaces de emitir radiación

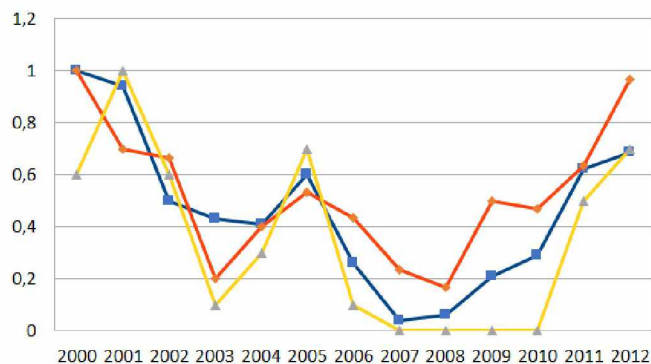


Figura 2: ECMs detectadas por año, según CR en azul, TNC en rojo y este trabajo en amarillo. El número anual de eventos está normalizado respecto del valor máximo de cada serie.

kmTII. Este pico en la frecuencia de eventos interplanetarios durante la fase decreciente del ciclo solar 23, en contraposición con la disminución de manchas solares, está de acuerdo con la cantidad persistente de ECMs detectadas durante el año 2005 (Wang & Colaninno, 2014; Lamy et al., 2019).

Tabla 1: Cantidad porcentual de eventos para los casos analizados. Se muestran las diferentes clasificaciones consideradas y se comparan con los valores correspondientes los eventos también reportados en la lista oficial de *Wind/WAVES*.

	Este trabajo	Lista <i>Wind/WAVES</i>
KmTII	100	100
Con choque	57,1	52,1
Sin choque	42,9	47,9
ECMI	43,8	50,7
NM	34,3	34,2
Choque + ECMI	28,6	26
Choque + NM	21,9	19,2

Teniendo en cuenta la metodología adoptada en este trabajo, se encontraron 105 eventos con emisión kmTII. Es importante remarcar que 32 de los eventos hallados (30%) no habían sido previamente catalogados en la página oficial de *Wind/WAVES*, donde no se tiene en cuenta al receptor *TNR* para la detección de eventos. Del total de casos analizados, 60 presentaron onda de choque asociada, esto es un 57%. Sin embargo, resulta llamativo el hecho de que 45 eventos con emisión kmTII no pudieron ser asociados a una onda de choque. La proporción de eventos con ondas de choque sin embargo, aproximadamente se mantiene: 60/105 (57%) vs. 38/73 (52%). De la misma manera, se mantienen las relaciones entre cantidad de eventos con ECMs y NMs, con y sin ondas de choque. La búsqueda realizada en catálogos de ECMs de Cane & Richardson (2003) y Nieves-Chinchilla et al. (2018) (abreviados respectivamente CR y TNC de aquí en adelante) permitió asociar 46 de estos 105 kmTII a ECMs. Esto implicó que al menos uno de estos dos catálogos incluyó una ECMI candidata a estar asociada con la emisión de radio. De ellos, CR registró

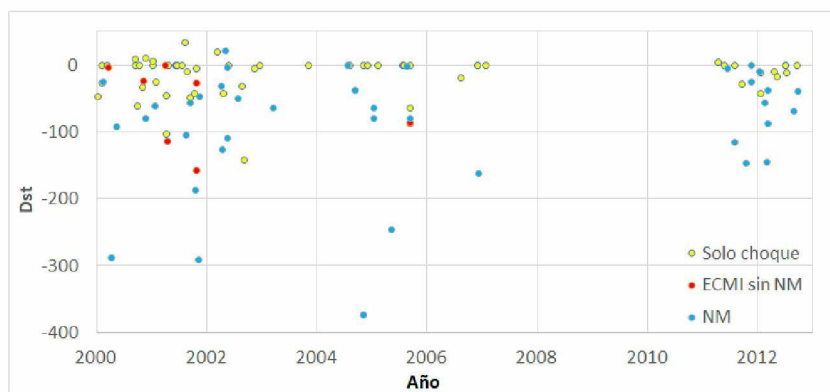


Figura 3: Distribución del índice Dst para los casos que se pudo identificar, en función del tiempo. Los colores indican las distintas estructuras asociadas a los kmTII.

41 ECMIs potencialmente asociadas a las 105 emisiones de radio, mientras que TNC detectó 30; con 25 casos comunes a ambos catálogos. De las 46 ECMIs asociadas a los eventos de radio, 36 fueron catalogadas además como conteniendo características de nubes magnéticas, según las clasificaciones (1) y (2) de CR y/o (F) y (C) de TNC. Todos estos resultados se resumen en la Tabla 1. En la Figura 2 se comparan los eventos de ECMIs por año catalogados por RC, TNC y por este estudio, en función del tiempo. Los eventos de ECMI, NM y kmTII registrados por los diferentes trabajos exhiben variación similar con el tiempo.

Para analizar la geoelectividad de los eventos estudiados, se estimó el valor del índice Dst para aquellos eventos asociados a ECMIs y a ondas de choque sin ECMI. Estos valores son graficados en función del tiempo en la Figura 3, con los valores más negativos del Dst correspondiendo a una tormenta geomagnética de mayor intensidad. De la Figura 3 se observa que los menores valores de Dst ocurrieron durante los máximos de ambos ciclos solares. Además, entre los años 2004 y 2006 se encontró que hubieron varios eventos que afectaron de manera considerable la magnetósfera terrestre. Esto se corresponde con el aumento de eventos observados en la Figura 2. Dos de las tormentas más intensas, asociadas a nuestros eventos, ocurrieron en los años 2004 y 2005, es decir durante la fase decreciente del ciclo solar 23, en acuerdo con, *v.g.*, Gonzalez et al. (2011); Szajko et al. (2013). Es notable que las mayores tormentas geomagnéticas fueron producidas por estructuras compatibles con NMs; mientras que los eventos asociados a ondas de choque únicamente o ECMIs sin características de NM, fueron responsables de tormentas más débiles.

#### 4. Conclusiones

Mediante el uso de datos del instrumento *TNR* a bordo de la misión *Wind/WAVES* se detectaron 105 eventos de tipo kmTII. Los eventos analizados fueron relacionados con estructuras magnéticas interplanetarias detectadas *in situ*. De los 105 eventos analizados, 46 se asociaron con detecciones *in situ* de ECMIs. De éstos, 36 casos poseen

características de NM, de acuerdo a lo contrastado con los catálogos de CR y TNC. Se encontró un número de eventos kmTII relativamente alto para el año 2005. Este resultado está de acuerdo con la cantidad de eventos detectados por TNC y CR, así como con la detección de ECMs y ECMIs (*v.g.*, Wang & Colaninno, 2014; Lamy et al., 2019).

Uno de los objetivos del trabajo consistió en asociar el valor del índice de actividad geomagnética Dst para los eventos kmTII asociados a ondas de choque, NM y ECMIs. Los resultados muestran que los eventos ocurridos en el año 2005 produjeron algunas de las tormentas geomagnéticas más intensas registradas, y que las mayores tormentas pueden ser atribuidas a ECMIs con características de NM. Por otro lado, eventos de ondas de choque solamente y ECMIs sin características de NM, se asociaron a tormentas de menor intensidad.

Finalmente, el número considerable de eventos de tipo II aquí identificados que no se encuentran actualmente catalogados por la base de datos oficial de *Wind/WAVES*, remarca la importancia de considerar el rango de frecuencias cubierto por el instrumento *TNR* para el estudio de eventos kmTII.

*Agradecimientos:* FM es becario doctoral y HC miembro de la CIC de CONICET. Los autores agradecen el arbitraje que mejoró la calidad de este trabajo y reconocen financiamiento del proyecto UTN UT14915TC y el uso de datos de *Wind* (NASA).

#### Referencias

- Bale S.D., et al., 1999, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 1573
- Cane H.V., Richardson I.G., 2003, *J. Geophys. Res.*, 108, 1156
- Gonzalez W.D., et al., 2011, *SSRv*, 158(1), 69
- Lamy P.L., et al., 2019, *SSRv*, 215, 39
- Nieves-Chinchilla T., et al., 2018, *Solar Phys.*, 293, 27
- Reiner M.J., et al., 1997, A. Wilson (Ed.), *Correlated Phenomena at the Sun, in the Heliosphere and in Geospace*, *ESA Special Publication*, vol. 415, 183
- Szajko N.S., et al., 2013, *Adv. Space Res.*, 51(10), 1842
- Wang Y.M., Colaninno R., 2014, *ApJL*, 784, L27