



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
INSTITUTO DE GEOFÍSICA

Determinación de la posible relación entre diferentes
fenómenos del Clima Espacial y la enfermedad de Epilepsia
en seres humanos mediante análisis Wavelet

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:
GABRIELA GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Director de Tesis:
Dr. Víctor Manuel Velasco Herrera
Instituto de Geofísica

Ciudad Universitaria, CD.MX.

Noviembre 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
BASES DEL PROYECTO	4
CAPÍTULO I: CLIMA ESPACIAL	5
1.1 ¿Qué es el Clima Espacial?	5
1.2 Fenómenos del Clima Espacial	5
1.2.1 Fenómenos generados en el Sol	6
1.2.1.1 El Sol	6
1.2.1.2 Manchas solares	8
1.2.1.3 Ráfagas solares	10
1.2.1.4 Eyecciones de masa coronal	10
1.2.2 Fenómenos en el medio interplanetario	11
1.2.2.1 Viento solar	11
1.2.2.2 Eyecciones de masa coronal interplanetarias	12
1.2.2.3 Regiones de interacción de corrientes y regiones de interacción corrotantes	13
1.2.3 Fenómenos registrados en la vecindad terrestre y en la superficie	14
1.2.3.1 Magnetosfera terrestre	14
1.2.3.2 Tormentas geomagnéticas	15
1.2.3.3 Subtormentas geomagnéticas	17
1.2.3.4 Rayos cósmicos	18
1.2.3.5 Incrementos a nivel del suelo	19
1.2.3.6 Radiación solar	20
CAPÍTULO II: ENFERMEDAD DE EPILEPSIA	21
2.1 ¿Qué es la Epilepsia?	21
2.2 Periodos de la actividad epiléptica	21
2.3 Clasificación de las crisis epilépticas	22
2.4 Estado epiléptico	22
2.5 Etiología de la Epilepsia	23
2.5.1 Factores epileptogénicos a nivel celular	23
2.5.2 Factores epileptogénicos anatómicos y fisiológicos a nivel cerebral	24

2.5.3 Factores genéticos epileptogénicos	24
2.5.4 Factores hormonales epileptogénicos.....	25
2.5.5 Factores tóxico-metabólicos epileptogénicos	26
2.5.6 Factores patológicos epileptogénicos.....	26
2.5.7 Factores psiquiátricos epileptogénicos.....	26
2.6 Epidemiología	26
2.7 Tratamientos contra la Epilepsia	27
2.8 Efectos colaterales de la Epilepsia.....	28
CAPÍTULO III: ANÁLISIS WAVELET.....	29
3.1 Transformada Wavelet	29
3.1.1 Transformada Wavelet Continua.....	29
3.1.2 Transformada Wavelet Cruzada.....	30
3.1.3 Transformada Wavelet de Coherencia	31
CAPÍTULO IV: MATERIALES	32
4.1 Datos utilizados para la investigación.....	32
4.2 Descripción del periodo de estudio.....	32
4.3 Fuentes de las bases de datos (revisadas por última vez entre febrero y marzo de 2018).....	32
4.4 Procesamiento de los Datos.....	34
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....	35
5.1 Resultados de los análisis con la Transformada Wavelet Continua	35
5.2 Resultados de los análisis con la Transformada Wavelet Cruzada.....	47
5.2.1 Pares formados entre las consultas de pacientes con Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial	48
5.2.2 Pares formados entre los diagnósticos de egreso por Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial	60
5.3 Resultados de los análisis con la Transformada Wavelet de Coherencia.....	70
5.3.1 Pares formados entre las consultas de pacientes con Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial	70
5.3.2 Pares formados entre los diagnósticos de Egreso por Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial	82
5.4 Análisis wavelet de la enfermedad control, Diabetes	92
5.4.1 Análisis wavelet entre la Diabetes y los fenómenos del Clima Espacial	93
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	95
6.1 Periodicidades obtenidas a través de la Transformada Wavelet Continua	95
6.2 Periodicidades obtenidas a través de la Transformada Wavelet Cruzada y Wavelet de Coherencia.....	95

6.3 Periodicidades más representativas entre la Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial	97
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....	100
7.1 Conclusiones.....	100
7.2 Reflexiones.....	101
<i>ANEXO I.....</i>	<i>102</i>
<i>ANEXO II</i>	<i>103</i>
<i>LITERATURA CITADA</i>	
<i>FUENTES DE IMÁGENES</i>	

RESUMEN

En la presente investigación se realizaron análisis wavelet (Transformadas Wavelet Continuas, Cruzadas y de Coherencia) para determinar la posible relación entre diferentes fenómenos del Clima Espacial (manchas solares, ráfagas solares, eyecciones de masa coronal interplanetarias, rayos cósmicos galácticos, incrementos a nivel del suelo, índices geomagnéticos y radiación solar) y dos marcadores de la Epilepsia (número de consultas y número de diagnósticos de egreso). Los datos utilizados fueron trimestrales obtenidos entre los años 2002 y 2014.

Los análisis con la Transformada Wavelet Continua se realizaron a cada una de las series de tiempo con el objetivo de determinar sus periodicidades intrínsecas. Los resultados de estos análisis mostraron preliminarmente que los diagnósticos de egreso por Epilepsia podían estar relacionados con las manchas solares, los rayos cósmicos galácticos, la actividad geomagnética y la radiación solar; debido a que presentaban periodicidades similares. Los análisis con la Transformada Wavelet Cruzada y de Coherencia se realizaron a pares formados entre cada uno de los marcadores de la Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial. Los resultados de estos análisis mostraron que todos los pares formados entre el número de consultas y los fenómenos del Clima Espacial tuvieron periodicidades significativas en común. Los resultados con el número de diagnósticos de egreso mostraron que no existían periodicidades comunes significativas con la radiación solar.

Los resultados finales mostraron que sí existen periodicidades en común entre los dos marcadores de la Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial. Sin embargo, se consideró que los resultados que se apegaban más al comportamiento real de la Epilepsia y a su relación con los fenómenos del Clima Espacial, fueron los que se obtuvieron utilizando el número de diagnósticos de egreso. Lo anterior se concluyó, debido a que la serie de tiempo del número de consultas, podría tener implícita una serie de tiempo relacionada con el funcionamiento administrativo del hospital que determinaba los periodos de consulta.

Los fenómenos del Clima Espacial que presentaron periodicidades comunes significativas con la Epilepsia durante todo el periodo de estudio fueron las ráfagas solares, las eyecciones de masa coronal del medio interplanetario y la actividad geomagnética. Estas periodicidades abarcaron entre 0.93 y 4.37 años y son consideradas en la actividad solar como Cuasi Bienales, relacionadas directamente con el funcionamiento del dínamo solar. El tipo de relación observada entre las periodicidades comunes fue principalmente compleja y dentro de estas periodicidades se observó que algunas fueron específicas para cada fenómeno espacial, mientras que otras, como la periodicidad de ~1.7 años, fueron compartidas.

Finalmente, para asegurar que los resultados obtenidos en esta investigación correspondieran exclusivamente a la Epilepsia, se realizaron análisis wavelet con datos de Diabetes. Los resultados obtenidos con esta enfermedad control fueron totalmente diferentes a los obtenidos para la Epilepsia, por lo que los resultados se validaron.

ABSTRACT

In this research, wavelet analyzes (Continuous, Cross, and Coherence Wavelet Transforms) were performed in order to determine the possible relationship between different Space Weather phenomena (sunspots, solar flares, interplanetary coronal mass ejections, cosmic rays, ground level enhancements, geomagnetic activity and solar radiation) and two markers of the Epilepsy disease (number of medical consultations and number of egress diagnoses). The data used were quarterly obtained between the years 2002 and 2014.

Analyzes with the Continuous Wavelet Transform were made to each one of the time series, in order to determine their intrinsic periodicities. The results of these analyzes showed preliminarily that the egress diagnoses by Epilepsy could be related to sunspots, galactic cosmic rays, geomagnetic activity and solar radiation; because of they presented similar periodicities. Analyzes with the Cross, and Coherence Wavelet Transforms were performed to pairs formed between each one of the markers of Epilepsy and the Space Weather phenomena. The results of these analyzes showed that all the pairs formed between the number of consultations and the Space Weather phenomena had significant common periodicities. The results with the number of egress diagnoses showed that there were no significant common periodicities with solar radiation.

The final findings showed that exist periodicities in common between the two markers of Epilepsy and the Space Weather phenomena. However, it was considered that the findings that were more closely related to the real behavior of the Epilepsy and its relation with the Space Weather phenomena, were those obtained using the number of egress diagnoses. The above was concluded, because the time series of the number of consultations, could imply a time series related to the administrative functioning of the hospital that could determine the medical consultations periods.

Spatial Weather phenomena that presented significant common periodicities with Epilepsy were solar flares, interplanetary coronal mass ejections and geomagnetic activity. These periodicities covered between 0.93 and 4.37 years and are considered in solar activity as Quasi Biennals, directly related to the functioning of the solar dynamo. The type of relationship observed among the common periodicities was mainly complex and within these periodicities it was observed that some are specific for each space phenomenon, while others, such as the periodicity of ~ 1.7 years, are shared.

Finally, to ensure that the findings obtained in this investigation corresponded exclusively to Epilepsy, wavelet analyzes were performed with Diabetes data. The results obtained with this control disease were totally different from those obtained for Epilepsy, so the findings were validated.

INTRODUCCIÓN

La geosfera (litosfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera) es sensible a la actividad solar, a sus variaciones y a sus manifestaciones. En la actualidad, los efectos del Clima Espacial sobre la atmósfera, el clima terrestre, las telecomunicaciones y otras tecnologías espaciales y terrestres, han sido ampliamente estudiados y tratados en varios libros y artículos de investigación sobre temas de ciencias espaciales. Sin embargo, los efectos de estos eventos sobre los seres vivos, principalmente en la vida y la salud humana, han sido poco estudiados y, en algunos casos, han sido causa de dudas y controversias a pesar de que existen trabajos que demuestran cierta relación respaldada en análisis estadísticos (Burch, 2001; Daglis, 2001). Por lo tanto, es importante obtener mayor y mejor conocimiento sobre el Clima Espacial y sus potenciales repercusiones sobre la salud humana, con la finalidad de disminuir o minimizar sus factores de riesgo (Jansen *et al.*, 2000).

En la presente investigación se pretendió identificar la posible relación entre diferentes fenómenos del Clima Espacial y la Epilepsia mediante el uso de análisis wavelet, los cuales muestran las periodicidades intrínsecas de una serie de tiempo dada, así como las periodicidades en común entre dos series de tiempo. La búsqueda de periodicidades comunes fue el tema central de esta investigación, así como los posibles efectos de estas periodicidades sobre el comportamiento de la Epilepsia a lo largo de los años analizados. Con esta investigación se pretendió ampliar los estudios sobre los efectos de fenómenos espaciales en la salud humana y mostrar que los análisis wavelet son una herramienta matemática útil para generar resultados que complementen a los obtenidos en trabajos previos sobre el tema.

Al inicio de esta tesis se exponen trabajos previos relacionados al tema de investigación, se señalan los puntos principales por los cuáles se realizó y se expone en los primeros capítulos (capítulos I y II) el marco teórico necesario para entender cada uno de los fenómenos del Clima Espacial utilizados en la investigación, así como una explicación general de las implicaciones tanto médicas como de salud pública que conlleva la enfermedad de Epilepsia. En el capítulo III se da una breve explicación de los análisis wavelet utilizados en el estudio y en el capítulo IV se describen las series de tiempo utilizadas, se detalla el periodo de estudio en relación con el ciclo solar de 11 años y se explica cómo se procesaron los datos. En los capítulos V y VI se exponen los resultados obtenidos de cada uno de los análisis wavelet utilizados y el análisis de resultados y, finalmente, en el capítulo VII se mencionan las conclusiones obtenidas de la investigación. Al final de las conclusiones se agrega una sección de reflexiones, en donde se expone una nueva interrogante generada a raíz de los resultados del estudio que podría ser de interés para otras áreas científicas.

Finalmente, es importante mencionar que a pesar de que la investigación arrojó resultados satisfactorios, tuvo la limitante de ser reducida en cuanto al periodo de estudio, ya que desafortunadamente los datos y registros de la enfermedad de Epilepsia no fueron suficientes en la base de datos utilizada. Lo anterior recalca nuevamente la sugerencia de fomentar una “cultura” de registro y de generación de bases de datos útiles en las instituciones de salud del país, para poder efectuar este tipo de investigaciones.

ANTECEDENTES

Diversos artículos han presentado evidencia de efectos provocados por campos electromagnéticos, frecuencias ultra- y extremadamente bajas y actividad geomagnética sobre el Sistema Nervioso Central (efectos a nivel celular, alteraciones en las ondas cerebrales y variaciones en la producción algunas neurohormonas). Entre estos estudios, cuya base principal es la consideración del cerebro como un órgano electromagnético altamente susceptible (Cherry, 2002), se encuentra el de Frey (1994), quien mostró que la exposición a campos electromagnéticos de frecuencias extremadamente bajas (ELFs, por sus siglas en inglés), entre 16.5 y 60Hz, afectan los sistemas de secreción de melatonina, serotonina y dopamina, posiblemente por la interferencia con los sistemas endógenos de ELFs. Cherry (2002) señaló que la reducción de melatonina está directamente correlacionada con los ciclos solares, los niveles de actividad solar geomagnética y con la señal de la Resonancia de Schumann.

Por otro lado, Cherry (2002) declaró que la relación entre los fenómenos del Clima Espacial y la Epilepsia era altamente probable, ya que los pacientes con Epilepsia son considerados importantes para la detección de los efectos agudos de la actividad geomagnética sobre las funciones neurológicas debido a la disfunción de la frecuencia cerebral basal que sufren. Lo anterior fue sustentado también por Belisheva *et al.* (1995), quienes señalaron que las variaciones locales de la actividad geomagnética pueden ser la principal razón de la modulación del estado funcional del cerebro; lo que significa que un nivel óptimo de actividad geomagnética, caracterizado por oscilaciones periódicas de cierta amplitud y rango de frecuencias, es demandado para el estado funcional cerebral, mientras que las variaciones en este nivel óptimo pueden ser asociadas con un estado cerebral inestable.

De acuerdo a Cherry (2002), diversas investigaciones realizadas con seres humanos, han mostrado que la Epilepsia y la muerte súbita están altamente correlacionadas con una mayor actividad solar y eventos de tormentas geomagnéticas. En estas investigaciones se señala además, que los incrementos en la actividad geomagnética, relacionados con la reducción de melatonina, causan actividad cerebral arrítmica en forma de Epilepsia.

Rajaram y Mitra (1981), encontraron coeficientes de correlación mayores al 50% entre el porcentaje anual de pacientes con ataques convulsivos en Calcuta, el promedio anual del número de manchas solares y el promedio anual de dos índices de actividad geomagnética durante el periodo de 1955 a 1971. Años más tarde, Stoupel *et al.* (1991) señalaron que los ataques epilépticos y los mareos estaban correlacionados con la actividad solar mensual y anual, con diferencias significativas entre hombres y mujeres.

Por otro lado, Sandyk y Anninos (1992a y b) reportaron que al aplicar débil estimulación magnética artificial externa a través de dispositivos electrónicos, sobre puntos focales previamente determinados en la cabeza en pacientes con Epilepsia, disminuían los episodios de actividad convulsiva en enfermos con crisis parciales y severas. Sandyk (1992) relacionó estos resultados con alteraciones en la actividad

circadiana de la glándula pineal, que modifican la liberación de melatonina y causan desincronización en el ritmo cerebral alfa.

Persinger y Psych (1995) identificaron una correlación significativa entre la muerte súbita epiléptica (SUDEP, por sus siglas en inglés) y periodos de alta actividad geomagnética. Señalaron que la incidencia mensual de muerte súbita estaba correlacionada con la incidencia mensual de eventos de actividad geomagnética mayores a 50nT. La SUDEP es aquella muerte inesperada de un paciente epiléptico no asociada a trauma ni a ahogamiento, con o sin evidencia de una crisis epiléptica durante la muerte y en cuya autopsia no se encuentra evidencia de causa anatómica o tóxica. Se asocia con depresión respiratoria, arritmia cardíaca, depresión cerebral y disfunción autonómica (Sperling, 2001).

Bureau y Persinger (1995) investigaron el tiempo que tomaba en iniciar un ataque epiléptico en función del nivel de la actividad geomagnética. Ellos observaron que al utilizar disparadores de crisis convulsivas en ratas, la latencia de la crisis disminuía dependiendo del nivel de actividad geomagnética durante ese día; y que con niveles iguales o mayores a 25nT el tiempo de inicio de las crisis era hasta 12% más rápido. En este trabajo se sustentó también la hipótesis de que la actividad geomagnética suprimía la melatonina circulante en el cerebro y reducía los umbrales convulsivos.

A finales de la década de los 90s, Mikulecky *et al.* (1996) señalaron que los ataques epilépticos estaban altamente correlacionados con la actividad geomagnética; y Karlov *et al.* (1996) compararon las reacciones de 18 individuos sanos y 20 pacientes epilépticos expuestos a campos magnéticos modulados en el rango de frecuencias del electroencefalograma y mostraron que la alteración del campo magnético elevó la actividad funcional del cerebro en los pacientes epilépticos, sincronizando estructuras e incrementando la actividad epiléptica o la activación del foco epiléptico. Años más tarde, reduciendo artificialmente la actividad geomagnética, también fueron capaces de aumentar la sincronización del ritmo alfa y las descargas de onda lenta generalizadas en personas con Epilepsia, lo cual demostró que el aumento en la actividad geomagnética produce des-sincronización del ritmo alfa haciendo más frecuentes las crisis convulsivas (Selitskii *et al.*, 1999).

BASES DEL PROYECTO

Planteamiento del Problema. Las evidencias presentadas en los estudios anteriormente mencionados encaminaron a cuestionar sobre la posibilidad de que otros fenómenos del Clima Espacial pudieran estar relacionados con la Epilepsia. Dentro de los fenómenos sugeridos se encontraban las manchas solares, las ráfagas solares, las eyecciones de masa coronal interplanetarias, los rayos cósmicos, los incrementos a nivel de suelo y la radiación solar, debido a que todos estos se relacionan directamente con los niveles de actividad solar, interactúan con la Tierra de diferentes maneras, y pueden afectar el funcionamiento del Sistema Nervioso Central y ser un factor externo relacionado a la Epilepsia. Por otro lado, ya que ningún estudio previo había utilizado análisis wavelet para determinar esta posible relación, se consideró conveniente utilizarlos en esta investigación debido a sus características analíticas.

Justificación. El presente trabajo contribuirá con las investigaciones realizadas anteriormente en este campo, al determinar si existe relación o no entre diferentes fenómenos del Clima Espacial y la Epilepsia. Además, en caso de que los resultados arrojados sean positivos, se podrá contribuir con aspectos médicos relacionados con esta enfermedad, como con la prevención de riesgos para estos pacientes en determinadas periodos y bajo ciertas condiciones de Clima Espacial.

Hipótesis. Dadas las manifestaciones neurológicas de la Epilepsia y los resultados de los trabajos previos, se espera que los fenómenos del Clima Espacial con los que la Epilepsia esté relacionada de manera más significativa sean aquellos relacionados con perturbaciones en el campo geomagnético, por ejemplo: las eyecciones de masa coronal interplanetarias y la actividad geomagnética. El tipo de relación que se espera encontrar entre estos parámetros es directamente proporcional.

Objetivo general. Determinar la relación entre diferentes fenómenos del Clima Espacial y diferentes marcadores de la Epilepsia mediante análisis wavelet a través de la obtención de periodicidades en común.

Objetivos particulares:

- Encontrar las periodicidades intrínsecas de los fenómenos del Clima Espacial y de los marcadores de la Epilepsia a través de análisis individuales realizados con la Transformada Wavelet Continua.
- Encontrar las periodicidades en común entre diferentes pares formados entre los fenómenos del Clima Espacial y los marcadores de la Epilepsia a través de la Transformada Wavelet Cruzada y la Transformada Wavelet de Coherencia.
- Determinar cuáles son las periodicidades comunes más significativas entre los fenómenos del Clima Espacial y los marcadores de la Epilepsia a través del análisis de los resultados obtenidos con la Transformada Wavelet Cruzada y la Transformada Wavelet de Coherencia.

CAPÍTULO I CLIMA ESPACIAL

1.1 ¿Qué es el Clima Espacial? El Clima Espacial está definido como las variaciones del entorno terrestre (magnetosfera y atmósfera) provocadas por fenómenos generados en el Sol y en el medio interplanetario. El estudio del Clima Espacial ha sido de gran interés en los últimos años, debido a su gran impacto en la tecnología y las telecomunicaciones, ya que determinadas condiciones en éste causan efectos negativos, muchas veces globales, en la operación de satélites y en los sistemas de comunicación y navegación. Por otro lado, también se ha observado que el Clima Espacial produce daños directos en la salud de los astronautas durante la realización de misiones espaciales fuera de la atmósfera terrestre; y actualmente algunas investigaciones han mostrado la posibilidad de que el Clima Espacial tenga relación con el clima terrestre y el estado de salud de los habitantes de la Tierra (Moldwin, 2008; Cordero *et al.*, 2013; CPUOSSTS, 2014).

Estudiar las variaciones del Clima Espacial a corto (horas y días) y mediano plazo (años y décadas) es importante para la humanidad, ya que los cambios que ocurran en estas escalas de tiempo podrían afectar de manera recurrente algunas actividades humanas. Uno de los métodos utilizados para investigar la relación entre los fenómenos del Clima Espacial y diferentes eventos ocurridos en el planeta, es a través de la búsqueda de tendencias, ciclos o periodicidades en común, ya que estas similitudes sugieren una posible correlación entre ambos parámetros. Sin embargo, es posible que las correlaciones resultantes varíen en relación a la latitud geográfica o al periodo estudiado (Otaola *et al.*, 2003). Un ejemplo de lo anterior se observó en las correlaciones entre el número de manchas solares y algunas condiciones del clima terrestre, las cuales presentaron inversiones en la correlación al paso de los años (Shaw, 1928).

1.2 Fenómenos del Clima Espacial. Los diversos fenómenos que provocan el Clima Espacial son conducidos principalmente por las variaciones temporales en el flujo de energía que sale del Sol, las cuales se relacionan estrechamente con los ciclos de actividad solar (Moldwin, 2008; Cordero *et al.*, 2013; Otaola *et al.*, 2003). El ciclo principal que determina el Clima Espacial es el ciclo solar de 11 años (ciclo de Schwabe), el cual fue descrito de acuerdo al número de manchas solares reportado durante decenas de años y que indica los periodos de máxima y mínima actividad solar. Se ha determinado que durante el máximo de actividad solar existe alta probabilidad de Clima Espacial severo, mientras que durante el mínimo de actividad solar se espera Clima Espacial predominantemente quieto (Moldwin, 2008).

Las variaciones más importantes que se han registrado en los procesos solares dependiendo de la fase del ciclo solar, se relacionan con la cantidad de radiación electromagnética de alta frecuencia emitida (ultravioleta, extremo ultravioleta y rayos X) y con el flujo de materia expulsada por el Sol en forma de viento solar, ráfagas solares o eyecciones de masa coronal (Otaola *et al.*, 2003).

Los fenómenos relacionados con el Clima Espacial se pueden clasificar en:

- 1) Fenómenos generados en el Sol: manchas solares (fotosfera solar), ráfagas solares (cromosfera solar) y eyecciones de masa coronal (corona solar).
- 2) Fenómenos en el medio interplanetario: viento solar, eyecciones de masa coronal interplanetarias, regiones de interacción de corrientes y regiones de interacción corrotantes.
- 3) Fenómenos registrados en la vecindad terrestre y en la superficie: condiciones del viento solar *in situ*, fenómenos en el campo geomagnético (tormentas y subtormentas geomagnéticas), ingreso de partículas altamente energéticas en capas inferiores de la atmósfera (eventos de protones solares relativistas y rayos cósmicos) y cantidad de radiación solar que impacta a la Tierra.

1.2.1 Fenómenos generados en el Sol

1.2.1.1 El Sol. El Sol es una estrella de la secuencia principal catalogada como enana de color amarillo de tipo espectral G2 (luminosidad clase V), compuesta por hidrógeno (90%), helio (9%), gases pesados como oxígeno y nitrógeno (~1%) y trazas de elementos más pesados como carbón, sodio, calcio y hierro (Figura 1). El Sol tiene un radio de $\sim 7 \times 10^5$ km y rota sobre su propio eje en aproximadamente 27 días. La rotación solar es diferencial, es decir que varía con la latitud: en el ecuador tarda ~ 25 días, mientras que en las regiones polares tarda ~ 35 días. El Sol mantiene su forma y estructura debido al equilibrio hidrostático: equilibrio entre la fuerza de gravedad (que actúa atrayendo el gas estelar hacia el centro, comprimiéndolo) y la variación radial de presión térmica (que actúa en sentido contrario, expandiéndolo; Otaola *et al.*, 2003).

El interior del Sol está formado por el núcleo, la zona radiativa y la zona convectiva, mientras que la atmósfera solar se divide en fotosfera, cromosfera, zona de transición y corona. El núcleo solar tiene una densidad de $\sim 150 \text{g/cm}^3$, una presión muy alta y una temperatura de ~ 15 millones de $^\circ\text{K}$, lo cual es suficiente para que se lleven a cabo las reacciones nucleares. En el núcleo solar, las reacciones de fusión nuclear son la fuente de la enorme cantidad de energía que fluye desde el interior del Sol hasta la superficie y posteriormente hacia el espacio. El transporte de esta energía y su modificación al dirigirse al exterior se lleva a cabo mediante dos procesos: primero por transferencia de radiación en la zona radiativa y luego por convección por debajo de la superficie solar en la

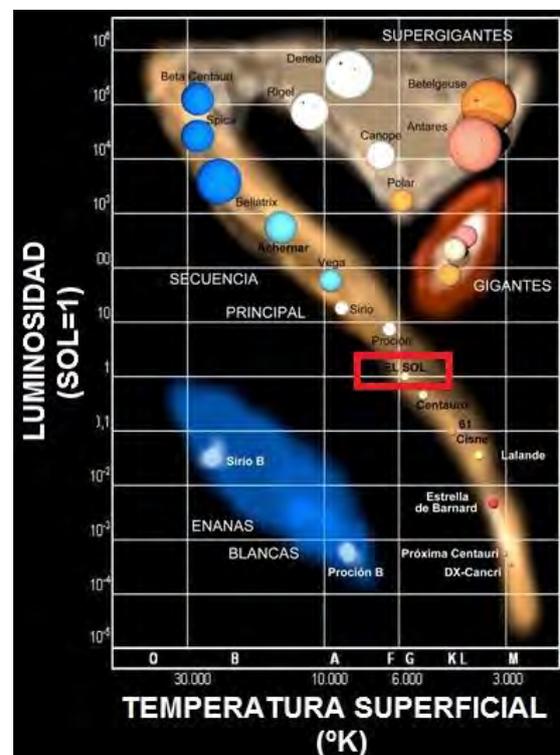


Figura 1. Diagrama de Hertzsprung- Russell en donde se observa la posición del Sol en la secuencia principal.

zona convectiva (Figura 2). En la zona radiativa la energía es absorbida, dispersada y reemitida, mientras que en la zona convectiva la energía es llevada hacia la superficie por el gas caliente que asciende. Durante la convección la energía se difunde a medida que el gas ascendente se expande, posteriormente éste se enfría y desciende nuevamente para calentarse y repetir el proceso (Otaola *et al.*, 2003).

La fotosfera solar, considerada como la superficie solar, es una capa delgada de aproximadamente 300km y es de donde proviene la mayor parte de la luz que observamos (Figura 2). Su temperatura disminuye con la altura desde $\sim 8500^{\circ}\text{K}$ en su base hasta $\sim 4500^{\circ}\text{K}$ en la parte superior, con una temperatura media de $\sim 5800^{\circ}\text{K}$. En alta resolución la fotosfera se observa como una región granulada que se asemeja a una sustancia en ebullición (Otaola *et al.*, 2003).

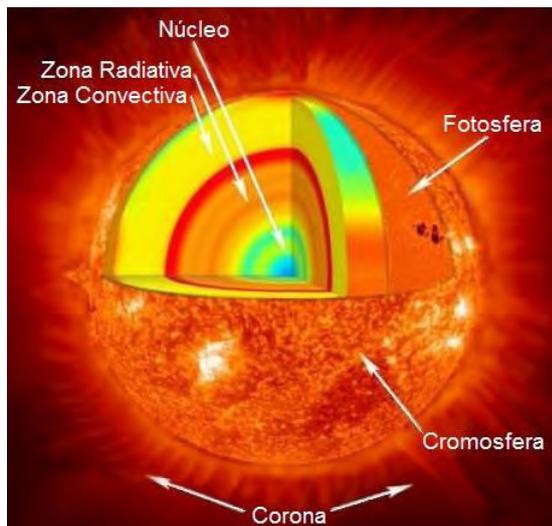


Figura 2. Estructura del Sol.

La cromosfera solar es la región comprendida desde la parte superior de la fotosfera hasta una altura aproximada de 2500km; comienza en donde el gas alcanza una temperatura mínima de 7000°K y la densidad del gas decrece rápidamente (Figura 2). En esta región la energía mecánica generada por la convección y/o la rotación solar se disipa, por lo que la temperatura se incrementa bruscamente hacia afuera, pasando por la zona de transición (capa de algunas centenas de kilómetros), desde $\sim 25000^{\circ}\text{K}$ hasta 1-2 millones de $^{\circ}\text{K}$ (Otaola *et al.*, 2003).

La corona solar es la capa más externa del Sol (Figura 2) y su forma varía con la actividad solar (Figura 3). Cuando el Sol está más activo la corona se observa muy brillante y ampliamente distribuida sobre las regiones ecuatoriales y polares, siendo más prominente en áreas con alta actividad. Cuando el Sol está en el mínimo de actividad la corona se observa opaca y más o menos confinada a las regiones ecuatoriales, con hoyos coronales cubriendo las regiones polares (Figura 3). La temperatura de la corona alcanza de 1 a 2 millones de $^{\circ}\text{K}$ y es una región sumamente tenue, que debido a su alta temperatura, se expande continuamente hacia el espacio formando el viento solar (Otaola *et al.*, 2003).

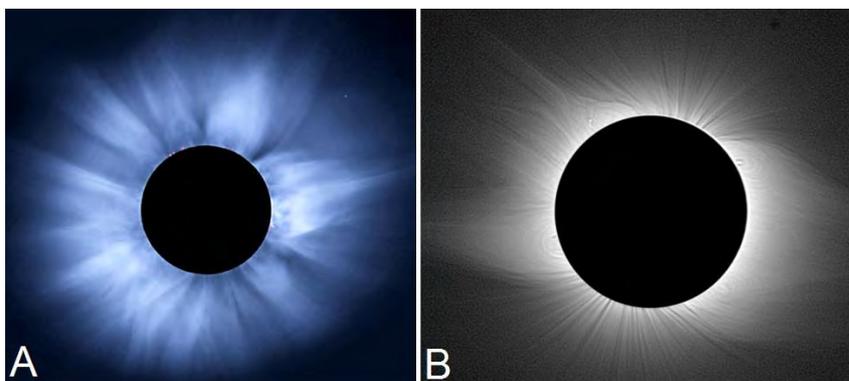


Figura 3. A. Estructura de la corona solar en periodo de máximo solar. Eclipse solar observado desde Chisamba, Zambia en 2001. B. Estructura de la corona solar en periodo de mínimo solar. Eclipse solar total observado desde Novosibirsk, Rusia en 2008.

El Sol posee un campo magnético generado por el dínamo solar, que cambia respecto al ciclo solar de 11 años (Otaola *et al.*, 2003). Cuando el Sol se encuentra en el mínimo de actividad, la configuración del campo magnético es casi dipolar; mientras que cuando se aproxima al máximo solar, la configuración del dipolo desaparece y el Sol llega a estar magnéticamente desorganizado y altamente estructurado (Moldwin, 2008; Figura 4). Durante el mínimo de actividad, la intensidad del campo magnético solar en la superficie cerca de las regiones polares es de $\sim 2 \times 10^2 \mu\text{T}$, mientras que en el interior cerca de la zona convectiva, donde las líneas de campo magnético se tuercen y generan burbujas, el campo magnético es más intenso (Otaola *et al.*, 2003).

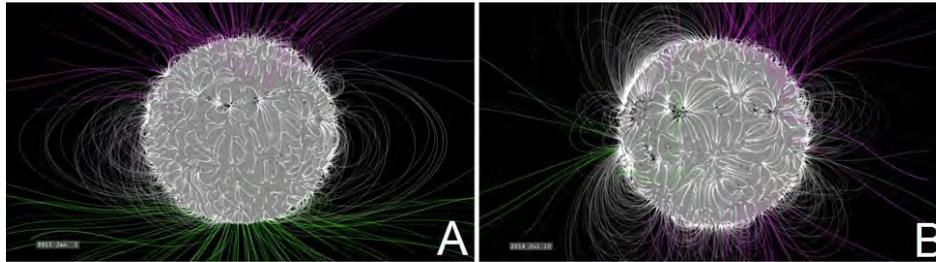


Figura 4. **A.** Estructura del campo magnético solar tres años después del mínimo solar. **B.** Estructura del campo magnético solar en periodo de máximo solar. La imagen muestra la relativa complejidad del campo magnético solar entre Enero de 2011 (izquierda) y Julio de 2014 (derecha). En Enero del 2011 el campo magnético es todavía relativamente simple, con las líneas de campo abiertas concentradas cerca de los polos. En Julio de 2014 la estructura del campo magnético es mucho más compleja, con líneas de campo cerradas y abiertas sobre toda la superficie.

Además del ciclo de solar de 11 años, existen otros ciclos originados por procesos solares que pueden estar relacionados con los fenómenos del Clima Espacial y que pueden afectar a la

Tierra (Otaola *et al.*, 2003): ciclo del proceso dinámico, tiempo de respuesta del Sol como un todo a alguna perturbación que modifica el equilibrio impuesto por la fuerza de gravedad, dura ~ 0.5 horas; ciclo del proceso convectivo, tiempo necesario para que una burbuja de plasma (gas ionizado), en la zona convectiva llegue a la superficie solar y regrese al interior del Sol, dura ~ 1 mes; rotación solar, dura ~ 27 días; ciclo solar magnético completo, dura ~ 22 años y corresponde al tiempo característico de variación del campo magnético solar a gran escala. Este último ciclo se contabiliza cada vez que los polos heliográficos coinciden con los polos del campo magnético solar, o bien, cada vez que están en direcciones opuestas.

1.2.1.2 Manchas solares. Las manchas solares son regiones de la fotosfera solar que se observan más oscuras que la superficie solar circundante y dentro de las cuales el campo magnético es ~ 1000 veces más intenso que el registrado en la superficie que las rodea ($3 \times 10^5 - 4 \times 10^5 \mu\text{T}$). La elevada intensidad del campo magnético es la que inhibe los movimientos convectivos solares, ocasionando que el plasma en estas regiones se enfríe y sea más oscuro (Otaola *et al.*, 2003; Moldwin, 2008; Meyer, 2007). Las manchas solares poseen dos regiones principales: la umbra (región central y más oscura) y la penumbra (región menos oscura que rodea a la umbra), suelen tener aproximadamente 10^4 km de ancho y un tiempo de vida que va de días a semanas (Moldwin, 2008, Meyer, 2007). Las manchas solares son regiones de baja densidad, por lo que se observan como depresiones en la superficie del Sol; en ellas la densidad de

energía magnética es mayor que la densidad de energía térmica (Moldwin, 2008; Meyer, 2007; Otaola *et al.*, 2003; Figura 5).

El número de manchas solares sobre el disco solar y su ubicación cambian continuamente, variando con el ciclo solar de 11 años. Cuando el Sol está más activo, se observa mayor número de manchas, mientras que cuando es menos activo, se observa menor cantidad. Las manchas solares pueden aparecer en pares, en grupos, o bien, pueden observarse manchas de gran tamaño relacionadas con grupos de manchas pequeñas (Moldwin, 2008, Meyer, 2007).

El campo magnético en las manchas solares tiene generalmente una polaridad y es ordenado. Cuando las manchas aparecen en pares, éstas pueden tener polaridades opuestas y generar bucles de campo magnético alrededor de la superficie solar para conectarse entre sí (Moldwin, 2008, Meyer, 2007; Figura 6). En cada ciclo solar todos los pares de manchas en un hemisferio dado tienen la misma configuración magnética, la cual es determinada por la polaridad de la mancha principal (primera en aparecer en el lado este del Sol con polaridad opuesta a la determinada el ciclo solar anterior) y es opuesta entre los hemisferios. Por ejemplo, si la mancha principal en el hemisferio norte tiene polaridad norte, entonces todos los pares de manchas en ese hemisferio tendrán una configuración N-S (norte-sur). En el hemisferio opuesto, la mancha principal será de polaridad sur y todos los pares de manchas tendrán configuración S-N (sur-norte; Moldwin, 2008).

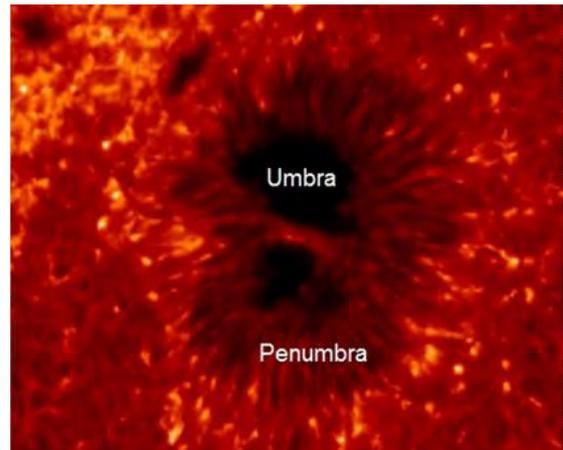


Figura 5. Mancha solar y sus regiones principales: umbra y penumbra.



Figura 6. Par de manchas solares con diferente polaridad conectadas por líneas de campo magnético.

Las periodicidades dominantes que se han observado en la actividad solar basadas en el número de manchas solares son de 180, 80, 11, 8, 7, 5.4, 4.7, 3.5, 2.1, 1.3, 0.9 y 0.4 años. De acuerdo a Otaola *et al.* (2003), Velasco *et al.* (2017) y Pérez-Peraza y Juárez-Zuñiga (2015): el ciclo de 2.1 años está relacionado con la producción de neutrinos en el interior del Sol,

es decir, con cambios en la generación de reacciones nucleares; las periodicidades entre 0.6 y 4 años están catalogadas como Oscilaciones Cuasi Bienales, asociadas con procesos del dínamo solar; el ciclo de 5.4 años corresponde al ciclo Cuasi Quinquenal, relacionado con una asimetría en la actividad solar entre los ciclos pares y los ciclos nones solares; el ciclo de 80 años o ciclo de Gleissberg se asocia con el número máximo de manchas solares de cada ciclo con respecto al tiempo; y el ciclo de 180 años es identificado como un ciclo doble de Gleissberg.

1.2.1.3 Ráfagas solares. Las ráfagas solares son liberaciones esporádicas, en pocos minutos u horas, de gran cantidad de energía electromagnética en todas las longitudes de onda, que pueden alcanzar temperaturas de 100 millones de °K (Moldwin, 2008). Las ráfagas solares ocurren en las regiones activas del Sol, regiones situadas sobre grupos de manchas solares en donde las líneas del campo magnético son cerradas, siendo éste muy intenso, de varios miles de Gauss, y complejo (Otaola *et al.*, 2003). La energía de las ráfagas solares es tan intensa que las partículas cargadas que constituyen la atmósfera solar, protones, partículas alfa y electrones, son arrojadas hacia el espacio a velocidades cercanas a la velocidad de la luz (Moldwin, 2008; Otaola *et al.*, 2003; Figura 7).

La energía de las ráfagas solares que es eyectada al espacio interplanetario en forma de partículas altamente energéticas, radiación electromagnética y plasma rápido (~1000km/s) impacta frecuentemente la alta atmósfera de la Tierra (Moldwin, 2008; Otaola *et al.*, 2003) y reacciona con sus átomos produciendo ionización y

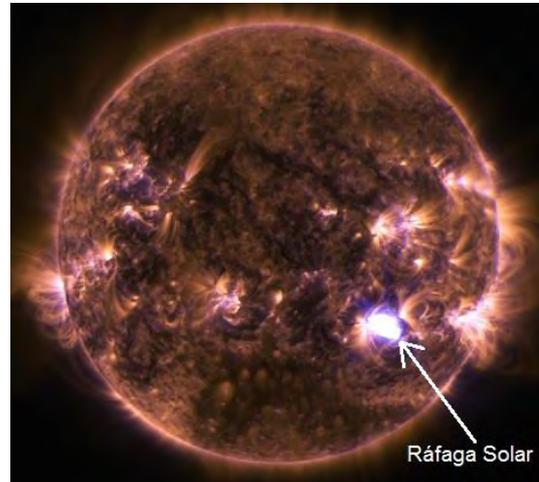


Figura 7. El Sol emitiendo una Ráfaga Solar de nivel medio, clase M6.1, en 2014.

excitación. Una precipitación excesiva de partículas energéticas a través de la ionosfera terrestre causa los llamados eventos de absorción en los casquetes polares alrededor de los 50-90km de altura. Estos eventos son absorciones anormales de las ondas de radio de varios MHz de frecuencia que duran de 1 a 6 días. Por otro lado, los rayos X emitidos por las ráfagas producen perturbaciones ionosféricas súbitas, durante las cuales el flujo de aire estratosférico se incrementa durante el segundo o tercer día después de la ráfaga, y la circulación de la baja atmósfera se modifica significativamente (Otaola *et al.*, 2003). En Velasco *et al.* (2017) se describió que las periodicidades más relevantes de las ráfagas solares son de 10.4, 5.2, 3.27, 2.45, 1.73, 0.7, 0.4 y 0.2 años.

1.2.1.4 Eyecciones de masa coronal. Las eyecciones de masa coronal (CMEs, por sus siglas en inglés) son enormes bucles de plasma que contienen entre 10^{12} y 10^{13} Kg de materia y que se propagan del Sol hacia afuera con velocidades de ~ 10^3 km/s. Las CMEs comienzan frecuentemente con velocidades por debajo de la velocidad de escape de Sol (~617 km/s) y posteriormente aceleran de manera gradual (Meyer, 2007).

En una CME, la energía magnética es progresivamente transferida a las partículas a medida que la materia se desplaza hacia afuera. Esta transferencia de energía es utilizada para levantar al plasma contra la gravedad solar, darle movimiento masivo y calor (Vourlidas *et al.*, 2000).

La estructura de las CMEs está enhebrada por líneas de campo magnético de alta intensidad que asemejan un tubo de flujo torcido. Cerca del Sol éstas aparecen como un conjunto de líneas de campo magnético cerradas ancladas en ambos extremos, sin embargo, a medida que se mueven hacia afuera del Sol, las líneas pueden desprenderse (Figura 8).

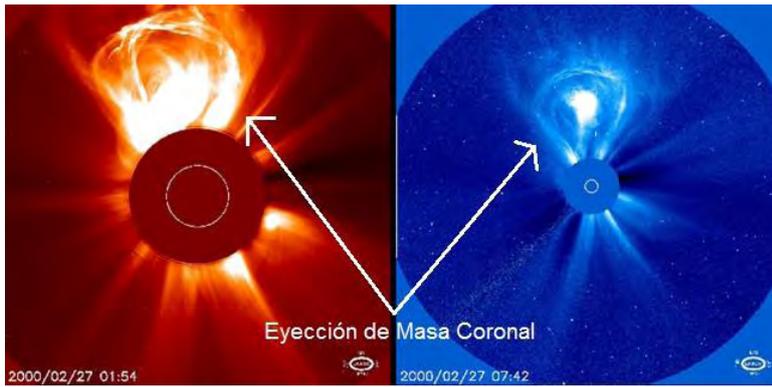


Figura 8. CME detectada en febrero del año 2000 por la nave SOHO LASCO C2 y C3.

Las CMEs están frecuentemente asociadas con la erupción de una prominencia solar y ocurren en promedio una vez por semana durante el mínimo de actividad solar y dos o más por día durante los máximos de actividad solar (Crooker *et al.*, 1997; Meyer, 2007).

1.2.2 Fenómenos en el medio interplanetario

1.2.2.1 Viento solar. El viento solar es un plasma, compuesto principalmente de protones, núcleos de helio y electrones, que es expulsado del Sol a velocidades supersónicas debido a la alta temperatura de la corona. El viento solar transporta en forma de radiación alrededor de una diez mil millonésima parte de la energía que emite el Sol hacia el espacio y, dada su alta conductividad eléctrica, desplaza y expande al campo magnético solar por el medio interplanetario. A este campo desplazado se le denomina campo magnético interplanetario (CMI). En el plano de la eclíptica, el CMI forma una espiral debido a la rotación solar, denominada espiral de Arquímedes, mientras que en las regiones polares los campos magnéticos tienen una estructura probablemente radial, ya que no son afectados por la rotación (Otaola *et al.*, 2003; Moldwin, 2008; Figura 9).

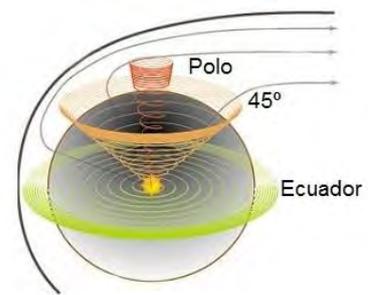


Figura 9. Formas de las líneas del CMI en diferentes latitudes.

Como consecuencia de la expansión del viento solar, las líneas del campo magnético que salen del hemisferio norte solar están separadas de las que regresan al hemisferio sur, por una hoja de corriente neutra que se encuentra cercana al plano ecuatorial del Sol. Esta hoja de corriente se encuentra ondulada hacia arriba y hacia abajo (semejante a una falda ondulante de bailarina) según se extiende en el medio interplanetario, debido a que los ejes magnético y de rotación del Sol no coinciden. Esta característica

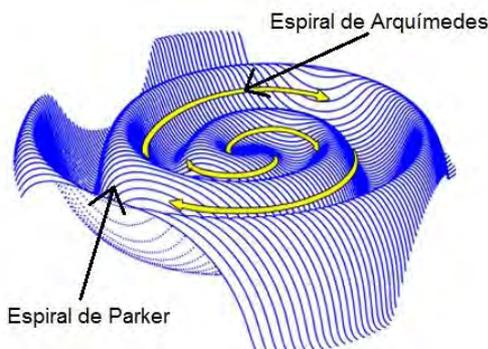


Figura 10. Representación de la Espiral de Arquímedes y de la Espiral de Parker.

del CMI se denomina espiral de Parker (Figura 10). Las ondulaciones de la espiral de Parker exponen a la Tierra al paso de diferentes configuraciones del viento solar. Por ejemplo, durante el mínimo solar el ángulo de doblamiento de la hoja de corriente es pequeño, mientras que en los periodos de alta actividad, ésta se puede deformar hasta 60° (Otaola *et al.*, 2003; Figura 11).

La velocidad del viento solar a una altura de un millón de kilómetros sobre la superficie solar aumenta hasta $\sim 800 \text{ km/s}$ y se mantiene aproximadamente constante hasta los límites de la heliosfera; sin embargo, puede alcanzar hasta 10^3 km/s .

El viento solar es tan poco denso que sus partículas atraviesan una unidad astronómica casi sin colisiones. A la altura de la órbita de la Tierra tiene una densidad típica de $5\text{-}10 \text{ partículas/cm}^3$.

Al alcanzar la órbita terrestre, el viento solar pasa por la Tierra y la envuelve, modificando y perturbando su campo magnético (Otaola *et al.*, 2003) y su ambiente espacial de diferentes maneras: genera radiación corpuscular que bombardea la atmósfera superior del planeta, provoca auroras y grandes corrientes eléctricas (Moldwin, 2008).



Figura 11. Representación del CMI atravesando la Tierra.

1.2.2.2 Eyecciones de masa coronal interplanetarias. Las eyecciones de masa coronal interplanetarias (ICMEs, por sus siglas en inglés) son perturbaciones de gran escala resultado del rápido avance de las CMEs provenientes del Sol a través del medio interplanetario. Las ICMEs están constituidas por líneas de campo magnético enroscadas y ancladas a la superficie solar, generalmente llevan helicidad magnética (conservación del giro de partículas a lo largo de un eje perpendicular) y se aprecian como tubos de flujo en hélice. Conforme se alejan de la superficie solar se piensa que las líneas de campo magnético ancladas a ésta se desacoplan. Las ICMEs poseen un gran campo magnético y, como consecuencia de su geometría y expansión, exhiben temperaturas bajas en comparación con el viento solar circundante y electrones altamente energéticos que se mueven hacia el Sol a lo largo de las líneas de campo (Meyer, 2007). Además, estas estructuras pueden mostrar composiciones de iones pesados, posiblemente asociados con ráfagas solares generadas en la corona solar (Russell *et al.*, 2016).

Las ICMEs producen grandes perturbaciones en su trayectoria a través del medio interplanetario, ya que cuando se mueven más rápido que el viento solar que las rodea, lo empujan y comprimen junto con su campo magnético; mientras que cuando se mueven más lento, éstas son empujadas por el viento solar. Por lo tanto, las ICMEs que se mueven más rápido que el viento solar tienden a ser desaceleradas, mientras que aquellas moviéndose más lento tienden a ser aceleradas. Debido a lo anterior, en la mayoría de los casos la velocidad de las ICMEs medida a 1 UA permanece en el rango de las velocidades del viento solar ambiente de $\sim 300\text{-}400 \text{ km/s}$ (Meyer, 2007; Russell *et al.*, 2016).

Cuando la diferencia de velocidad entre la ICME y el viento solar circundante es lo suficientemente grande, las perturbaciones de presión producen choques. En algunos registros se ha observado la presencia de un choque, seguido por un intervalo de plasma de viento solar comprimido y calentado (Russell *et al.*, 2016; Figura 12).

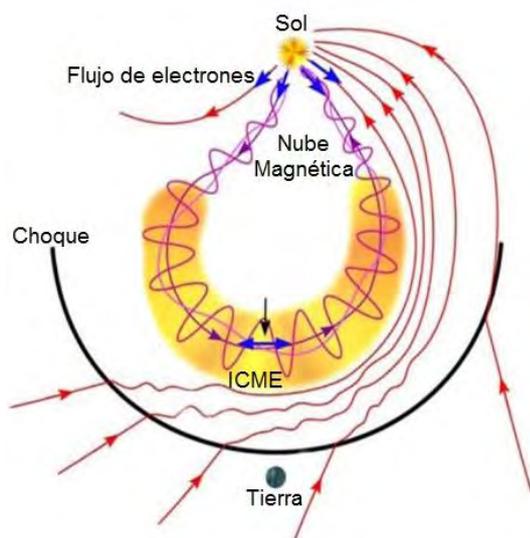


Figura 12. Representación de una ICME y el choque río arriba indicando el campo magnético, el plasma y el flujo de electrones supraterrales del viento solar.

la eyección, solo en parte de ésta, o bien, pueden presentarse como una sucesión de rotaciones. En estos fenómenos el campo magnético incrementado y ligeramente rotado es referido como nube magnética, y es interpretado como un gran tubo de flujo originado con la CME (Russell *et al.*, 2016).

Finalmente, es importante remarcar que aunque las ICMEs tienen características en común con las CMEs, su naturaleza transitoria hace más difícil su estudio. Las ICMEs son frecuentemente observadas a la altura de la eclíptica (donde la Tierra y la mayoría de las naves espaciales permanecen) y sus medidas *in situ* son detalladas en pocos lugares, por lo que no se puede deducir su estructura completa, su geometría básica ni la firma clara de sus efectos sobre el viento solar (Meyer, 2007).

1.2.2.3 Regiones de interacción de corrientes y regiones de interacción corrotantes. En algunas series de tiempo que describen las condiciones del viento solar se observan compresiones en densidad y campo magnético previos a la presencia de corrientes de altas velocidades. Estos cambios en los parámetros de las series de tiempo son identificados como regiones de interacción de corrientes (SIRs, por sus siglas en inglés) o como regiones de interacción corrotantes (CIRs, por sus siglas en inglés) si ocurren con una periodicidad de ~ 27 días.

Las SIRs y las CIRs ocurren donde sea que dos corrientes de viento solar de diferentes velocidades se encuentran, ya que la interpenetración del plasma magnetizado sin colisión no es posible (Russell *et al.*, 2016). La interacción entre corrientes adyacentes genera compresiones locales entre el viento de alta y baja velocidad, y redistribuye el momento entre las diferentes parcelas de flujo, disminuyendo la velocidad del viento solar rápido y acelerando el viento solar lento. Cuando la diferencia de velocidad entre la corriente lenta y la corriente rápida es mayor a la velocidad magnetosónica (velocidad de la onda generada por los iones en un plasma magnetizado) se forman choques que delimitan a las SIRs y a las CIRs (Russell *et al.*, 2016; Figura 13).

Cuando las ICMEs viajan hacia la Tierra, pueden alcanzar sus inmediaciones en pocos días y provocar perturbaciones en el ambiente terrestre. Se considera que éstas pueden formar barreras para los rayos cósmicos, acelerar partículas y, particularmente las que son rápidas, provocar tormentas geomagnéticas. Una ICME tarda entre 1 y 2 días en pasar por la Tierra, lo que implica que poseen escalas de longitud de ~ 0.25 UA (Moldwin, 2008; Meyer, 2007).

Alrededor de un tercio de las veces, los campos magnéticos de las eyecciones exhiben lentas y suaves rotaciones con una componente de campo magnético (B_z) significativa. Estas rotaciones pueden estar en toda

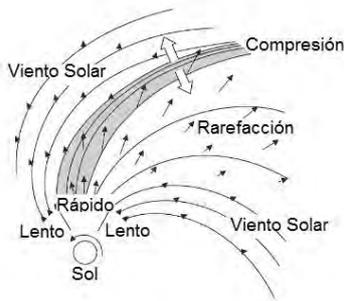


Figura 13. Formación de una SIR o CIR cuando un flujo de alta velocidad corre dentro de un flujo de menor velocidad.

Las diferencias de velocidad entre parcelas de viento solar dependen de la zona del Sol de la cual son eyectadas. Por ejemplo, durante las fases mínimas del ciclo solar, el viento solar eyectado de altas latitudes es un flujo rápido (~500 a 800 km/s), proveniente de los hoyos coronales polares y relativamente sin estructura; mientras que el viento solar cercano a la eclíptica, que afecta a la Tierra y a los planetas, es generalmente más lento (~300 a 400 km/s) y más denso (Russell *et al.*, 2016).

1.2.3 Fenómenos registrados en la vecindad terrestre y en la superficie

1.2.3.1 Magnetosfera terrestre. El campo magnético de la Tierra o magnetosfera es una coraza magnética que se extiende desde el núcleo terrestre hasta el espacio exterior, se origina en el interior de la Tierra y se explica por la teoría del dínamo. Cerca de la Tierra es parecida a un dipolo (con el eje magnético inclinado 11° respecto al eje geográfico) y a distancias más lejanas es semejante a un cometa, debido a su interacción con el viento solar. A nivel de superficie la intensidad geomagnética en el ecuador geográfico es de $\sim 3 \times 10^{-5}$ T y cerca de los polos geográficos de $\sim 7 \times 10^{-5}$ T (Otaola *et al.*, 2003). La magnetosfera contiene plasma y campo magnético de origen terrestre, presenta regiones de radiación atrapada, como los cinturones de Van Allen, y una multitud de partículas cargadas de todas energías. Alrededor de la magnetosfera se pueden identificar diferentes regiones: Espacio interplanetario, es la región más externa en donde las propiedades del viento solar no están perturbadas (excepto en las regiones en donde existe antechoque) por la presencia de la Tierra y su campo magnético. Choque de proa, se presenta solo del lado día de la Tierra y es una zona en donde el paso del viento solar produce

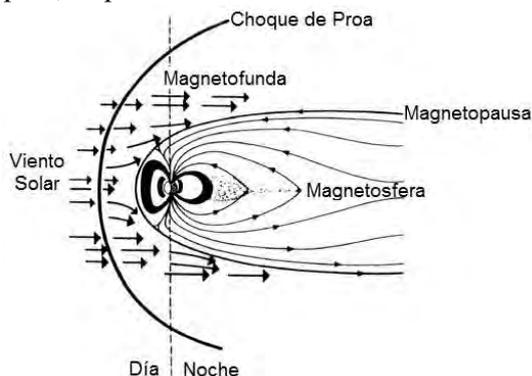


Figura 14. La magnetosfera terrestre y sus alrededores.

un choque sin colisiones debido a su velocidad; el plasma que atraviesa el choque es calentado comprimido y desacelerado. Magnetofunda, es la región en donde se acumula el plasma modificado por el choque de proa. Magnetopausa, es la frontera que separa a la magnetofunda de la magnetosfera (Figura 14).

Debido a su forma de cometa, la magnetosfera terrestre se extiende hacia el Sol $\sim 10 R_T$ (esta magnitud varía en relación a la presión dinámica del viento solar), mientras que en dirección antisolar varios miles de R_T , formando la cola magnetosférica. Alrededor de los $16 R_T$ en la zona ecuatorial de la cola magnetosférica la magnitud del campo magnético decrece a un valor muy pequeño y cambia de dirección abruptamente. Este cambio genera una hoja de corriente neutra a la altura del ecuador, cuyo grosor es de 0.1 a $1 R_T$. La hoja de corriente neutra presenta plasma confinado entre los campos magnéticos de direcciones opuestas y separa las líneas de campo que surgen del polo norte y del polo sur (Otaola *et al.*, 2003).

1.2.3.2 Tormentas geomagnéticas.

Las tormentas geomagnéticas son grandes perturbaciones provocadas por corrientes de partículas y campo magnético del viento solar que golpean la magnetosfera terrestre (Moldwin, 2008). De acuerdo a Otaola *et al.* (2003) el tiempo que le toma a la magnetosfera responder a los cambios en las condiciones del medio interplanetario se ha estimado entre 30 y 50 minutos, lo cual implica que la magnetosfera debe

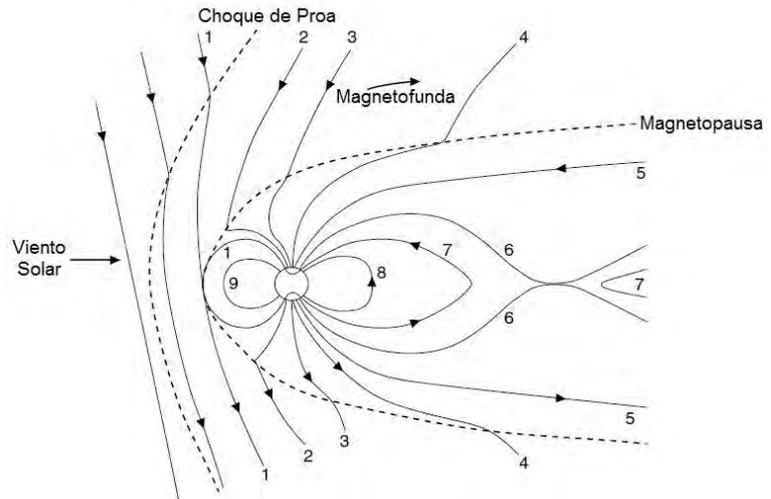


Figura 15. Representación del desplazamiento de las líneas del campo magnético interplanetario como resultado del proceso de reconexión magnética sobre el lado día de la Tierra y en la magnetocola.

acumular cierta cantidad de energía antes de que se registren perturbaciones en el campo geomagnético como cambios en las corrientes, en la ionosfera o en los campos electromagnéticos. Se ha observado que las CMEs y las CIRs son principalmente responsables de causar tormentas geomagnéticas (Moldwin, 2008).

Una tormenta geomagnética comienza cuando una corriente de viento solar alcanza a la magnetosfera y la comprime del lado día. Algunas veces en este lado se observa un incremento súbito del valor del campo geomagnético de 5×10^{-8} T a 1×10^{-7} T en un minuto o menos; denominado comienzo repentino (SC, por sus siglas en inglés). Posteriormente, se observa la fase principal, en la cual ocurre la reconexión magnética, proceso en el cual las líneas de campo provenientes del viento solar y las líneas del campo geomagnético de direcciones opuestas se combinan. En este caso, si una línea de campo magnético interplanetario tiene una componente dirigida hacia el sur, ésta se reconecta con las líneas del campo de la Tierra orientadas en dirección norte. Una vez ocurrida la reconexión, se modifica la

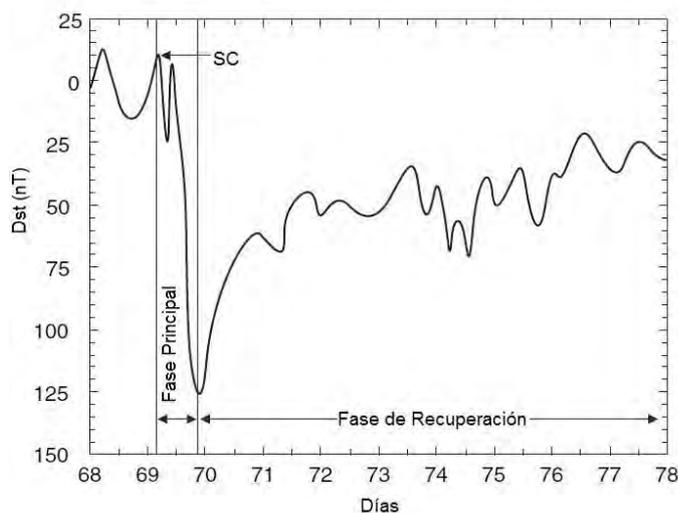


Figura 16. Fases de una tormenta geomagnética.

topología de la magnetosfera y se forman nuevas líneas de campo, las cuales son arrastradas en dirección antisolar por el viento solar (Figura 15). Durante esta fase el plasma del viento solar genera un campo eléctrico en latitudes bajas alrededor de la Tierra dirigido hacia el oeste, formando una corriente de anillo. Además, la energía magnética es convertida en energía cinética de las partículas, incrementando el flujo de energía y momento de éstas dentro de la magnetosfera y la tasa de convección. Este

flujo convectivo parece ser el proceso dominante en la aceleración e inyección de plasma energético a la magnetosfera y al interior de la Tierra durante las tormentas geomagnéticas (Moldwin, 2008; Otaola *et al.*, 2003). Finalmente, se observa la fase de recuperación, durante la cual la intensidad del campo geomagnético recupera su valor normal, debido a la pérdida y dispersión gradual de los iones de la corriente de anillo. Este proceso puede durar varios días (Otaola *et al.*, 2003; Figura 16).

Los efectos de las tormentas geomagnéticas pueden monitorearse mediante el índice magnético denominado *Disturbed Storm Time* (Dst), el cual mide la desviación de la componente horizontal del campo geomagnético en la zona ecuatorial a partir de su valor normal en tiempo estable (Moldwin, 2008; Otaola *et al.*, 2003).

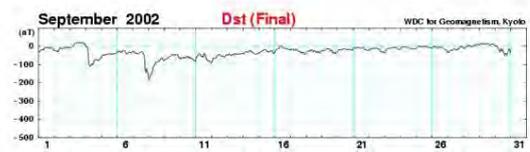
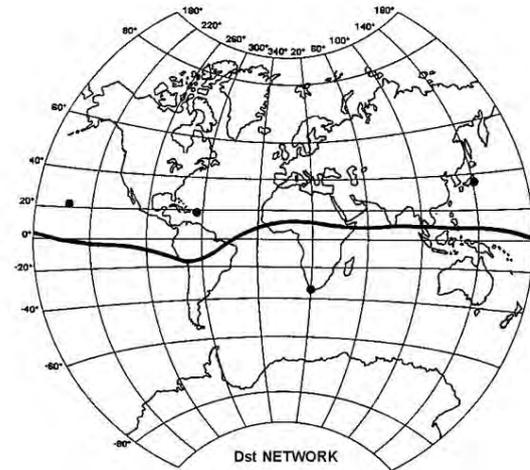


Figura 17. Red de observatorios del índice Dst. Ejemplo de su visualización, datos de septiembre de 2002.

Cuando este índice es negativo, indica un decremento en el campo geomagnético, el cual es causado por la intensificación de la corriente de anillo (Moldwin, 2008). Cuando es positivo indica compresión de la magnetosfera debido a la presión del viento solar. En las variaciones del índice Dst se pueden observar las fases de una tormenta geomagnética: SC, fase principal y fase de recuperación (Moldwin, 2008; Figura17).

Fluctuación en nT	Valor de K
0-5	0
5-10	1
10-20	2
20-40	3
40-70	4
70-120	5
120-200	6
200-330	7
330-500	8
>500	9

Tabla 1. Tabla de conversión entre valores de la fluctuación del campo magnético en nT a valores de K.

Además del índice Dst, existen otros indicadores de la actividad geomagnética: índice Kp e índice aa. El índice Kp (K planetario) es la extensión planetaria del índice K y es utilizado por el Space Weather Prediction Center para decidir si las alertas geomagnéticas y los avisos necesitan ser activados para usuarios quienes son afectados por estas

perturbaciones. El índice K es derivado de las máximas fluctuaciones de las componentes horizontales del campo geomagnético registradas durante periodos de tres horas en nT, las cuales se asocian con un entero en el rango de 0 a 9, siendo 0 sin o con ligeras perturbaciones, 1 calma y 5 o más una tormenta geomagnética. La Tabla 1 muestra las relaciones de conversión entre las fluctuaciones en nT y los valores de K. El índice Kp es derivado en el NOAA Space Weather

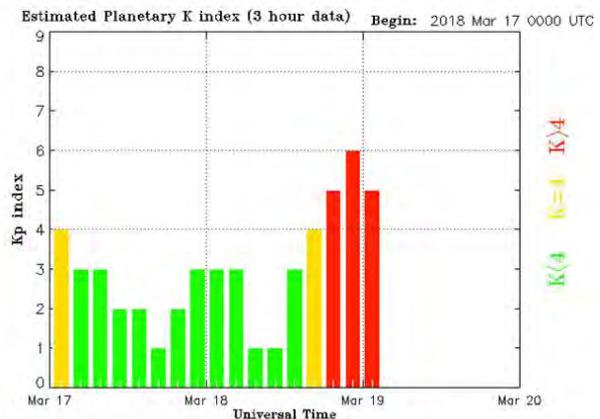


Figura 18. Ejemplo de la visualización de los datos del índice Kp del 17 al 20 de marzo de 2018.

Prediction Center a través de la media estandarizada de los índices K de diversos observatorios magnéticos distribuidos en la superficie terrestre entre 44° y 60° grados de latitud geomagnética norte o sur. Los avisos y alertas son emitidos cuando los valores del índice Kp son ≥ 4 (SWPC, 2011; Figura 18).

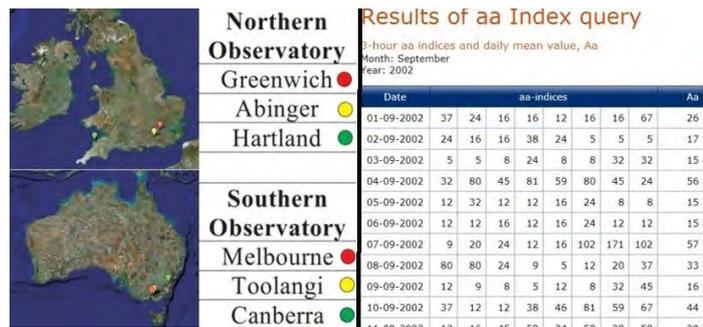


Figura 19. Red de observatorios del índice aa y un ejemplo de la visualización de los datos solicitados del mes de septiembre de 2002.

El índice aa es un índice de actividad geomagnética global simple, derivado de los índices K de dos observatorios magnéticos geomagnéticamente antipodales (diametralmente opuestos) que poseen amplitudes equivalentes en nT. El valor final del índice aa, se obtiene al realizar el promedio de los valores de aa_n y aa_s ; en donde aa_n es el valor del índice obtenido para el observatorio ubicado cerca del polo norte y aa_s el valor del índice obtenido para el observatorio ubicado en el polo sur. El índice aa proporciona valores cada tres horas y genera datos geofísicos globales que son utilizados para analizar fenómenos magnéticos e ionosféricos (Clarke y Clilverd, 2007; Mayaud, 1972; Figura 19).

1.2.3.3 Subtormentas geomagnéticas. Las subtormentas geomagnéticas son pequeñas perturbaciones registradas en la magnetosfera terrestre que ocurren con mayor frecuencia que las tormentas geomagnéticas, cuatro veces por día en promedio (Moldwin, 2008).

Las subtormentas se caracterizan por la presencia de una reconexión magnética en la magnetocola de la magnetosfera, la cual provoca una desconexión de la hoja de plasma y genera un plasmóide. Este plasmóide provoca que gran cantidad de energía sea rápidamente liberada a lo largo de las líneas de campo magnético en dirección a los anillos aurales terrestres (Figura 20). El incremento de las auroras está asociado con el aumento de las corrientes ionosféricas aurales medidas a través del índice Auroral

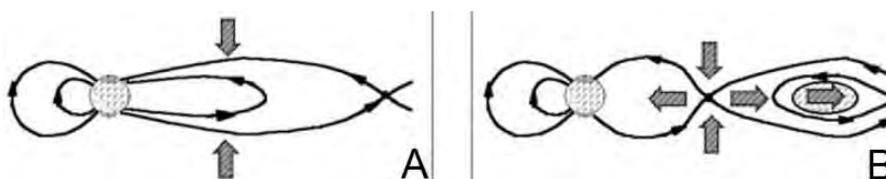


Figura 20. Esquema de las líneas de campo magnético en la magnetocola antes de (A) y durante (B) una subtormenta geomagnética. Una reconexión es formada en la magnetocola, la cual desconecta a la hoja de plasma y forma un plasmóide.

Electrojet (AE), el cual evalúa la diferencia entre el campo magnético producido por dos sistemas de corrientes ionosféricas: el electrojet

del este y electrojet del oeste. Durante el comienzo de una subtormenta, el electrojet del oeste incrementa y produce un decremento en el campo magnético horizontal en la superficie terrestre; mientras que el electrojet del este genera un incremento en el campo magnético de la Tierra bajo la aurora (Figura 21).

Existen tres diferencias principales entre las tormentas geomagnéticas y la subtormentas geomagnéticas:

1. Sus escalas de tiempo: Las tormentas geomagnéticas ocurren con menor frecuencia y duran varios días. Las subtormentas geomagnéticas son comunes, ocurren muchas veces por día, y generalmente tienen escalas de tiempo de una hora.

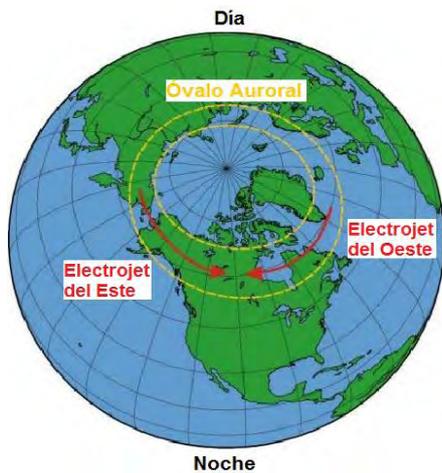


Figura 21. Electrojets del este y del oeste y óvalo auroral.

2. Su extensión espacial: Las tormentas geomagnéticas tienen manifestaciones globales. Las subtormentas geomagnéticas generalmente se manifiestan del lado noche de la Tierra y cerca de los polos.

3. Efectos sobre la corriente de anillo: Las tormentas geomagnéticas están acompañadas por una intensificación de la corriente de anillo. Las subtormentas geomagnéticas no.

Es importante mencionar también que todas las tormentas geomagnéticas están acompañadas por subtormentas geomagnéticas; sin embargo, no todas las subtormentas están asociadas con tormentas (Moldwin, 2008).

1.2.3.4 Rayos cósmicos. Los rayos cósmicos son átomos altamente ionizados y otras partículas subatómicas que bombardean la Tierra desde todas direcciones. Se dividen en rayos cósmicos galácticos (originados fuera de la heliosfera) y en partículas energéticas solares (originadas en el Sol). Existe otro tipo de rayos cósmicos, denominados rayos cósmicos anómalos, los cuales son muy raros, tienen bajos niveles de energía y se piensa son producidos en el borde de la heliosfera. Los rayos cósmicos son modulados en sus trayectorias por el medio que atraviesan: medio interplanetario, magnetosfera o atmósfera terrestre (Moldwin, 2008; Otaola *et al.*, 2003). Cuando las partículas de alta energía (entre 100MeV y 10GeV) golpean la atmósfera terrestre, éstas colisionan con las partículas atmosféricas y causan lluvias de partículas secundarias que se dirigen hacia la superficie. Las partículas secundarias pueden golpear a su vez otras partículas de gas atmosférico durante su trayectoria y crear nuevas partículas energizadas; generando así cadenas de partículas. Dependiendo de la energía del rayo cósmico original, grandes flujos de partículas secundarias pueden alcanzar la Tierra (Moldwin, 2008; Figura 22). Muchas de las partículas secundarias son isótopos radiactivos, los cuales después de ser producidos siguen el movimiento de las masas de aire como gases (C^{14}) o adheridos a aerosoles (Be^{10}), hasta que finalmente bajan a la parte inferior de la atmósfera, en donde entran en contacto con los seres vivos. Los isótopos adheridos a los aerosoles se incorporan al suelo por medio de la lluvia, mientras que los gases se depositan directamente en el mar. El mecanismo más importante que afecta la concentración de estos isótopos radiactivos es la variación del momento magnético de la Tierra. Lo anterior se debe a que cuando la intensidad del campo magnético terrestre disminuye más partículas pueden penetrar y generar mayor cantidad de isótopos; mientras que cuando la intensidad del campo magnético aumenta ingresan menos partículas y se generan menos isótopos (Otaola *et al.*, 2003).

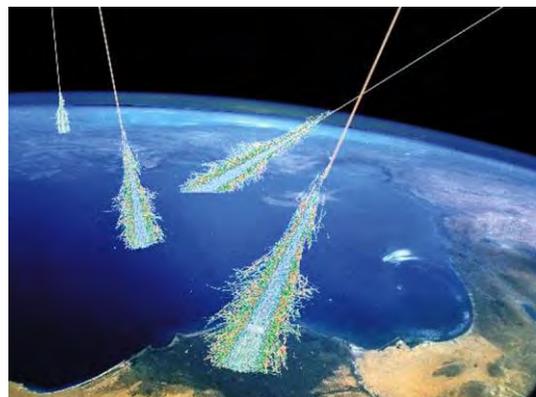


Figura 22. Rayos cósmicos impactando a la Tierra.

Otro subproducto de las colisiones entre los rayos cósmicos y las partículas atmosféricas son los piones, partículas subatómicas inusuales, las cuales generalmente decaen rápidamente para producir muones, neutrinos y rayos gamma. Los muones decaen subsecuentemente en electrones y positrones, mientras que los neutrinos llevan una pequeña cantidad de energía y se mueven esencialmente a la velocidad de la luz. El flujo de estas partículas es equivalente a ~1000 partículas por minuto pasando a través de nuestros cuerpos (Moldwin, 2008).

La detección del flujo de rayos cósmicos en la superficie terrestre y en el espacio ha sido importante para obtener información acerca de sus variaciones temporales, entre éstas destacan la variación asociada a eventos de partículas en la atmósfera solar (generalmente ráfagas solares), la variación Cuasi Biental, la variación Cuasi Quinquenal y las correspondientes a los ciclos solares de 11 y 22 años (Otaola *et al.*, 2003).

Pérez-Peraza y Juárez-Zuñiga (2015) señalaron que las periodicidades más representativas extraídas de series de tiempo de rayos cósmicos son las de 11, 4.7, 2.8, 1.7, 0.4, 0.25 y 0.075 años, mientras que Velasco *et al.* (2017) señalaron las de 10.4, 5.2, 3.09, 1.83, 1.22, 0.76 y 0.42 años. La periodicidad de 10.4 años se asocia al ciclo de Schwabe, la de 5.2 años al ciclo Cuasi Quinquenal y la de 3 años corresponde al ciclo Cuasi Trienal. Charvátová (2007) encontró que la periodicidad de 1.6-1.7 años está asociada con el efecto gravitacional del movimiento del Sol alrededor del baricentro del sistema solar, el cual afecta el campo magnético heliosférico. La periodicidad de 1.2-1.3 años es asociada con el efecto gravitacional de Chandler (Chandler's Wobble), el cual corresponde a una pequeña desviación o bamboleo del eje de rotación de la Tierra relativo a la superficie terrestre y que ocurre en objetos giratorios que no son esféricos (Malkin y Miller, 2010), por lo tanto, esta periodicidad no es de origen solar, sino provocada por un efecto gravitacional terrestre, lo que implica que las partículas cósmicas registradas dentro de la atmósfera de la Tierra deben presentar este efecto (Velasco *et al.*, 2017).

1.2.3.5 Incrementos a nivel del suelo. Se denominan incrementos a nivel del suelo a las partículas solares relativistas esporádicas que provienen de los eventos de protones solares y que son medidas a nivel del suelo por detectores de rayos cósmicos. Los eventos de protones solares suelen producirse después de intensas ráfagas solares o de algunas CMEs cuando los protones consiguen ser impulsados a velocidades altas de hasta ~ 10^5 km/s. Los incrementos a nivel del suelo ocurren cuando estos protones viajan aún más rápido (a velocidades cercanas a la velocidad de la luz) con energías por encima de los 500MeV (Velasco *et al.*, 2017; Otaola *et al.*, 2003; Shea y Smart, 1993).

Los incrementos a nivel del suelo ocurren con una frecuencia promedio de 0.97-1.1 por año, son de corta duración y su flujo pasa por la Tierra en pocas horas. Las partículas que alcanzan energías >450MeV son registradas principalmente en las regiones polares de la Tierra, mientras que las partículas con energías mayores a 15GeV son detectadas principalmente en las regiones ecuatoriales (Velasco *et al.*, 2017; Otaola *et al.*, 2003; Shea y Smart, 1993).

Pérez-Peraza *et al.* (2009) establecieron las periodicidades intrínsecas moduladoras de estos eventos; la mayoría aparentemente armónicos de los ciclos solares de 11 años. En Velasco *et al.* (2017) las periodicidades encontradas para los incrementos a nivel del suelo fueron de 10.4, 6.55, 4.12, 2.9, 1.73, 0.85, 0.4 y 0.2 años. La periodicidad de 0.4 años corresponde al ciclo de Rieger (Velasco *et al.*, 2017).

1.2.3.6 Radiación solar. El Sol emite energía continuamente al espacio en forma de radiación electromagnética y en forma de radiación corpuscular. La energía expulsada como radiación electromagnética es emitida en casi todas las longitudes de onda; sin embargo, el 99% está concentrada en el rango del visible, infrarrojo y ultravioleta (Otaola *et al.*, 2003). La energía expulsada como radiación corpuscular se compone principalmente de las partículas diminutas del viento solar: iones, electrones y partículas subatómicas (Moldwin, 2008).

Del total de energía radiada por el Sol en forma de ondas electromagnéticas, la Tierra intercepta sólo una dos mil millonésima parte (Otaola *et al.*, 2003). Este tipo de radiación baña a la alta atmósfera terrestre con una irradiancia de 1376 W/m² y calienta la atmósfera baja, la superficie terrestre y los

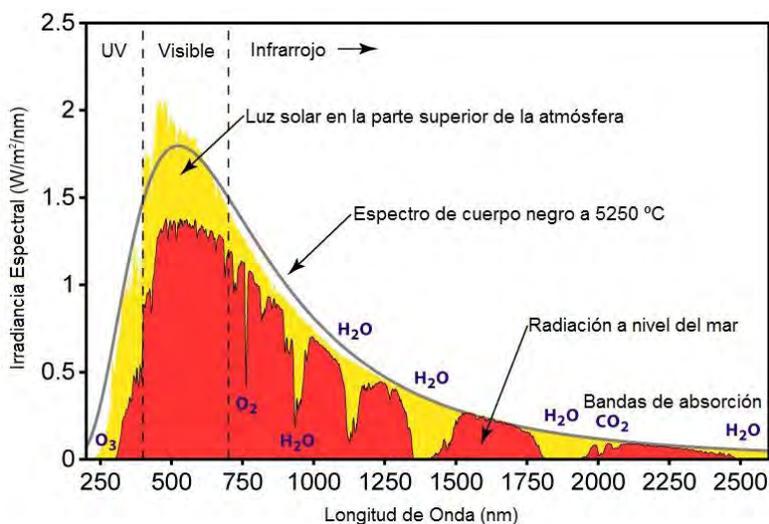


Figura 23. Espectro de radiación solar. Distribución de la luz solar en función de la longitud de onda, en la parte más alta de la atmósfera y en la superficie terrestre.

océanos (Moldwin, 2008; Figura 23). De la radiación solar que llega al tope de la atmósfera, las nubes reflejan 25%, absorben 1% y difunden, a través de las gotas de agua y cristales de hielo, 14%. En el resto de la atmósfera, se absorbe 16% (3% por el ozono estratosférico y 13% por el vapor de agua de la troposfera) y se difunde 18% (11% que alcanza la superficie y 7% que se pierde al espacio exterior). Por lo tanto, de

manera directa, a la superficie de la Tierra llega sólo 26% de la radiación incidente, y de ésta se refleja un 5% que se pierde hacia el exterior (Otaola *et al.*, 2003).

Mediciones a la altura de la Tierra han mostrado variabilidad en las regiones del espectro de radiación solar que se relacionan con el ciclo solar de 11 años. Por ejemplo, se ha observado que el flujo integral de rayos X provenientes del Sol durante el mínimo solar es del orden de 0.15erg/cm²s, mientras que durante el máximo es de 0.5 a 1erg/cm²s, es decir, existe una variación del 200 al 600% (Otaola *et al.*, 2003). Esta variación se observa también en imágenes de la atmósfera solar tomadas en rayos X, en donde ésta es generalmente negra durante el mínimo solar y con muchos brillantamientos (regiones activas) durante el máximo solar (Moldwin, 2008).

CAPÍTULO II

ENFERMEDAD DE EPILEPSIA

2.1 ¿Qué es la Epilepsia? De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y a la *International League Against Epilepsy* (ILAE), el término Epilepsia se aplica al trastorno de la función cerebral caracterizado por la presentación crónica (de largo tiempo), recurrente y espontánea de manifestaciones neurológicas o conductuales paroxísticas, causadas por incrementos o descargas anormales sincrónicas y excesivas de la actividad eléctrica neuronal; y que además, se asocia con mecanismos fisiopatológicos y manifestaciones clínicas electroencefalográficas y cognitivas variadas (Escobar, 2008; Fisher y Frost, 1991; Najm *et al.* 2001; ILAE, 1981; Martínez, 2008; Figura 24).

Se entiende por paroxístico aquello que ocurre de forma brusca y que es de breve duración, lo cual es el denominador común de todas las crisis epilépticas cualquiera que sea su manifestación. Por lo tanto, una crisis epiléptica en general es un fenómeno de inicio súbito y duración corta, seguido de una recuperación rápida o gradual con retorno a la normalidad (Núñez, 2008a).



Figura 24. Crisis epiléptica.

2.2 Periodos de la actividad epiléptica. La actividad epiléptica se caracteriza por tres periodos o fases:

- 1. Periodo ictal o ictus:** corresponde a la crisis epiléptica y dura de segundos a minutos (Engel y Rocha, 1992). Se relaciona con altas concentraciones de aminoácidos excitatorios, como GLU (glutamato) y aspartato (Urbanska *et al.*, 1998) y presenta un patrón electroencefalográfico hipsincrónico asociado a cambios conductuales (Engel, 1995). El periodo ictal y la propagación de la actividad epiléptica terminan gracias a la inducción de mecanismos homeostáticos que disminuyen la hiperexcitabilidad (Engel *et al.*, 1991).
- 2. Periodo postictal:** periodo después de la crisis epiléptica, varía desde minutos hasta días y es la fase de recuperación (Núñez, 2008b; Engel, 1989). Durante este periodo se presenta la denominada depresión postictal, en la cual existe inmovilidad corporal y el umbral de la producción de una crisis epiléptica subsecuente se encuentra elevado (refractoriedad postictal; Engel, 1989). También se puede presentar un estado de confusión, a veces con automatismos o inquietud, seguido de somnolencia, dolor corporal y cefalea (Núñez, 2008b), o bien, parálisis parcial, amnesia y analgesia, asociadas a la activación del sistema de opioides endógenos (Caldecott-Hazard *et al.*, 1984), así como a la activación de receptores de adenosina (Rosen y Berman, 1985) y del neurotransmisor inhibitor GABA (ácido γ -aminobutírico; Adamec y Stark-Adamec, 1983).
- 3. Periodo interictal:** transcurre entre una crisis y otra y en esta fase la actividad basal es normal (Calderón, 2008). Se ha propuesto que los cambios asociados a este periodo son consecuencia de mecanismos inhibitorios que se desarrollan para disminuir la hiperexcitabilidad epiléptica e impedir la

aparición de nuevas crisis (Engel *et al.*, 1991; Engel, 1989). Algunas de las conductas interictales incluyen depresión y agresividad, en las cuales también se propone la participación de sistemas inhibidores como el de los péptidos opioides (Engel y Rocha, 1992; Engel *et al.*, 1991).

2.3 Clasificación de las crisis epilépticas. Las crisis epilépticas se pueden clasificar en cuatro grupos de acuerdo a la ILAE (1981):

I. Crisis parciales o focales: En estas crisis la descarga anormal se origina en un sitio específico de la corteza cerebral, sin embargo, puede diseminarse secundariamente y abarcar todo el cerebro. Cuando ocurren con consciencia clara se les denomina crisis parciales simples y cuando el estado de consciencia se ve afectado se les denomina crisis parciales complejas (Escobar, 2008; Núñez, 2008b).

II. Crisis generalizadas: En este tipo de crisis la descarga anormal se manifiesta de manera simultánea en todo el cerebro y puede provocar pérdida de la consciencia. Pueden ser convulsivas (tónico-clónicas) o no convulsivas (ausencias, mioclónicas, tónicas, clónicas o atónicas) (Escobar, 2008; ILAE, 1981; Figura 25).

III. Crisis no clasificadas. Son crisis en las que no se puede determinar si tienen o no un inicio focal. Se incluyen las neonatales sutiles, las que ocurren durante el sueño y aquellas cuya descripción y hallazgos en el electroencefalograma no permiten ubicarlas en algún grupo (Núñez, 2008b).

IV. Addendum. Incluye los tipos de evolución de las crisis o su relación con otros factores. Se dividen en crisis fortuitas, cíclicas, reflejas y provocadas por factores no sensoriales. Este grupo incluye el estado epiléptico (Núñez, 2008b). Se tiene definida también la Epilepsia parcial continua, que es un síndrome clínico caracterizado por movimientos continuos de una parte del cuerpo, que puede durar de horas a años (Towne *et al.*, 2000).

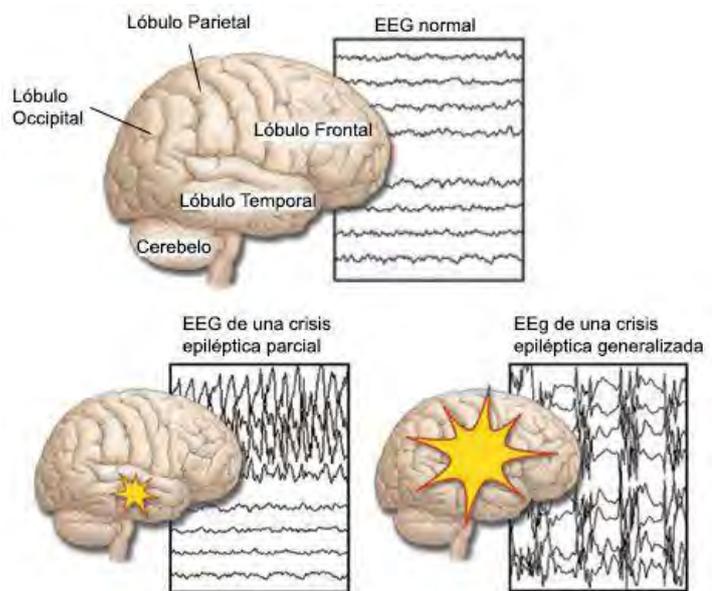


Figura 25. Comparación entre EEGs de una persona sana, un paciente con una crisis epiléptica parcial y un paciente con una crisis epiléptica generalizada.

2.4 Estado epiléptico. El estado epiléptico ocurre cuando las crisis epilépticas persisten por más de 5 o 10 minutos, duración necesaria para lesionar a las neuronas del Sistema Nervioso Central (Gastaut, 1983; Dodson *et al.*, 1993; Lowenstein *et al.*, 1999). El estado epiléptico se divide en generalizado y parcial. El estado epiléptico generalizado puede ser convulsivo (tónico, tónico-clónico, mioclónico) o

no convulsivo (ausencias, disociación mental); el estado epiléptico parcial puede ser convulsivo (parcial motor) o no convulsivo (parcial no motor y parcial complejo; Plascencia, 2008a).

Durante los primeros 30 minutos del estado epiléptico, el cuadro clínico se caracteriza por el incremento en la actividad simpática, que es medida por el aumento en la circulación de catecolaminas (grupo de neurotransmisores; Lothman, 1990). Dentro de las células, es probable que inicie en forma similar a las crisis tónico-clónicas; con una prolongada despolarización de las neuronas en la fase tónica y una despolarización rítmica en la fase clónica (Lothman *et al.*, 1991).

Existe evidencia de que en el estado epiléptico los procesos de excitación e inhibición celular se encuentran afectados, ya que hay incremento en la excitabilidad dependiente de GLU y/o disminución en los mecanismos inhibitorios dependientes de GABA (Lothman *et al.*, 1991).

2.5 Etiología de la Epilepsia. Todos los tipos de Epilepsia tienen una fisiopatología común, representada por hipersincronía de las descargas neuronales, reclutamiento anormal de los impulsos nerviosos (Muñoz *et al.*, 2008) y regulación anormal de la excitabilidad neuronal (Hauser y Hesdorffer, 1990); sin embargo, su etiología, los mecanismos neuroquímicos y fisiológicos que participan en las crisis y su expresión sintomática son variables y no están bien esclarecidos en la actualidad (Muñoz *et al.*, 2008).

Para entender las condiciones adversas en las que se producen las crisis epilépticas inicialmente se debe considerar que en condiciones normales, la actividad nerviosa se mantiene en un estado de equilibrio dinámico, regulado por procesos inhibitorios y excitatorios; por lo tanto, el desbalance entre estos mecanismos puede producir una crisis (Olsen y Avoli, 1997; Mody, 1993; Engelborghs *et al.*, 2000).

Tomando en cuenta su etiología, la ILAE (1981) separa a las epilepsias y síndromes epilépticos de etiología conocida o formas sintomáticas (secundarias), de aquellas idiopáticas (primarias) y criptogénicas (etiología desconocida). Las formas sintomáticas (40% de los casos de Epilepsia) se consideran secundarias a un proceso patológico del Sistema Nervioso Central de causa conocida o razonablemente sospechada: hipoxia-isquemia, infecciones del sistema nervioso, traumatismos craneoencefálicos, malformaciones cerebrales congénitas, tumores cerebrales, meningitis, alteraciones innatas del metabolismo, hemorragias intracraneales, neoplasias e intoxicaciones (Pellock, 1993). La Epilepsia idiopática o primaria (30% de los casos de Epilepsia) se define como un padecimiento que no va precedido u ocasionado por otro y no se encuentra otra causa que no sea una aparente predisposición hereditaria. Las formas criptogénicas (30% de los casos de Epilepsia) se refieren a trastornos de causa desconocida, o aún no determinada (ILAE, 1989; Pellock, 1993).

2.5.1 Factores epileptogénicos a nivel celular. A nivel celular se sabe que las crisis epilépticas aparecen cuando hay despolarización excesiva de neuronas dentro del Sistema Nervioso Central. La despolarización es generada por la entrada de Na⁺ en la célula (Johnston, 1996) y puede sobrevenir por alguna de las siguientes razones (Venta, 2008):

1. Trastornos en la producción de energía que originan fallas en las bombas de $\text{Na}^+ - \text{K}^+$.
2. Hipoxia-isquemia y/o hipoglucemia que puede causar decrementos agudos de la producción de energía.
3. Exceso relativo de neurotransmisores excitadores en comparación con los inhibidores. En condiciones de hipoxia-isquemia e hipoglucemia hay incremento de las concentraciones extracelulares de GLU.
4. Deficiencia relativa de neurotransmisores inhibidores en comparación con los excitadores. Se ha registrado que las concentraciones de GABA disminuyen cuando la actividad de su enzima sintética, la descarboxilasa de ácido glutámico, está deprimida.
5. Hipocalcemia o hipomagnesemia, debido a que el Ca^{2+} y el Mg^{2+} interactúan con la membrana neuronal para causar inhibición del movimiento del Na^+ ; si estos se encuentran bajos aumenta el flujo de Na^+ hacia adentro y se despolariza la membrana.

Otras hipótesis generales que se piensan intervienen en toda crisis son (Irigoyen, 2008):

1. Disfunción, hipofunción o anulación del sistema GABA inhibitorio.
2. Excitación anormal producida por el GLU y sus receptores NMDA, AMPA y KAINATO.
3. Alteración en la interacción del sistema GABA y sus receptores GABA_A y GABA_B.

2.5.2 Factores epileptogénicos anatómicos y fisiológicos a nivel cerebral. De acuerdo con Dichter (1997) el origen de las crisis recurrentes espontáneas se debe a que el funcionamiento normal del cerebro, después de cierta secuencia de desarrollo o en respuesta a algún tipo de daño, se expone un nuevo estado (representado por cambios funcionales complejos en la anatomía y la fisiología cerebral) en el cual los circuitos neuronales se vuelven hiperexcitables. Escobar (2008) menciona que la Epilepsia está directamente relacionada con anomalías de la organización neuronal y de las señales que las modulan. Feindel *et al.* (1996) señalaron que la hiperventilación y las cicatrices cerebrales podían desencadenar crisis epilépticas. Thomas (1997) señaló que la Epilepsia causada por las neoplasias en el Sistema Nervioso Central puede ser debida al efecto de masa que ocasionan, la formación de necrosis, la inflamación y las lesiones de la barrera hematoencefálica.

2.5.3 Factores genéticos epileptogénicos. La Epilepsia puede ser de origen genético y tener una dispersión de herencia mendeliana. Este tipo de Epilepsia se presenta cuando ocurren modificaciones de nucleótidos, que generan genes mutados que codifican para proteínas mal plegadas, principalmente las que forman canales iónicos, receptores de GABA, Acetilcolina (Alonso *et al.*, 2008) y GLU (Chapman, 2000).

Los canales iónicos o receptores dañados pueden producir crisis epilépticas por sí mismos, al interactuar con otro tipo de moléculas y proteínas, o bien, al entrar en contacto con factores ambientales (Alonso *et al.*, 2008). Newmark y Penry (1980) señalan que factores como el estrés, cambios hormonales u otros disparadores ambientales o físicos pueden producir crisis epilépticas cuando existe predisposición

genética. Actualmente, se ha reconocido un número cada vez más creciente de epilepsias parciales con una base genética, las cuales se han observado en varios miembros de una sola familia (Plascencia, 2008b).

2.5.4 Factores hormonales epileptogénicos. En los pacientes epilépticos se han encontrado niveles séricos de melatonina más bajos de lo normal (Rufo-Campos, 2002). La melatonina es una neurohormona sintetizada a partir del aminoácido esencial triptófano y su posterior transformación al neurotransmisor serotonina por los pinealocitos que constituyen la glándula pineal (Foley *et al.* 1986). La melatonina realiza diferentes funciones en el organismo y tiene acción en varios *loci* del Sistema Nervioso Central incluyendo el hipotálamo (Marczynsky *et al.*, 1964), el cerebelo (Antón-Tay, 1974) y la formación reticular mesencefálica (Pazo, 1979). Una de las características más sobresalientes de la síntesis de melatonina es su variabilidad a lo largo del ciclo de 24 horas; durante el día la producción de melatonina es normalmente baja porque la luz que atraviesa sobre los ojos inhibe su producción (Wilson *et al.*, 1988), mientras que durante la noche es alta ya que hay disminución de luz ambiental (Reppert y Klein, 1980). Los niveles de melatonina nocturna son entre 10 y 100 veces más altos que los niveles de día, con picos entre las 02:00 y las 06:00hrs (Foley *et al.* 1986). Sin embargo, aunque los niveles de melatonina son más altos durante la noche se observan decrementos transitorios durante el sueño de Movimientos Oculares Rápidos (Foley *et al.* 1986), periodos considerados de actividad microconvulsiva (Stevens, 1982) y equivalentes al estado de vigilia (Llinás y Paré, 1991) en personas sanas.

Lo anterior es relevante ya que muchos pacientes epilépticos tienen convulsiones exclusivamente durante el sueño (Janz, 1974; Langdon-Down y Brain, 1929; Gibberd y Bateson, 1974). Spratling (1904) en un estudio realizado con pacientes con Epilepsia del lóbulo temporal o Epilepsia del sueño, denominada así por su predilección nocturna, registró datos por hora para más de 100 000 convulsiones, las cuales mostraron un pico de incidencia entre las 02:00 y las 06:00hrs, estos resultados son consistentes con lo señalado anteriormente, ya que aunque se describió que entre este periodo hay picos de melatonina, los pacientes con Epilepsia presentan valores de melatonina más bajos de lo normal. Por otro lado, un análisis de los niveles de melatonina en sangre en 19 pacientes varones epilépticos mostró que los niveles de melatonina precedidos por el sueño de Movimientos Oculares Rápidos (MOR) fueron significativamente más altos que aquellos precedidos por el sueño no-MOR, por lo tanto se piensa que las convulsiones nocturnas pueden estar además relacionadas con las fluctuaciones o variaciones en la secreción de melatonina durante las fases de sueño (Sizonenko *et al.*, 1979).

La melatonina también es considerada como un anticonvulsivo endógeno (Rosenstein *et al.*, 1989) que influye en la excitabilidad neuronal y la actividad convulsiva (Erlich y Apuzzo, 1985). De acuerdo a Antón-Tay *et al.* (1971) y a Antón-Tay (1974) la administración de melatonina ha sido reportada para atenuar la actividad convulsiva y las anomalías en el electroencefalograma de pacientes con Epilepsia del lóbulo temporal. Por otro lado, Rosenstein *et al.* (1989) observaron que inyecciones de melatonina evocaban rápidos incrementos de transmisores inhibidores como GABA dentro del

hipotálamo, por lo que es posible que los efectos anticonvulsivos de la melatonina estén mediados por la interacción con receptores GABA (Sandyk y Anninos, 1992b).

2.5.5 Factores tóxico-metabólicos epileptogénicos. Las causas tóxico-metabólicas son responsables de alrededor de 10-15% de los casos de Epilepsia (Hildick-Smith, 1994). Dentro de las causas de las crisis están la hipoglucemia, hiponatremia, uremia, hipocalcemia e insuficiencia ventilatoria (Schold *et al.*, 1977; Sirven, 1998). Existe también evidencia de que toxinas relacionadas al VIH que producen daño o muerte neuronal, pueden incrementar la secreción de glutamato o disminuir su metabolismo, provocando crisis epilépticas en estos pacientes (Garg, 1999).

2.5.6 Factores patológicos epileptogénicos. Enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer (Romanelli *et al.*, 1990), Parkinson y Huntington (Suástegui, 2008) aumentan de 6 a 10 veces la posibilidad de presentar Epilepsia, en comparación con la población sana (De la Court *et al.*, 1996). Las crisis en estos pacientes pueden ser causadas por las alteraciones neuronales *per se* de la enfermedad, o bien, por las enfermedades secundarias asociadas a ellas, como la desnutrición o las alteraciones metabólicas (Sirven, 1998).

Por otro lado, las crisis epilépticas son el segundo síntoma más frecuente (más del 50%) que se presenta en todas las malformaciones arteriovenosas cerebrales; estas crisis se presentan aun cuando no existe evidencia de hematoma o hemorragia subaracnoidea (Crawford *et al.*, 1986).

2.5.7 Factores psiquiátricos epileptogénicos. Los factores psiquiátricos también se han relacionado con la Epilepsia, ya que los síndromes epilépticos se pueden repetir debido a una alteración psiquiátrica, o bien, debido a problemas secundarios a la Epilepsia, como depresión por la enfermedad o por el consumo de medicamentos (Martínez, 2008). Existe el llamado trastorno de conversión a crisis o convulsiones que es de origen “psicogénico”, en el cual la persona psicótica puede haber tomado el ejemplo de personas con Epilepsia y actuar como si tuviera una crisis real (Devinsky, 1998), o bien, el trastorno de somatización, el cual genera crisis epilépticas involuntarias (Martínez, 2008).

2.6 Epidemiología. En el año 2017 la OMS calculó que alrededor de 50 millones de personas en todo el mundo padecen Epilepsia; y por lo que se pudo inferir en 2008, en nuestro país existen entre uno y dos millones de personas con este padecimiento. La proporción estimada de la población general con Epilepsia activa (con ataques continuos y/o necesidad de tratamiento) oscila entre 4 y 10 por cada 1000 personas y, de acuerdo a estimaciones de la OMS, se diagnostican anualmente alrededor de 2.4 millones de casos de Epilepsia (Núñez, 2008a).

La Epilepsia afecta a cualquier grupo social, sin embargo, es más frecuente en países en vías de desarrollo a consecuencia de las lesiones cerebrales causadas por embarazos y partos mal atendidos,

infecciones y parasitosis del Sistema Nervioso Central, escasa higiene y poca atención médica (Núñez, 2008a).

Aunque la Epilepsia se puede presentar en todas las etapas de la vida, el 75% de los casos se registra en las dos primeras décadas, siendo más frecuente en los primeros meses (Epilepsia de inicio temprano); mientras que el 25% se registra en la etapa adulta (Epilepsia de inicio tardío). Por otro lado, existen crisis que se dan solo en etapas infantiles como las crisis neonatales, y que en estado adulto ya no se presentan (Núñez, 2008b; Sander y Shorvon, 1996; Bell y Sander, 2002).

A pesar de que no existe diferencia entre sexos, se ha encontrado mayor riesgo en los hombres para desarrollar crisis no provocadas, con una relación que varía entre 1.1 y 1.7 para la mayoría de los estudios. Otros tipos de Epilepsia son más frecuentes en mujeres, principalmente cuando hay menstruación, estrés o falta de sueño (García, 1997).

2.7 Tratamientos contra la Epilepsia. El tratamiento contra la Epilepsia es difícil, ya que los medicamentos pueden no servir para todos los pacientes ni para todos los tipos de Epilepsia, muchos tienen efectos secundarios y, aunque se administren correctamente, es probable que con el tiempo las convulsiones se presenten nuevamente con la misma frecuencia que antes del tratamiento (García, 2008).

En general, la acción de los fármacos antiepilépticos va dirigida a: la modulación de los canales de Na^+ , la inactivación de la despolarización de los canales de Ca^{2+} , la activación de los canales de Cl^- , la estimulación de la función de los receptores GABA_A, el aumento de contenido tisular, la potenciación del efecto o la inhibición del transporte del GABA, el bloqueo de la GABA-transaminasa y la reducción de la neurotransmisión de GLU a nivel de receptores (Irigoyen, 2008; Quiñones, 2008).

Entre los fármacos antiepilépticos más utilizados se encuentran: Fenobarbital, utilizado en el tratamiento de crisis neonatales, crisis que ocurren en el primer año de vida, crisis parciales, generalizadas y tónico-clónicas y en el estado epiléptico. Primidona, utilizada en crisis parciales, crisis parcial compleja y tónico-clónico generalizadas y epilepsia mioclónica juvenil. Etosuximida, útil en el tratamiento de crisis de ausencia y mioclonías. Fenitoína, utilizada en crisis parciales simples y tónico-clónico generalizadas y en el estado epiléptico. Carbamazepina, utilizada en el tratamiento de crisis parciales simples, parciales complejas y tónico-clónico generalizadas. Valproato de Magnesio, útil en crisis de ausencia, complejas, simples, mioclonías infantiles y crisis tónico-clónicas (Sauri, 2008).

Otro tipo de tratamiento es la microcirugía, la cual en algunos casos logra disminuir la morbi-mortalidad en pacientes que tienen focos múltiples o en epilepsias generalizadas refractarias al tratamiento (Feindel *et al.*, 1996). Dentro de las cirugías se contemplan a las lobectomías temporal, frontal, parietal y occipital, en las cuales se resecan partes de estos lóbulos para evitar las crisis (Hufnagel *et al.*, 1997; Morrell *et al.*, 1989). Es importante mencionar que este tratamiento puede no ser efectivo por fallas en la ubicación de los focos epilépticos o por malas cirugías (Armon *et al.*, 1996; Yagi, 1995).

La estimulación crónica intermitente del nervio vago es un tratamiento opcional cuando la cirugía no es posible (Renfroe y Wheless, 2002). Rajna y Lona (1989) demostraron que los estímulos sensitivos aferentes podían abortar el paroxismo epiléptico.

Dentro de las alternativas no farmacológicas se encuentra la dieta cetogénica, dieta alta en grasas, baja en carbohidratos y moderadamente baja en proteínas (relación 3.5:1; Batchelor *et al.*, 1997), la cual produce una alta concentración de cuerpos cetónicos en sangre y orina (Kinsman *et al.*, 1992). Sus resultados han sido variables para el control de algunos síndromes epilépticos de difícil manejo sobre todo en la infancia (García, 2008).

2.8 Efectos colaterales de la Epilepsia. La Epilepsia como entidad clínica neurológica puede afectar al ser humano en cualquier etapa y provocar efectos deletéreos cognoscitivos y conductuales que disminuyen su calidad de vida. Algunos de estos efectos se pueden detectar en la memoria, la vigilia, la atención, el razonamiento y el aprendizaje (Moreno, 2008).

La Epilepsia también se ha relacionado con problemas sociales y personales (Joya, 2008). Dentro de los problemas sociales se encuentran el rechazo laboral, la negativa a realizar actividades como manejar un auto, la privación de pólizas de seguros y problemas legales, ya que la Epilepsia se incluye dentro de la categoría de insania e incapacidad mental (Núñez, 2008c). Dentro de las complicaciones personales se encuentran los problemas en el ambiente familiar y escolar, en las relaciones interpersonales y en el desarrollo futuro (Joya, 2008).

El pronóstico de vida de pacientes con Epilepsia está influido por el mayor riesgo de muerte que se reporta en comparación con personas que no la padecen, en especial en aquellos con Epilepsia crónica y Epilepsia sintomática, siendo las principales causas de muerte el trauma, el suicidio, la neumonía, el estado epiléptico y las propias crisis (Shackleton *et al.*, 2002; Morgan y Kerr, 2002; Rafnsson *et al.*, 2001; Camfield *et al.*, 2002; Nilsson *et al.*, 2002).

Finalmente, es importante recalcar que la Epilepsia es un problema de salud pública, ya que existe deterioro en la calidad de vida del paciente, no se tiene garantizado el control médico de las crisis, los pacientes no pueden desarrollar actividades cotidianas con normalidad y generalmente suelen ser rechazados por la sociedad (García *et al.*, 2008).

CAPÍTULO III

ANÁLISIS WAVELET

3.1 Transformada Wavelet. La Transformada Wavelet (WT, por sus siglas en inglés) es una herramienta útil para el análisis local de series de tiempo con escalas diferentes o cambios en varianza (Torrence y Compo, 1998) y que contienen potencias no estacionarias en diferentes frecuencias. Es un poderoso método para analizar oscilaciones intermitentes localizadas (Holschneider, 1995; Foufoula-Georgiou y Kumar, 1994). La WT mapea la señal en una representación de tiempo-escala y provee un análisis multi-resolución con diferente tamaño de ventana. Los análisis de las frecuencias de mayor rango los realiza utilizando ventanas angostas, mientras que los análisis de las frecuencias de menor rango los hace utilizando ventanas anchas (Sheng, 1996).

La WT utiliza funciones base que son generadas a partir de una función wavelet básica. Estas funciones permiten reconstruir la señal original a través de la Transformada Wavelet Inversa. Las funciones wavelet son funciones con media cero y que se caracterizan por cómo están localizadas en tiempo (Δt) y frecuencia ($\Delta \omega$ o ancho de banda). Una función wavelet particular es la función Morlet, la cual está definida como:

$$\psi(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-1/2\eta^2}$$

donde ω_0 es una frecuencia adimensional y η es un tiempo adimensional. Para la función Morlet, con una $\omega_0=6$, el periodo de Fourier (λ_{ot}) es casi igual a la escala ($\lambda_{\text{ot}}=1.03$ s), por lo que proporciona un buen balance entre la localización de tiempo y frecuencia y es buena elección para el propósito de extracción de características (Grinsted *et al.*, 2004). En esta investigación se utilizó la función Morlet porque es una función compleja (Torrence y Compo, 1998) que permite reconstruir la fase de la señal y porque presenta un alto poder de resolución en el espacio frecuencia/periodicidad.

La WT puede considerarse como una serie consecutiva de filtros pasa-banda aplicados a series de tiempo donde la escala wavelet está linealmente relacionada con el periodo característico del filtro (λ_{ot}) (Grinsted *et al.*, 2004).

3.1.1 Transformada Wavelet Continua. La Transformada Wavelet Continua (CWT, por sus siglas en inglés) de una serie de tiempo (X_n , $n=1, \dots, N$) con distancias uniformes de tiempo δt , está definida como su convolución con la función wavelet, que se puede estirar en tiempo (variando su escala) y en frecuencia, traducirse con una resolución flexible y normalizarse para tener una unidad de energía. La convolución puede expresarse de la siguiente manera:

$$W_n^X(s) = \sqrt{\frac{\delta t}{s}} \sum_{n'=1}^N x_{n'} \psi_0\left[(n' - n) \frac{\delta t}{s}\right]$$

La potencia wavelet en este caso está definida por:

$$|W_n^X(s)|^2$$

La CWT descompone las series de tiempo en el espacio de tiempo-frecuencia, lo que permite la identificación de los modos dominantes de variabilidad y cómo éstos varían con el tiempo (Jevrejeva, *et al.*, 2003; Grinsted *et al.*, 2004). La CWT tiene artefactos de borde (frecuencias falsas o espurias) porque las series de tiempo no son infinitas, por lo tanto, presenta un Cono de Influencia (COI) que delimita los rangos de frecuencia y tiempo, y dentro del cual estos artefactos de borde pueden ser ignorados (Grinsted *et al.*, 2004).

La significancia estadística de la potencia wavelet puede ser evaluada relativa a la hipótesis nula de que la señal es generada por un proceso estacionario con un espectro de potencia de fondo dado (P_k). Muchas series de tiempo geofísicas tienen características de ruido rojo distintivas que se pueden modelar mediante un proceso autorregresivo de primer orden (AR 1) (Grinsted *et al.*, 2004). Torrence y Compo (1998) utilizan métodos Monte Carlo para mostrar que esta aproximación es muy buena para el espectro de AR 1. Ellos muestran que la probabilidad de que la potencia wavelet, de un proceso con un espectro de potencia dado (P_k), siendo más grande que p es:

$$D\left(\frac{|W_n^X(s)|^2}{\sigma_X^2} < p\right) = \frac{1}{2} P_k \chi_v^2(p)$$

donde v es igual a 1 para wavelets reales y 2 para wavelets complejas.

3.1.2 Transformada Wavelet Cruzada. La Transformada Wavelet Cruzada (XWT, por sus siglas en inglés) es una extensión del análisis wavelet utilizada para analizar la covarianza de dos series de tiempo, es decir, que mide y revela las áreas con altas potencias comunes (Torrence y Compo, 1998). Dadas dos series de tiempo X y Y con sus respectivas transformadas wavelets $W_n^X(s)$ y $W_n^Y(s)$, la XWT se define como:

$$W_n^{XY}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y*}(s)$$

donde $W_n^{Y*}(s)$ es el complejo conjugado de $W_n^Y(s)$.

Para este análisis la potencia se define como:

$$|W_n^{XY}(s)|^2$$

El ángulo de fase de la XWT describe la relación de fase entre X y Y en el espacio de tiempo-frecuencia (Torrence y Compo, 1998). Los niveles de confianza para la potencia XWT se derivan de la raíz cuadrada del producto de dos distribuciones de χ^2 (Jenkins and Watts, 1968). Si las dos series de tiempo tienen espectros de Fourier teóricos P_k^X y P_k^Y , la distribución de la XWT es:

$$\frac{|W_n^X(s)W_n^{Y*}(s)|}{\sigma_X \sigma_Y} \Rightarrow \frac{Z_\nu(p)}{\nu} \sqrt{P_k^X P_k^Y}$$

donde σ_x y σ_y son las desviaciones estándar para X y Y, y $Z_\nu(p)$ es el nivel de confianza asociado a la probabilidad p. El nivel de confianza para este análisis es igual a 95%.

3.1.3 Transformada Wavelet de Coherencia. La Transformada de Coherencia (WTC, por sus siglas en inglés) es otra extensión del análisis wavelet, que mide la intensidad de la covarianza de dos series de tiempo en el espacio de tiempo-frecuencia (Torrence y Webster, 1999), semejante a un coeficiente de correlación tradicional solo que localizado (Grinsted *et al.*, 2004). Para este análisis la coherencia es definida como:

$$WTC = \frac{[W_n^{XY}(s)]^2}{|W_n^X(s)|^2 |W_n^Y(s)|^2}$$

El resultado proporciona una cantidad entre 0 y 1 y mide la correlación cruzada entre dos series de tiempo como una función de frecuencia (Torrence y Compo, 1998; Liu, 1994). El nivel de significancia estadística de la WTC es estimada también utilizando métodos Monte Carlo (Grinsted *et al.*, 2004).

CAPÍTULO IV

MATERIALES

4.1 Datos utilizados para la investigación. Se utilizaron datos trimestrales de trece marcadores de fenómenos del Clima Espacial: número de manchas solares (**MS**), índice de ráfagas solares (**SF**, por sus siglas en inglés), Días Perturbados debido al choque de alguna ICME (**ICMEs DP**), ICMEs Totales registradas (**ICMEs Tot**), ICMEs asociadas a Nubes Magnéticas (**ICMEs NM**), ICMEs con Rotación en su campo magnético (**ICMEs Rot**), ICMEs no asociadas a Nubes Magnéticas y sin Rotación en su campo magnético (**ICMEs s/NM s/Rot**), tasas de conteo de rayos cósmicos galácticos (**RCG**), número de eventos de incrementos a nivel del suelo (**GLEs**, por sus siglas en inglés), tormentas geomagnéticas (**índices Dst, aa y Kp**) e irradiancia total de la radiación solar (**RS**); y de dos marcadores de la Epilepsia: número de consultas de pacientes con Epilepsia (**ConEpi**) y número de diagnósticos de egreso por Epilepsia (**DiaEpi**).

4.2 Descripción del periodo de estudio. El periodo de estudio de esta investigación fue de 13 años, de 2002 a 2014. Los años entre 2002 y 2008 corresponden a la fase descendente del ciclo solar número 23, el cual inició en 1996, tuvo su máximo de intensidad entre 2000 y 2002 y concluyó en 2008. Los años entre 2008 y 2014 corresponden al ciclo solar número 24, el cual inició en 2008 y tuvo su actividad mínima entre este año y el 2010. Entre 2010 y principios de 2014 se observa la fase ascendente del ciclo, con sus picos máximos en 2011 y 2014. A partir de mediados de 2014 se observa el comienzo de su fase descendente (Figura 26).

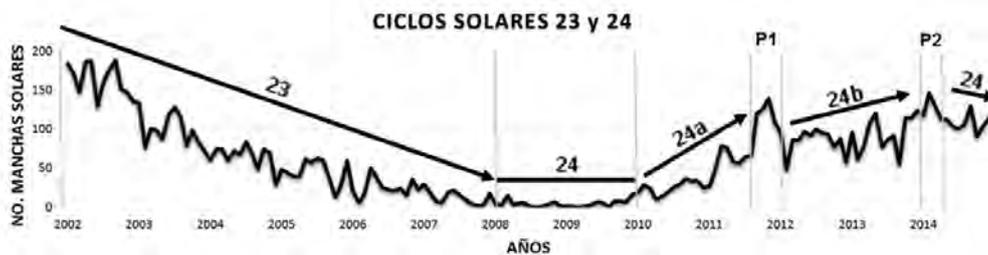


Figura 26. Esquema representativo de las fases de los ciclos solares 23 y 24 abarcados en la investigación.

4.3 Fuentes de las bases de datos (revisadas por última vez entre febrero y marzo de 2018). Las bases de datos trimestrales utilizadas en esta investigación se crearon a partir de los datos disponibles de cada marcador en diferentes bases públicas en línea.

MS: El número de MS se obtuvo de los valores mensuales de MS de la base *Monthly mean total sunspot number [1/1749 - now]* proporcionada por el WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Bruselas (<http://www.sidc.be/silso/datafiles>).

SF: Los índices de SF fueron obtenidos de los índices diarios contenidos en las bases *Flare Index of Solar Activity /full disk* de cada año proporcionados por el Bogazici University Kandilli Observatory, Istanbul, Turquía (<http://www.koeri.boun.edu.tr/astronomy>). Los valores del índice de SF diarios fueron

calculados de 2002 al 2009 por T. Atac y A. Ozguc y de 2010 al 2014 por O. Dogan del Observatorio Bogazici University Kandilli, Istanbul, Turkey.

ICMEs: Los marcadores de las ICMEs se obtuvieron de la compilación de I. Richardson y H. Cane, *Near-Earth Interplanetary Coronal Mass Ejections Since January 1996*, la cual muestra ICMEs registradas por las misiones ACE, WIND y SOHO (<http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm>). En esta compilación la columna (b) muestra los Días Perturbados utilizados para el marcador ICMEs DP. En la columna (l) se señalan con el número 2 las ICMEs NM, con el número 1 las ICMEs Rot y con el número 0 las ICMEs s/NM s/Rot. El marcador ICMEs Tot se obtuvo del total de ICMEs de la columna (l).

RCG: Los datos de las tasas de conteo de RCG fueron obtenidos directamente con resolución trimestral de la base *Cosmic Ray Database* (<http://cosmicrays oulu.fi/>) formada por los registros del monitor de neutrones de Oulu, Finlandia, perteneciente a la estación de rayos cósmicos del Sodankylä Geophysical Observatory de la Universidad de Oulu. Los datos utilizados fueron los correspondientes a las tasas de conteo por minuto corregidas por presión (datos homogeneizados a la misma presión atmosférica) y eficiencia (datos homogeneizados para contrarrestar cambios en los sistemas de monitoreo a largo plazo).

GLEs: El número de GLEs fue obtenido de la lista *List of GLE dates* de la base de datos oficial de las tasas de conteo del monitor de neutrones de Oulu, Finlandia, perteneciente a la estación de rayos cósmicos del Sodankylä Geophysical Observatory de la Universidad de Oulu (<https://gle oulu.fi/#/>). Esta base de datos fue creada por L. Gentile, P. Shea, D. Smart y M. Duldig y es mantenida y administrada actualmente por el Prof. Ilya Usoskin de la Oulu Cosmic Ray Station de la Universidad de Oulu.

Índice Dst: Los índices Dst se obtuvieron de los datos con resolución horaria del *Dst index* proporcionado por el WDC for Geomagnetism, Kyoto Dst index service (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst/dir>).

Índice aa: Los índices aa fueron obtenidos de los promedios mensuales del *aa-index* del British Geological Survey, Natural Environment Research Council (http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/data/magnetic_indices/aaindex.html).

Índice Kp: Los índices Kp se obtuvieron de los datos con resolución temporal de tres horas del Space Weather Prediction Center / National Oceanic and Atmospheric Administration (<https://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index>).

RS: La irradiancia solar total se obtuvo de los promedios diarios de la base *average irradiance in W/m2 (new VIRGO scale)* proporcionada por el Physikalisch-meteorologisches Observatorium Davos / World Radiation Center, Davos, Suiza (<https://www.pmodwrc.ch/en/research-development/solar-physics/tsi-composite/>); a partir del conjunto de datos actualizado (versión 42_65_1709 del archivo compuesto_42_65_1709.dat, creado el 30 de Septiembre de 2017) y recabado por el experimento

VIRGO de la misión SOHO, en cooperación ESA/NASA. (ftp://ftp.pmodwrc.ch/pub/data/irradiance/composite/Data Plots/composite_42_65_1709.dat).

Epilepsia: Los datos de ConEpi y DiaEpi fueron obtenidos directamente en resolución trimestral de los Cuadernos Estadísticos del Hospital General de México “Dr. Eduardo Liceaga”, CDMX, México (Latitud: 19°25’42’’N; Longitud: 99°07’39’’ O; Altitud: 2240msnm), publicados por la Dirección de Planeación y Desarrollo de Sistemas Administrativos y el Departamento de Información y Estadística del Hospital (<http://www.hgm.salud.gob.mx/interna/dirplan/cuaderno.html>). El número de ConEpi corresponde a la cantidad de pacientes epilépticos o con síndromes similares que asistieron a consulta debido a alguna causa relacionada con dichos padecimientos. El número de DiaEpi corresponde al número de personas que asistieron al hospital de manera urgente debido a la presencia de sintomatología epiléptica y que fueron diagnosticados a su egreso con la enfermedad o síndromes similares. Estos marcadores no discriminaron entre tipos de epilepsias ni síndromes de tipo epiléptico.

4.4 Procesamiento de los Datos. Inicialmente, con ayuda del software Microsoft Excel 2013, se generó una matriz de 15 x 52 con los valores trimestrales de cada marcador. Los valores trimestrales de MS, SF, índices Dst, aa y Kp y RS fueron obtenidos mediante promedios. Los datos de ICMEs y GLEs fueron inicialmente transformados a datos binarios, en donde a la presencia del evento correspondía el valor de 1, mientras que a la ausencia un valor de 0; posteriormente, estos valores fueron sumados cada tres meses para obtener los valores finales. Los datos de ConEpi, DiaEpi y RCG no fueron modificados. Las bases que presentaban huecos en los datos (datos faltantes), fueron rellenadas mediante interpolación; con el promedio obtenido entre el dato anterior y el dato siguiente al dato faltante.

Los análisis wavelet (CWTs, XWTs y WTCs) se realizaron con ayuda del software MATLAB 2011a,

7.12.0. Las CWTs se realizaron para los quince marcadores de manera individual con la finalidad de obtener las periodicidades intrínsecas de cada uno de ellos. Las XWTs y WTCs se realizaron a pares formados entre los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial y los marcadores de la Epilepsia con el objetivo de encontrar las periodicidades comunes más representativas entre cada par. Los pares formados fueron los siguientes (Figura 27):

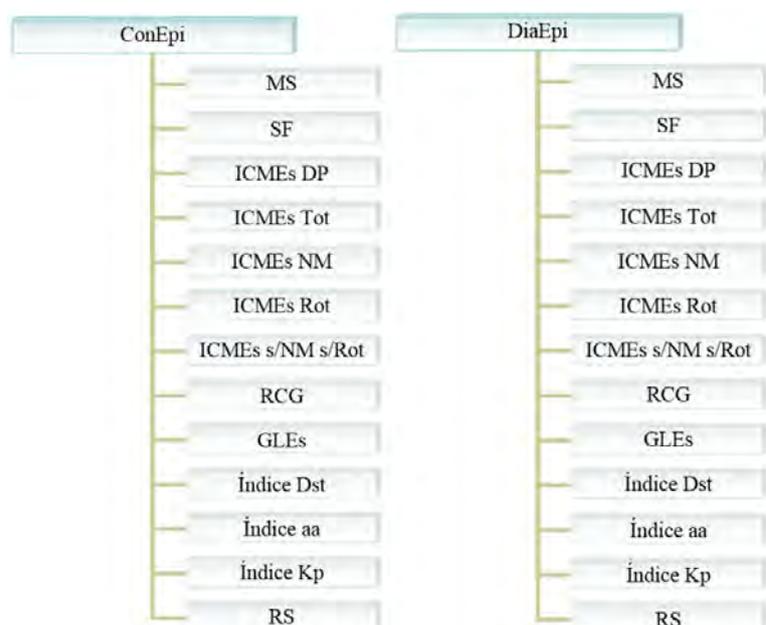


Figura 27. Pares formados entre ConEpi y DiaEpi y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial.

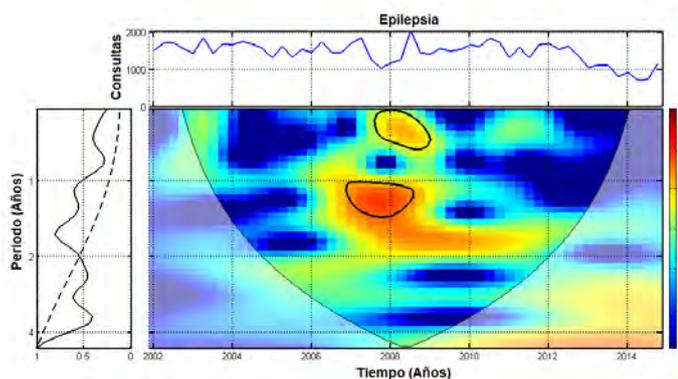
CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Resultados de los análisis con la CWT.

Análisis wavelet continuo de ConEpi (Espectro 1). En la zona superior se encuentra la serie de tiempo del marcador; el eje x es el tiempo en unidades de años y el eje y es la amplitud. Abajo se muestra el espectro wavelet de potencia (WPS, por sus siglas en inglés) en tiempo (eje x) y periodo (eje y), ambos en unidades de años. La gama de colores de este espectro muestra los valores de potencia y va del azul al rojo: el color rojo indica los intervalos en tiempo-frecuencia en donde las periodicidades tienen mayor potencia y el color azul indica los intervalos en tiempo-frecuencia en donde las periodicidades tienen menor potencia. El contorno curvado sobre este espectro marca las zonas del cono de influencia y los contornos negros gruesos señalan un nivel de confianza del 95% para el correspondiente espectro de ruido rojo. La barra de colores del lado derecho se encuentra en unidades arbitrarias normalizadas. Las

potencias altas se consideraron entre 2 y 8, las potencias medias entre 1 y 2 y las potencias bajas entre $\frac{1}{2}$ y 1. Las potencias por debajo de $\frac{1}{2}$ no se consideraron representativas para el estudio. Finalmente, en la parte izquierda se observa el espectro wavelet global (GWS, por sus siglas en inglés), el cual representa la suma de todos los



Espectro 1. CWT de ConEpi.

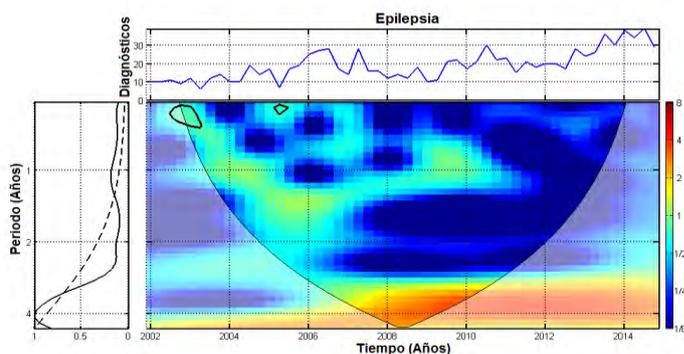
niveles de potencia obtenidos a lo largo del tiempo para cada una de las periodicidades. En este espectro el eje x representa la potencia global en unidades normalizadas, con las periodicidades más bajas cercanas a 0 y las más altas cercanas a 1, y el eje y las periodicidades en años. La línea negra punteada en este espectro señala las periodicidades que están por arriba o por debajo del 95% del nivel de confianza.

Para la descripción de los resultados obtenidos con los tres análisis (CWT, XWT y WTC) no se consideraron relevantes aquellas periodicidades por debajo del 95% del nivel de confianza en los GWSs, ni aquellas que no mostraban un claro cambio de concavidad en el espectro; además no se consideraron aquellas que se observaron con niveles de potencia muy bajos o totalmente fuera del cono de influencia en los WPSs.

Por otro lado, debido a los años utilizados en el estudio (13 años) la máxima resolución confiable observada en los GWSs fue de ~ 4 años. Periodicidades más grandes que esta no garantizaban estar dentro del cono de influencia ni dentro del rango de confiabilidad.

El GWS del Espectro 1 presentó periodicidades de 0.68, 1.09 y 1.64 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.68 años se distribuye entre 2003 y 2004 con poca potencia, entre finales del 2007 y principios del 2009 con mediana potencia y entre 2010 y 2012 nuevamente con baja potencia. El primer periodo señalado corresponde a una sección de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo al mínimo solar y el tercer periodo a una sección de la fase ascendente del ciclo solar 24, alrededor del primer pico máximo de este ciclo. La periodicidad de 1.09 años se distribuye entre 2002 y principios de 2004 con baja potencia, entre mediados del 2006 y principios del 2009 con potencia alta y entre el 2009 y el 2011 nuevamente con potencia baja. El primer periodo de esta periodicidad corresponde al inicio de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo al final de la misma fase descendente y a una parte de mínimo solar del ciclo 24, y el último periodo al inicio de la fase ascendente del ciclo 24. Finalmente, la periodicidad de 1.64 años se distribuye desde mediados de 2006 hasta mediados de 2007 con baja potencia, desde mediados de 2007 hasta 2012 con potencia alta, y de 2012 a finales de 2014 con potencia baja. El primer periodo señalado corresponde al inicio de la segunda mitad de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo a la parte final de la misma fase descendente, al mínimo solar del ciclo 24 y a una sección de la fase ascendente del ciclo solar 24, hasta el primer pico máximo, y el tercer periodo a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y a la fase descendente del mismo ciclo.

Análisis wavelet continuo de DiaEpi (Espectro 2). El GWS presentó periodicidades de 0.57, 1.09 y 4.13 años. En el WPS se observa que la periodicidad 0.57 años se distribuye de 2002 a mediados de 2003, de 2005 a 2006 y de mediados de 2006 a mediados de 2007 con baja potencia. Todos estos periodos



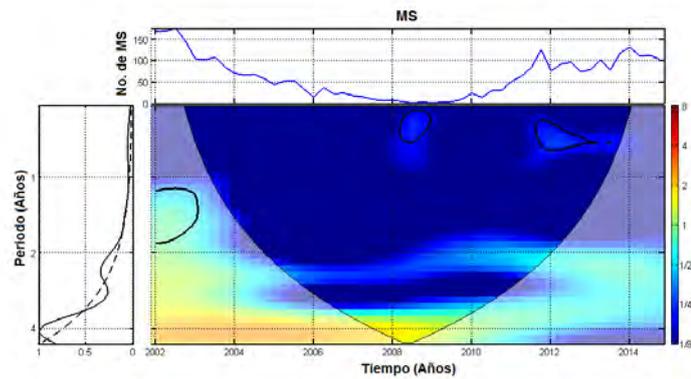
Espectro 2. CWT de DiaEpi.

corresponden a secciones de la fase descendente del ciclo solar 23. La periodicidad de 1.09 años se distribuye de mediados de 2002 a principios de 2005 y de 2007 a 2011 con baja potencia. El primer periodo corresponde a la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo a la parte final

de esta fase, al mínimo solar del ciclo 24 y al inicio de la fase ascendente del ciclo solar 24. La periodicidad de 4.13 años es dominante en el espectro y se distribuye de 2002 a 2007 con potencia media-alta y entre 2007 y 2014 con potencia alta.

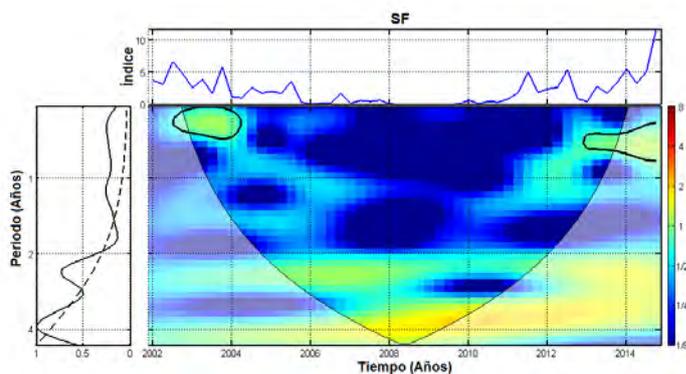
Análisis wavelet continuo de MS (Espectro 3). El GWS presentó periodicidades de 2.31 y 4.13 años. En el WPS se observa que la periodicidad 2.31 años tiene una distribución desde 2002 hasta 2008 y de 2012 a 2014 con baja potencia. El primer periodo corresponde a toda la fase descendente del ciclo solar 23,

mientras que el segundo periodo corresponde a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y a su fase descendente. La periodicidad de 4.13 años es dominante en el espectro y se distribuye entre 2002 y 2008 con potencia alta, entre 2008 y 2010 con potencia media y entre 2010 y 2012 con potencia baja. El primer periodo corresponde a la totalidad de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo al mínimo solar del ciclo 24 y el tercer periodo al inicio de la fase ascendente del ciclo solar 24.



Espectro 3. CWT de MS.

Análisis wavelet continuo SF (Espectro 4). El GWS presentó periodicidades de 0.61, 1.09, 2.31 y 3.9 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.61 años se distribuye con potencia media-baja entre finales de 2002 y principios de 2004, comienzo de la fase descendente del ciclo solar 23, y alrededor de 2014, en regiones circundantes al segundo pico máximo del ciclo solar 24. La periodicidad de 1.09 años se distribuye entre 2006 y mediados de 2007 y entre 2011 y 2014 con potencia baja. El primer periodo corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo a casi toda la fase ascendente del ciclo solar 24 y a su fase descendente. La periodicidad de 2.31 años se distribuye entre 2002 y 2009 con baja potencia y entre 2012 y 2014 con potencia media. El primer periodo

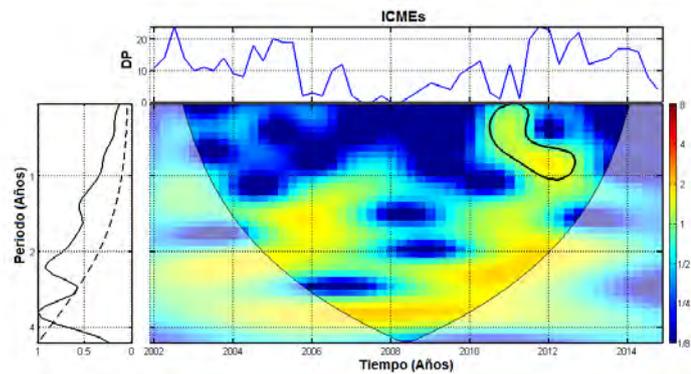


Espectro 4. CWT de SF.

corresponde a la totalidad de la fase descendente del ciclo solar 23 y al mínimo solar del ciclo 24, mientras que el segundo periodo a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y a su fase descendente. Finalmente, la periodicidad de 3.9 años se distribuye de 2002 a 2007 con potencia baja y entre 2007 y 2014 con potencia media.

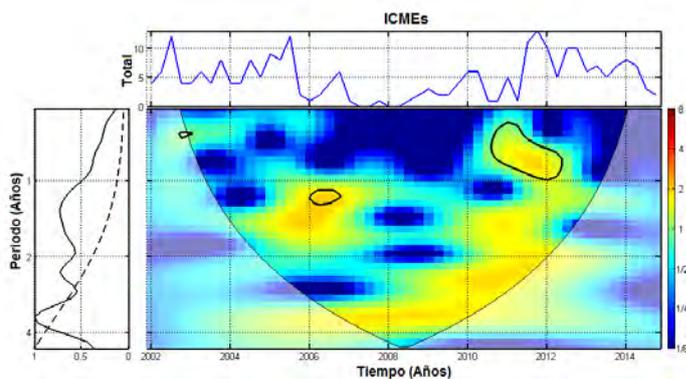
Análisis wavelet continuo de ICMEs DP (Espectro 5). El GWS presentó periodicidades de 1.30, 2.31 y 3.47 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.30 años se distribuye entre 2005 y mediados de 2007 y desde la segunda mitad de 2009 hasta 2012 con potencias medias. El primer periodo abarca la zona media de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo anarca la primera mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, hasta el primer pico máximo de este ciclo. La periodicidad de 2.31 años se distribuye entre 2002 y 2006 con potencia media, entre 2006 y la primera mitad de 2008

con potencia baja y desde la segunda mitad de 2008 hasta 2013 nuevamente con potencia media. La periodicidad de 3.47 años se distribuye de 2002 a 2004 y de 2013 a 2014 con potencia baja, y desde 2004 hasta 2013 con potencia media. Por lo tanto, su distribución indica su relevancia media durante los dos ciclos solares abarcados en la investigación.



Espectro 5. CWT de ICMEs DP.

Análisis wavelet continuo de ICMEs Tot (Espectro 6). El GWS presentó periodicidades de 1.30, 2.31 y 3.47 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.30 años se distribuye entre 2005 y 2007 y

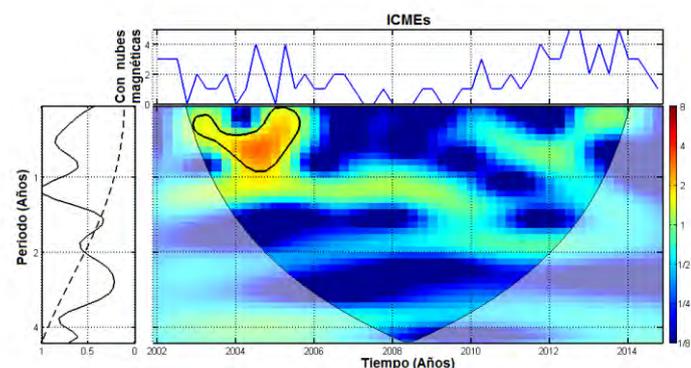


Espectro 6. CWT de ICMEs Tot.

entre 2010 y finales de 2011 con potencias intermedias principalmente. Estos años marcan una sección de la fase descendente del ciclo solar 23, el final del mínimo solar del ciclo 24 y la primera mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, hasta el primer pico máximo de este ciclo. La periodicidad de 2.31 años se distribuye de 2002 a

2009 y de 2012 a finales de 2014 con potencia baja, y de 2009 a 2012 con potencia intermedia. La periodicidad de 3.47 años se distribuye con potencia intermedia entre 2004 y 2013, y con potencia baja entre 2002 y 2004 y entre 2013 y finales de 2014.

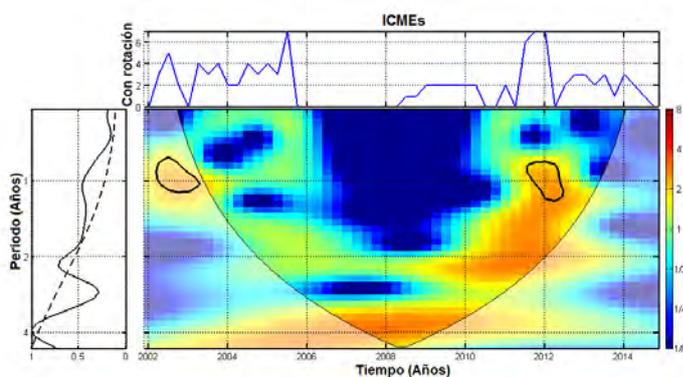
Análisis wavelet continuo de ICMEs NM (Espectro 7). El GWS presentó periodicidades de 0.73, 1.16 y 1.84 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.73 años se distribuye con potencia alta entre 2003 y mediados de 2005, y con potencia baja alrededor de 2012. El primer periodo abarca una sección inicial de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo las zonas circundantes al primer pico máximo del ciclo solar 24. La periodicidad de 1.16 años se observa con potencia media-baja entre 2002 y



Espectro 7. CWT de ICMEs NM.

2010, y entre 2012 y 2013. Estos años abarcan la fase descendente del ciclo solar 23 y el mínimo solar del ciclo 24; así como la parte final de la fase ascendente del ciclo solar 24. La periodicidad de 1.84 años se observa con baja potencia entre 2007 y 2014. Periodo que corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23, al mínimo solar del ciclo 24 y a las fases ascendente y descendente del ciclo solar 24.

Análisis wavelet continuo de ICMEs Rot (Espectro 8). El GWS presentó periodicidades de 0.54, 1.09, 2.18 y 3.9 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.54 años se distribuye con potencia baja entre 2003 y 2006, y entre mediados de 2010 y principios de 2012. El primer periodo corresponde a una parte de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo corresponde a las zonas circundantes del primer pico máximo característico del ciclo solar 24. La periodicidad de 1.09 años se



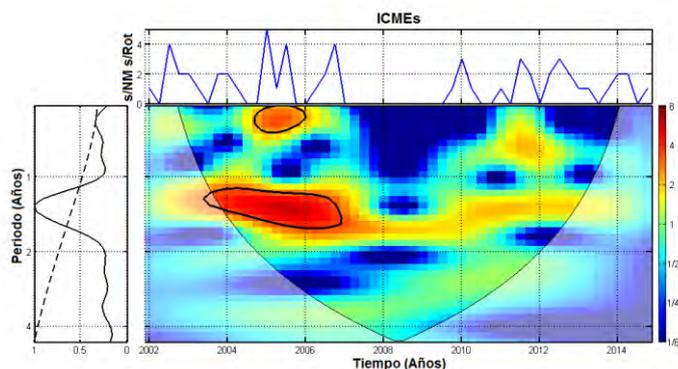
Espectro 8. CWT de ICMEs Rot.

distribuye entre 2002 y 2004 y entre 2011 y 2013 con potencia media-alta, y entre 2004 y 2006, y alrededor de 2014 con potencia baja. El primer periodo abarca una parte de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo al primer pico máximo, el tercer periodo abarca la

parte central de la fase descendente del ciclo solar 23, y el cuarto periodo las zonas alrededor del segundo pico máximo del ciclo solar 24. La periodicidad de 2.18 años se distribuye con potencia baja entre 2003 y 2009, y durante 2014, y con potencia alta entre 2009 y mediados de 2013. La periodicidad de 3.9 años se distribuye con alta potencia desde 2004 hasta finales de 2013, y con potencia baja en los extremos del periodo de estudio.

Análisis wavelet continuo de ICMEs s/NM s/Rot (Espectro 9). El GWS presentó periodicidades de 0.61 y 1.30 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.61 años se distribuye con alta potencia entre

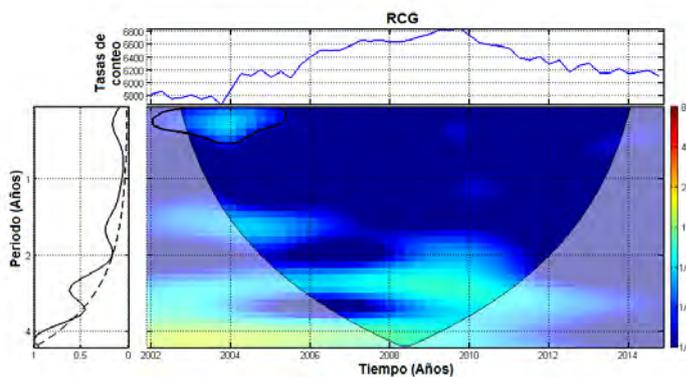
finales de 2004 e inicios de 2006, y con baja potencia de 2002 a finales de 2004, de 2006 a 2007 y de 2011 a 2012. El primer periodo señalado corresponde a una sección intermedia de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo a la primera mitad de esa misma fase descendente, el tercer periodo una sección de la segunda mitad



Espectro 9. CWT de ICMEs s/NM s/Rot.

de la fase descendente del ciclo solar 23 y el cuarto periodo a las zonas circundantes al primer pico máximo del ciclo solar 24. La periodicidad de 1.30 años, se distribuye con potencia alta principalmente entre 2002 y 2007, y con potencia media principalmente entre finales de 2009 y 2014. El primer periodo abarca toda la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo toda la fase ascendente del ciclo solar 24.

Análisis wavelet continuo de RCG (Espectro 10). El GWS presentó periodicidades de 0.61, 1.54, 2.75 y 4.37 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.61 años se distribuye con poca potencia entre 2003 y 2005, periodo que abarca una pequeña sección de la fase descendente del ciclo solar 23. La

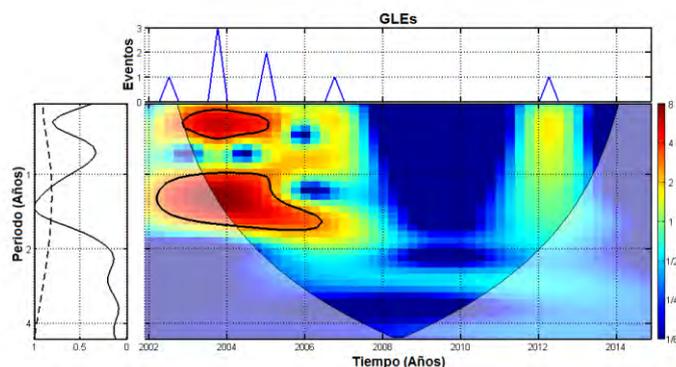


Espectro 10. CWT de RCG.

periodicidad de 1.54 años se distribuye de 2002 a 2006 con potencia baja, durante la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23. La periodicidad de 2.75 años se distribuye desde 2002 hasta 2011 con potencia baja también. La periodicidad de 4.37 años tiene una distribución con potencia media de 2002 a 2006 y con potencia

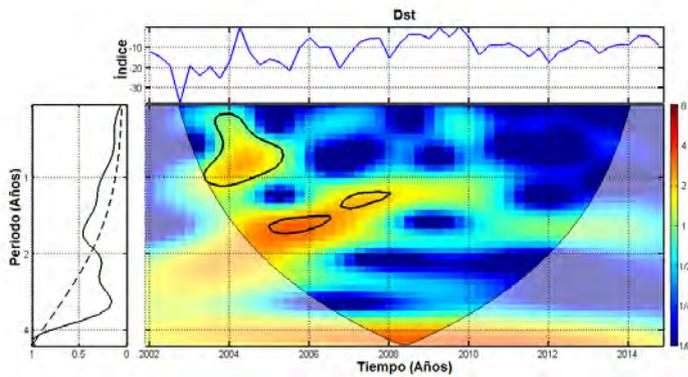
baja de 2006 a 2011. El primer periodo corresponde a la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo a la segunda mitad del ciclo solar 23, al mínimo solar del ciclo 24 y la primera mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, hasta antes de llegar al primer pico máximo de este ciclo.

Análisis wavelet continuo de GLEs (Espectro 11). El GWS presentó únicamente la periodicidad de 1.37 años. En el WPS se observa que esta periodicidad se distribuye con alta potencia entre 2002 y 2007, y con baja potencia entre 2011 y finales de 2013. El primer periodo señalado corresponde a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo corresponde a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, abarcando al primer pico máximo de este ciclo.



Espectro 11. CWT de GLEs.

Análisis wavelet continuo del índice Dst (Espectro 12). El GWS presentó periodicidades de 0.65, 1.64 y 4.37 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.65 años se distribuye con poca potencia entre 2003 y 2005, entre 2006 y 2008, y entre 2009 y mediados de 2010. Los dos primeros periodos

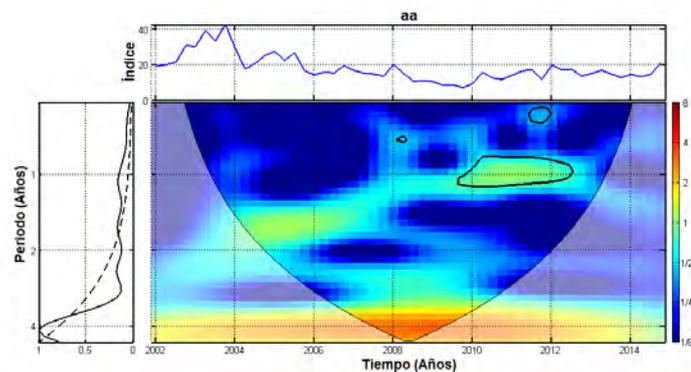


Espectro 12. CWT del índice Dst.

corresponden a secciones de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el tercer periodo corresponde al final del mínimo solar del ciclo 24 y al comienzo de la fase ascendente del mismo ciclo. La periodicidad de 1.64 años se distribuye con alta potencia entre 2004 y 2007, abarcando gran parte de la fase descendente del ciclo

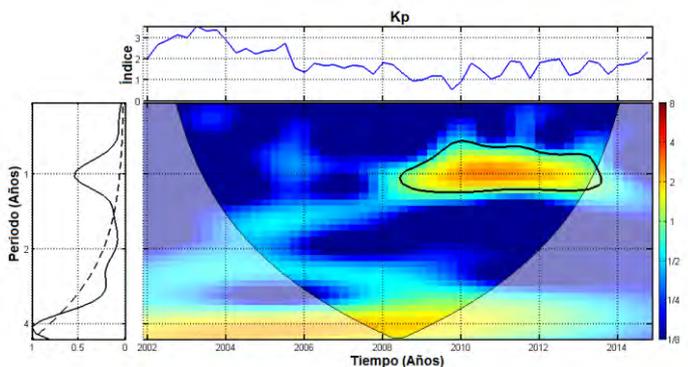
solar 23, y con poca potencia entre finales de 2010 y finales de 2014, abarcando las fases ascendente y descendente del ciclo solar 24. La periodicidad de 4.37 años tiene una distribución con potencia media-alta a lo largo de todos los años del estudio.

Análisis wavelet continuo del índice aa (Espectro 13). El GWS presentó periodicidades de 1.09, 1.64 y 4.13 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.09 años se distribuye con poca potencia entre finales de 2007 y 2013, años que corresponden a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23, al mínimo solar del ciclo solar 24 y a una gran parte de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo al primer pico máximo. La periodicidad de 1.64 años se distribuye entre 2004 y mediados del 2007 con poca potencia, abarcando casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. La periodicidad de 4.13 años se distribuye con alta potencia durante todo el periodo de estudio.



Espectro 13. CWT del índice aa.

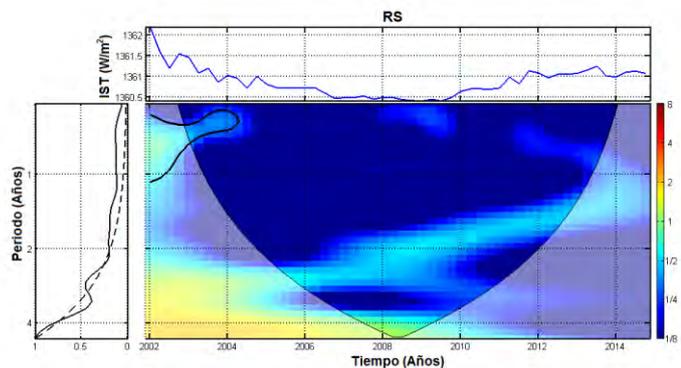
Análisis wavelet continuo del índice Kp (Espectro 14). El GWS presentó periodicidades de 1.03 y 4.13 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.03 años se distribuye con potencia media-alta entre finales de 2008 y finales de 2013, abarcando la segunda mitad del mínimo solar del ciclo 24 y toda la fase ascendente del mismo ciclo. La periodicidad de 4.13 años se observa distribuida a lo largo de todo el periodo de estudio, pero con



Espectro 14. CWT del índice Kp.

mediana potencia entre 2002 y 2012, y con baja potencia desde 2012 hasta finales de 2014. El primer periodo señalado abarca la totalidad de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y la primera mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo el primer pico máximo; mientras que el segundo periodo abarca la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y su fase descendente.

Análisis wavelet continuo de RS (Espectro 15). El GWS presentó periodicidades de 0.68, 1.84 y 2.75 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 0.68 años tiene una distribución con potencia baja entre 2002 y 2004, región inicial de la fase descendente del ciclo solar 23. La periodicidad de 1.84 años se distribuye también con baja potencia entre 2007 y 2011, abarcando el mínimo solar del ciclo 24 y parte de la fase ascendente del mismo ciclo, sin llegar al primer pico máximo. La periodicidad de 2.75 años se distribuye de 2002 a 2006 con potencia media, y de 2006 a 2010 con potencia baja; abarcando toda la fase descendente del ciclo solar 23 y el mínimo solar del ciclo 24.



Espectro 15. CWT de RS.

Una vez que se obtuvieron los espectros wavelet con la CWT se decidió agrupar a los marcadores analizados de acuerdo al comportamiento de sus GWSs, con la finalidad de tener una idea inicial de cuáles marcadores podrían estar relacionados entre sí, debido a la similitud de sus periodicidades intrínsecas. Además, se realizó una esquematización de las distribuciones y los niveles de potencia de las periodicidades de cada marcador sobre los ciclos solares abarcados en el estudio, de acuerdo a los resultados obtenidos en los WPSs con el objetivo de hacer más fácil su visualización e interpretación. En estos esquemas las líneas de color rojo representan potencias altas, las de color amarillo potencias medias y las de color verde potencias bajas. Todos estos colores se relacionan con la descripción de valores de potencia alta, media y baja señalada en el Espectro 1.

Se generaron siete grupos:

Grupo 1. Se conformó por DiaEpi, MS, RCG, índices Dst y aa y RS. Todos los miembros del grupo tienen en su periodicidad más grande la mayor potencia. Para DiaEpi, MS e Índice aa esta periodicidad está ~4.13 años, para RCG e Índice Dst ~4.37 años y para RS ~2.75 años. En la gráfica se observó que RS aumentó nuevamente ~4.6 años, sin embargo, al no observarse un claro cambio de concavidad esta periodicidad no se tomó en cuenta como la más grande (Figura 28).

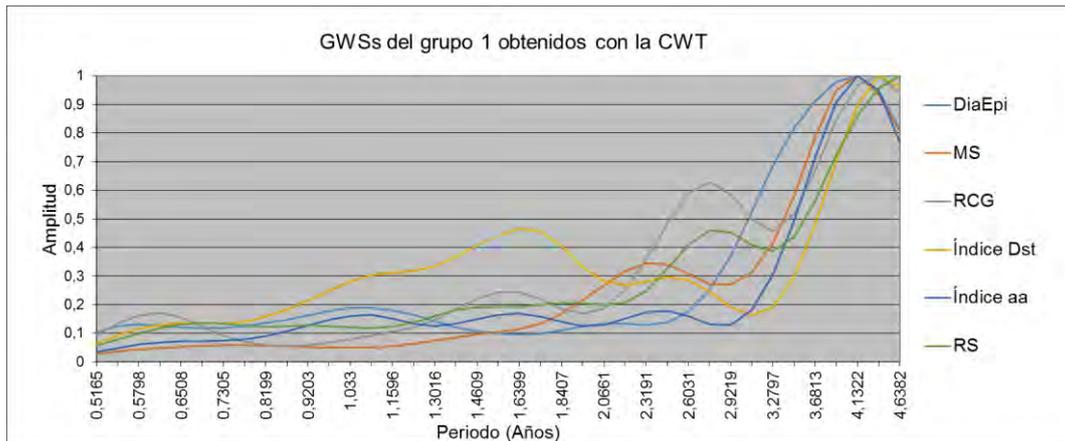


Figura 28. GWSs de DiaEpi, MS, RCG, índice Dst y aa y RS obtenidos a través de la CWT.

En los esquemas del Grupo 1 se observa claramente que las periodicidades más grandes son las que tienen mayor potencia (Tabla 2).

ANÁLISIS CWT / GRUPO 1				
Parámetro	Periodicidades			
DiaEpi	0.57	1.09	4.13	
MS	2.31		4.13	
RCG	0.61	1.54	2.75	4.37
Índice Dst	0.65	1.64	4.37	
Índice aa	1.09	1.64	4.13	
RS	0.68	1.84	2.75	

Tabla 2. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de los DiaEpi, las MS, los RCG, el índice Dst, el índice aa y la RS obtenidos con la CWT.

Grupo 2. Se conformó por ConEpi. Se observa que este marcador tiene su mayor potencia en la periodicidad de ~1.64 años, seguida de la de ~1 año. En este espectro la potencia de ~3 años no se tomó en cuenta debido a su poca confiabilidad (Figura 29).

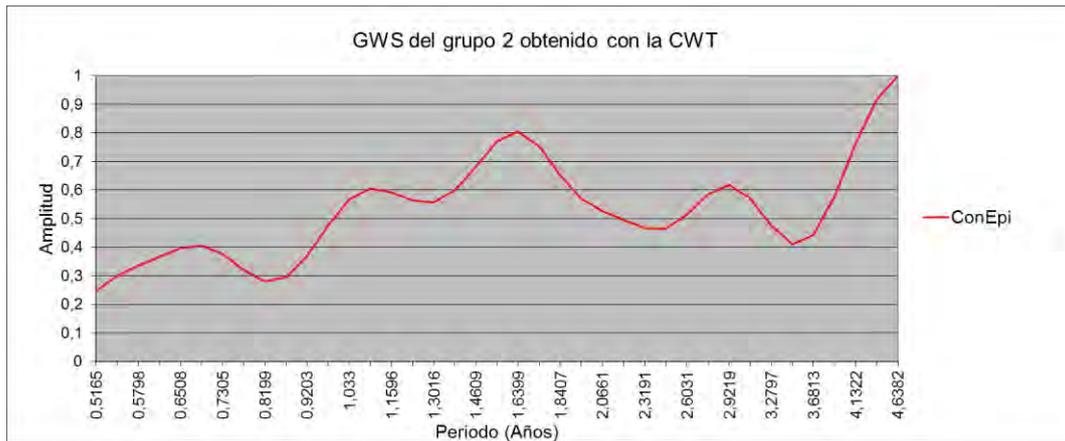


Figura 29. GWS de las ConEpi obtenido a través de la CWT.

En los esquemas se observa que la distribución de las potencias medias y altas es más amplia en la periodicidad de 1.64 años (Tabla 3).

ANÁLISIS CWT / GRUPO 2			
Parámetro	Periodicidades		
ConEpi	0.68	1.09	1.64

Tabla 3. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de las ConEpi obtenido con la CWT.

Grupo 3. Se conformó por SF. Este marcador tiene su mayor potencia en la periodicidad ~4 años y otra potencia significativa ~2.31 años (Figura 30).

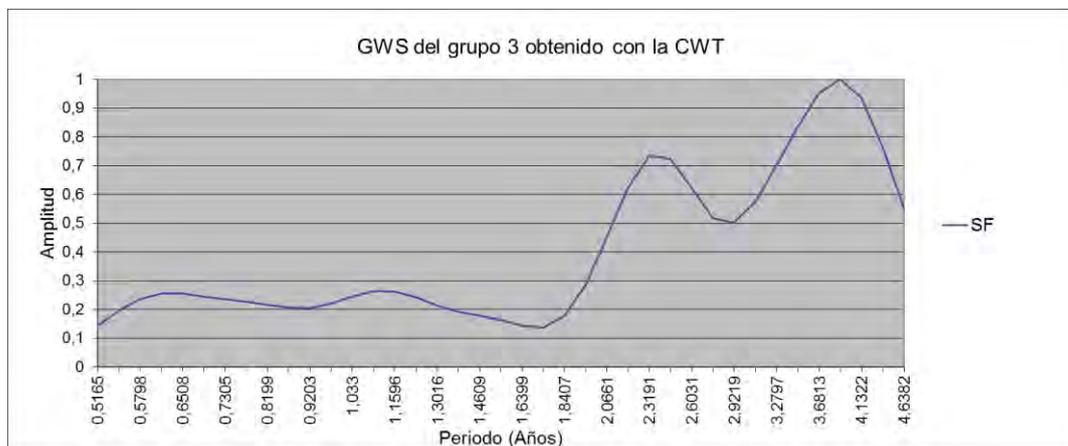


Figura 30. GWS de las SF obtenido a través de la CWT.

En los esquemas se observa que tanto la periodicidad de 2.31 años como la de 3.90 años presentaron potencias medias, sin embargo, la amplia distribución de la potencia media en la periodicidad de 3.90 años fue la que produjo que ésta tuviera una potencia global más alta en el GWS (Tabla 4).

ANÁLISIS CWT / GRUPO 3	
Parámetro	Periodicidades
SF	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">0.61 </div> <div style="text-align: center;">1.09 </div> <div style="text-align: center;">2.31 </div> <div style="text-align: center;">3.90 </div> </div>

Tabla 4. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de las SF obtenido con la CWT.

Grupo 4. Se conformó por el Índice Kp. Este marcador tiene su mayor potencia en la periodicidad ~4 años como en el caso anterior, sin embargo, la periodicidad que le sigue en importancia se localiza ~1 año (Figura 31).

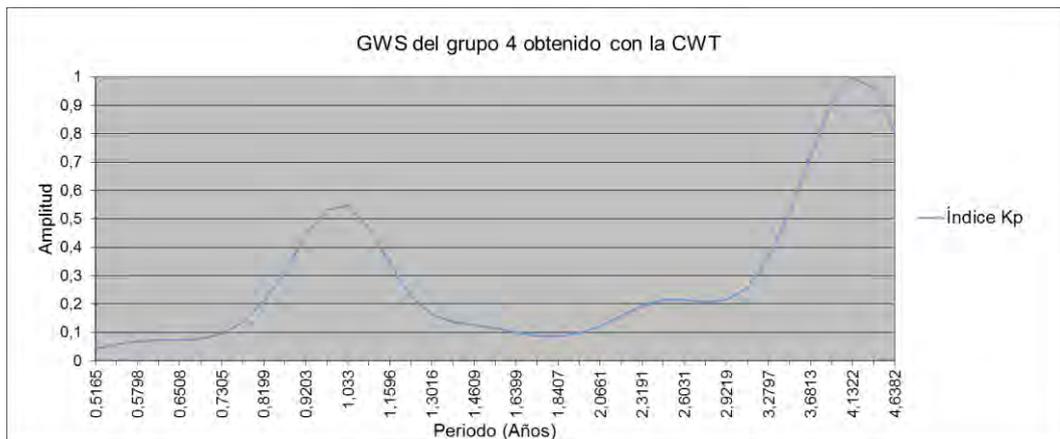


Figura 31. GWS del índice Kp obtenido a través de la CWT.

Los esquemas del Grupo 4 muestran que a pesar de que la periodicidad de ~1 año muestra potencia alta en la fase ascendente del ciclo solar 24, ésta no fue suficiente para generar una potencia global más alta que la observada en la periodicidad de ~4 años, la cual presentó potencia media en casi todo el periodo estudiado (Tabla 5)

ANÁLISIS CWT / GRUPO 4	
Parámetro	Periodicidades
Índice Kp	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">1.03 </div> <div style="text-align: center;">4.13 </div> </div>

Tabla 5. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS del índice Kp obtenido con la CWT.

Grupo 5. Se conformó por ICMEs DP, ICMEs Tot e ICMEs Rot. Los miembros del grupo tienen en las dos últimas periodicidades la mayor potencia, ~2.2 y ~3.5 años. En este caso es importante mencionar que a diferencia de las SF, las cuales presentaron también potencias altas en sus periodicidades más grandes, estos marcadores mostraron un aumento gradual de potencia de las periodicidades más pequeñas hasta las más grandes, mientras que las SF mantuvieron potencias bajas en las periodicidades pequeñas y subieron abruptamente hacia sus dos picos máximos (Figura 32).

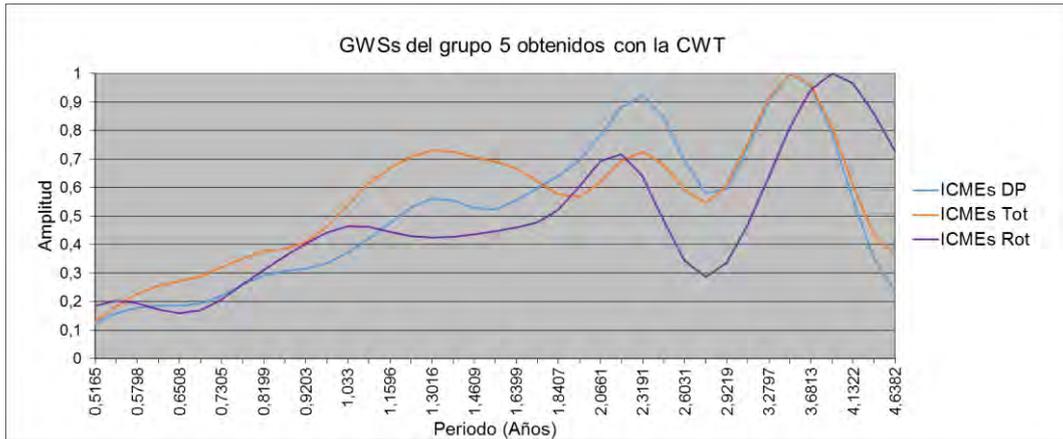


Figura 32. GWSs de las ICMEs DP, las ICMEs Tot y las ICMEs Rot obtenidos a través de la CWT.

En los esquemas del grupo 5 se observa que las distribuciones de las potencias medias y altas en cada marcador son mayores alrededor de ~ 2.2 y ~ 3.5 años (Tabla 6).

ANÁLISIS CWT / GRUPO 5				
Parámetro	Periodicidades			
ICMEs DP	1.30	2.31	3.47	
ICMEs Tot	1.30	2.31	3.47	
ICMEs Rot	0.54	1.09	2.18	3.9

Tabla 6. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las ICMEs DP, las ICMEs Tot y las ICMEs Rot obtenidos con la CWT.

Grupo 6. Se conformó por ICMEs NM. Este marcador mostró su mayor potencia ~ 1.16 años, seguida de la periodicidad de ~ 0.73 años. En este espectro la potencia de ~ 4 años no se tomó en cuenta debido a su poca confiabilidad (Figura 33).

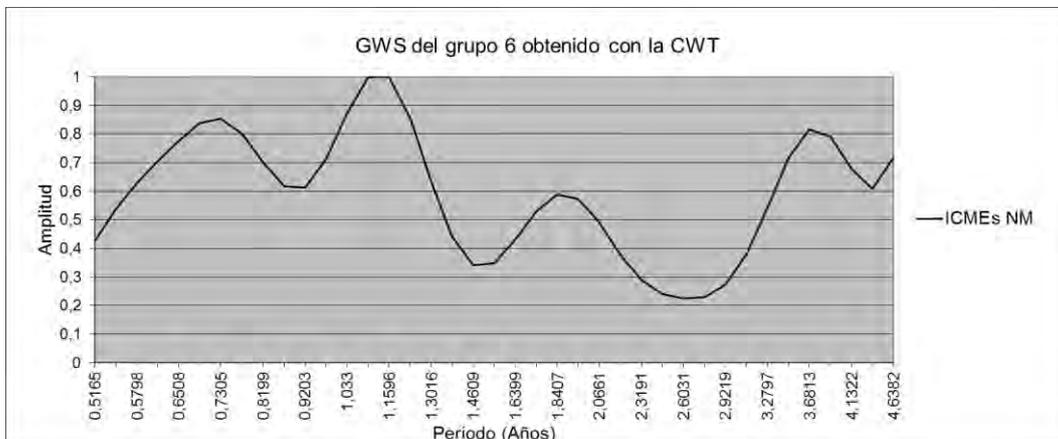


Figura 33. GWS de las ICMEs NM obtenido a través de la CWT.

En los esquemas de ICMEs NM se observa que la periodicidad de 0.73 años presenta potencia media y alta, sin embargo, su distribución no es suficiente para tener un valor global alto, es por esto que la periodicidad de 1.16 años a pesar de solo mostrar potencia baja pero con amplia distribución es la más importante globalmente para esta serie de tiempo (Tabla 7).

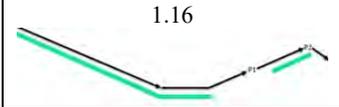
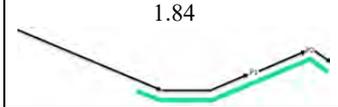
ANÁLISIS CWT / GRUPO 6			
Parámetro	Periodicidades		
	0.73	1.16	1.84
ICMEs NM			

Tabla 7. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de las ICMEs NM obtenido con la CWT.

Grupo 7. Se conformó por ICMEs s/NM s/Rot y GLEs. Este grupo se caracterizó por presentar un pico de mayor potencia alrededor de la periodicidad de 1.3 años (Figura 34).

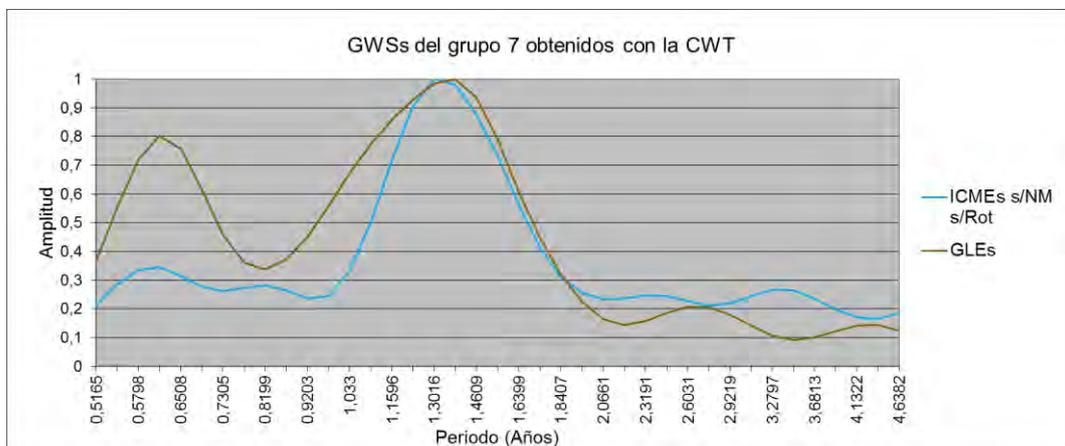


Figura 34. GWSs de las ICMEs s/NM s/Rot y de los GLEs obtenidos a través de la CWT.

En los esquemas se observa claramente que la distribución de las potencias altas y medias es mayor en ambos marcadores alrededor de la periodicidad de 1.3 años. En este espectro no se tomó en cuenta la periodicidad de los GLEs ~0.58 años debido a su poca confiabilidad (Tabla 8).

ANÁLISIS CWT / GRUPO 7			
Parámetros	Periodicidades		
ICMEs s/NM s/Rot	0.61		1.30
GLEs		1.37	

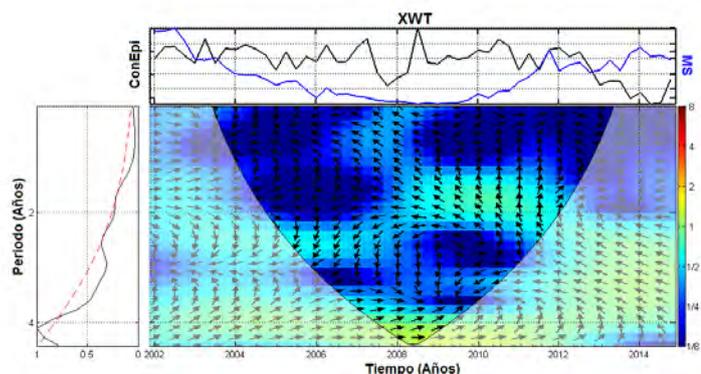
Tabla 8. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las ICMEs s/NM s/Rot y los GLEs obtenidos con la CWT.

5.2 Resultados de los análisis con la XWT. En estos espectros el recuadro superior contiene las dos series de tiempo de los marcadores relacionados: con color negro la serie de tiempo de ConEpi o DiaEpi, según es el caso, mientras que con color azul cada uno de los marcadores de los fenómenos del Clima

Espacial. En el WPS las flechas negras indican el tipo de relación que están teniendo las periodicidades en un punto particular; las flechas dirigidas hacia el lado derecho (0°) indican que las periodicidades están en fase y las flechas dirigidas hacia el lado izquierdo (180°) indican que las periodicidades están en antifase. Las flechas ubicadas en otros ángulos representan una relación compleja entre las periodicidades. En el GWS la línea punteada roja muestra el 95% del nivel de confianza (Espectro 16). Los GWSs resultantes de estos análisis también se agruparon, con la finalidad de observar que combinaciones presentaban comportamientos similares. La esquematización de las distribuciones y los niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs también se realizó.

5.2.1 Pares formados entre ConEpi y los fenómenos del Clima Espacial. *Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-MS (Espectro 16).*

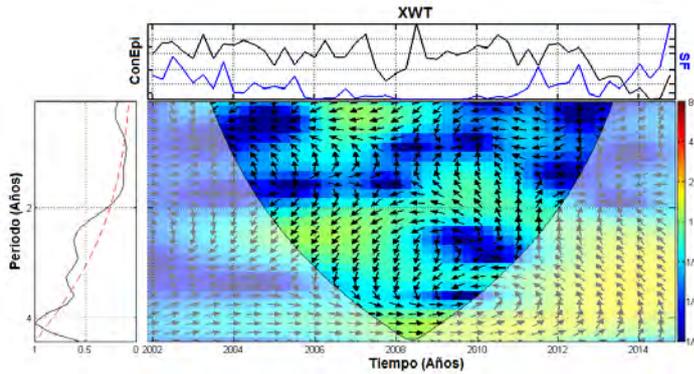
El GWS presentó periodicidades de 2.45 y 4.13 años. En el WPS la periodicidad de 2.45 años se distribuye con baja potencia entre 2002 y 2007, periodo que abarca casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas durante este periodo muestran inclinaciones entre 320° y 240° , indicando relaciones complejas entre las periodicidades. La periodicidad de 4.13 años muestra una distribución



Espectro 16. XWT de la combinación ConEpi-MS.

entre 2002 y 2008 y entre 2010 y finales de 2014 con potencia baja, y con potencia media entre 2008 y 2010. Durante el periodo más representativo de esta periodicidad las flechas se inclinan $\sim 0^\circ$, por lo que se considera que estas periodicidades están principalmente en fase.

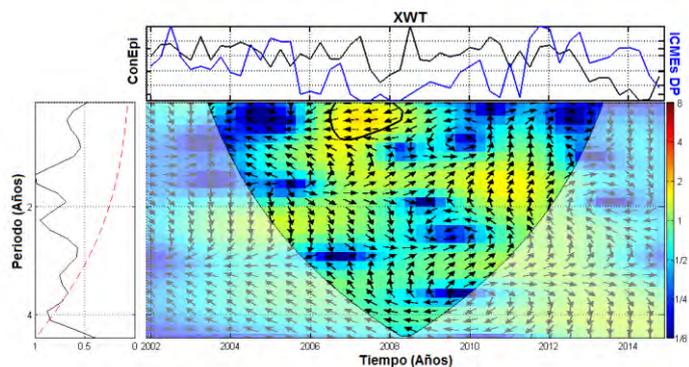
Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-SF (Espectro 17). El GWS presentó periodicidades de 1.09, 2.45, 3.09 y 4.13 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.09 años se distribuye entre 2006 y 2009 y durante 2011 con baja potencia. El primer periodo corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23 y a la mitad del mínimo solar del ciclo 24, mientras que el segundo periodo corresponde a la zona del primer pico máximo del ciclo solar 24. Las flechas durante estos periodos están inclinadas 180° , lo que indica que las periodicidades están en antifase. La periodicidad de 2.45 años se observa distribuida entre 2003 y principios de 2008 con baja potencia, y entre 2012 y 2014 con potencia media. El primer periodo corresponde a casi toda fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo corresponde a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y a la fase descendente del mismo ciclo. Las flechas durante el primer periodo están inclinadas $\sim 220^\circ$, mientras que en el segundo $\sim 100^\circ$; lo que indica una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 3.09 años tiene una distribución entre 2006 y 2011 con baja potencia y entre 2011 y 2014 con potencia media. El primer periodo corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo



Espectro 17. XWT de la combinación ConEpi-SF.

mostrando relaciones complejas, en antifase y nuevamente complejas entre las periodicidades. La periodicidad de 4.13 años se distribuye de 2002 a 2007 con potencia baja y de 2007 a finales de 2014 con potencia media, lo que indica que esta periodicidad es medianamente relevante en ambos ciclos solares. De 2002 a 2010 las flechas se inclinan 0° , por lo tanto las periodicidades están en fase, mientras que de 2010 a 2014 las flechas tienen a inclinarse hacia 90° , volviendo compleja la relación.

Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-ICMEs DP (Espectro 18). El GWS presentó periodicidades de 1.16, 1.64, 2.18, 3.09 y 3.9 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.16 años se distribuye entre finales del 2006 y principios del 2008 con potencia media, y durante 2011 con potencia baja. El primer periodo corresponde a la segunda mitad de la fase descendente del ciclo solar 23 y al inicio del mínimo solar del ciclo 24, mientras que el segundo a la zona del primer pico máximo del ciclo solar 24. Las flechas durante el primer periodo se inclinan 180° , señalando que las periodicidades están en antifase, y durante el segundo periodo $\sim 10^\circ$, señalando una relación compleja. La periodicidad de 1.64 años se distribuye con potencia baja de 2004 a 2005 y de 2012 hasta finales de 2014, y con potencia media-alta entre 2005 y 2012. El primer periodo corresponde a la zona central de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y a su fase descendente, y el tercer periodo corresponde al final de la fase descendente del ciclo solar 23, al mínimo solar del ciclo 24 y a la primer parte de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo su primer pico máximo. Las flechas durante estos periodos tienen ángulos de inclinación entre 70° y 40° , lo que representa una relación compleja para estas periodicidades. La periodicidad de 2.18 años muestra una distribución con potencia media entre 2003 y 2008 y entre 2010 y 2013, y con potencia baja entre 2008 y 2010. Lo anterior indica que esta periodicidad es medianamente relevante en ambos ciclos solares. Las flechas durante estos

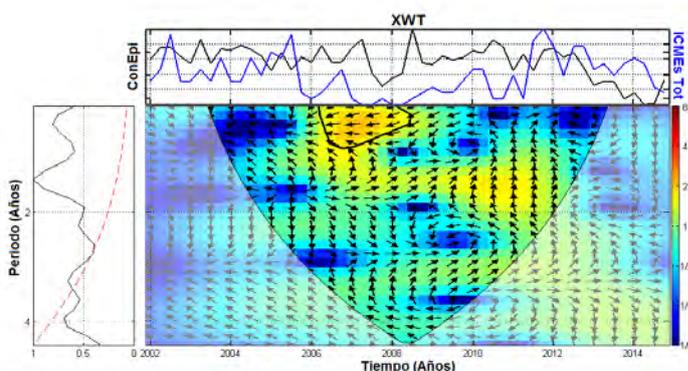


Espectro 18. XWT de la combinación ConEpi-ICMEs DP.

solar 23, al mínimo solar del ciclo 24 y al inicio de la fase ascendente del ciclo solar 24; mientras que el segundo periodo corresponde a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo al primer pico máximo, y a la fase descendente del mismo ciclo. Durante estos periodos las flechas se inclinan $\sim 270^\circ$, 180° y $\sim 130^\circ$,

periodos están dirigidas desde $\sim 270^\circ$ hasta $\sim 100^\circ$, por lo que la relación es compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 3.09 años se distribuye con potencia baja desde 2003 hasta 2010 y con potencia media desde 2010 hasta finales de 2013, por lo tanto se considera de baja a medianamente relevante en casi ambos ciclos solares. La inclinación de las flechas de 2003 a 2010 se observa entre 165° y 45° , señalando relaciones complejas entre las periodicidades; mientras que de 2010 a finales de 2013 se inclinan 0° , mostrando que las periodicidades están en fase. La periodicidad de 3.9 años se observa distribuida con baja potencia de 2002 a 2010 y con potencia media de 2010 a finales de 2014, por lo tanto esta periodicidad se considera de baja a medianamente relevante durante ambos ciclos solares. De 2002 a 2008 las flechas se inclinan $\sim 165^\circ$, mostrando una relación compleja, de 2008 a 2010 se inclinan 180° , mostrando que las periodicidades están en antifase, y de 2010 a finales de 2014 se inclinan $\sim 270^\circ$ mostrando nuevamente una relación compleja.

Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-ICMEs Tot (Espectro 19). El GWS presentó periodicidades de 1.16, 1.64, 2.18 y 3.09 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.16 años se distribuye con potencia media entre 2006 y mediados de 2008, y con potencia baja entre mediados de 2008 y 2010 y durante 2011. El primer periodo abarca la segunda mitad de la fase descendente del ciclo solar 23 y el inicio del mínimo solar del ciclo 24, el segundo periodo gran parte del mínimo solar del ciclo 24, y el tercero la zona del primer pico máximo del ciclo solar 24. Durante el primer y segundo periodo las flechas se dirigen $\sim 180^\circ$, mostrando que las periodicidades están en antifase, mientras que durante el



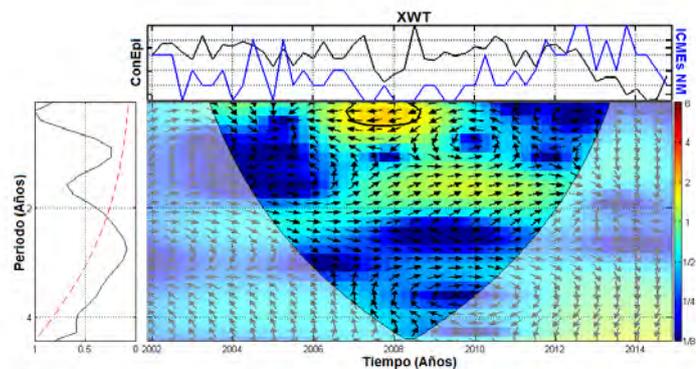
Espectro 19. XWT de la combinación ConEpi-ICMEs Tot.

tercer periodo se inclinan $\sim 15^\circ$, señalando una relación compleja. La periodicidad de 1.64 años tiene una distribución con baja potencia de 2004 a 2007 y con potencia media entre 2007 y 2012. El primer periodo corresponde a la zona media de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo corresponde al final esta fase

descendente, al mínimo solar del ciclo 24 y a la primera mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo su primer pico máximo representativo. Durante estos periodos las flechas se inclinan de 120° a 60° y $\sim 90^\circ$, por lo que se muestra una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 2.18 años tiene una distribución con potencia media entre finales de 2003 y 2008 y entre 2010 y finales de 2013, y una distribución con potencia baja entre 2008 y 2010. El primer periodo corresponde a la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo a la fase ascendente del ciclo solar 24 y el tercero al mínimo solar del ciclo 24. Lo anterior indica que esta periodicidad es medianamente relevante en ambos ciclos solares. Durante el primer periodo las flechas se inclinan entre 270° y 300° , durante el segundo

periodo entre 220 y 170° y durante el tercero entre 140 y 155° , por lo tanto la relación entre las periodicidades siempre es compleja. La periodicidad de 3.09 años se distribuye entre 2004 y 2008 con baja potencia, y entre 2008 y finales de 2014 con potencia media. El primer periodo corresponde a casi toda la fase descendente de ciclo solar 23, mientras que la segunda al mínimo solar del ciclo 24 y a toda fase ascendente del mismo ciclo. Entre 2004 y 2010 las flechas se inclinan entre 150 y 90° , mostrando una relación compleja, mientras que entre 2010 y finales de 2014 se inclinan 0° , mostrando que las periodicidades están en fase.

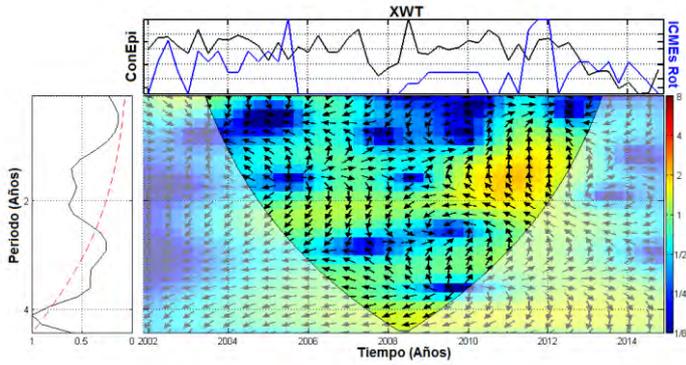
Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-ICMEs NM (Espectro 20). El GWS presentó periodicidades de 1.09 y 1.73 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.09 años se distribuye con potencia baja entre 2002 y 2007 y entre 2009 y 2010, y con potencia media entre 2007 y 2009. El primer periodo abarca dos terceras partes de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo el final de esta fase y la mitad del mínimo solar del ciclo 24, y el tercer periodo la otra mitad del mínimo solar. Durante el primer periodo las flechas se inclinan entre 25 y 270° , indicando relaciones complejas entre las periodicidades y durante los dos últimos periodos se inclinan 180° , mostrando que las periodicidades están en antifase. La periodicidad de 1.73



Espectro 20. XWT de la combinación ConEpi-ICMEs NM.

años se distribuye con poca potencia entre 2007 y 2008 y entre 2012 y finales de 2014, y con potencia media entre 2008 y 2012. El primer periodo abarca la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo 24 y su fase descendente, y el tercer periodo el mínimo solar del ciclo 24 y la mitad de la fase ascendente del mismo ciclo, incluyendo al primer pico máximo. Durante el primer periodo las flechas se inclinan $\sim 30^\circ$ y durante el segundo periodo entre 325 y 270° señalando una relación compleja en ambos casos. Durante el tercer periodo las flechas se inclinan principalmente 0° , por lo que las periodicidades están en fase.

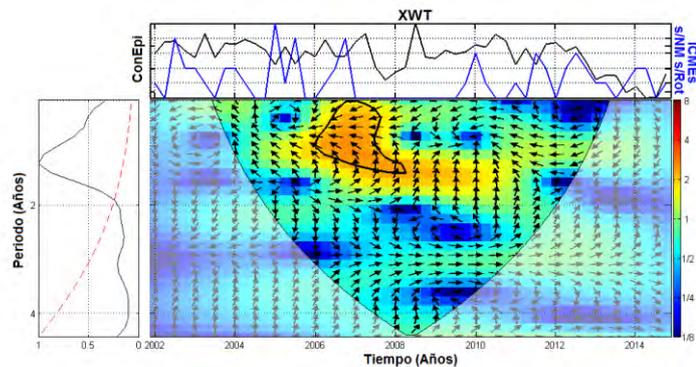
Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-ICMEs Rot (Espectro 21). El GWS presentó periodicidades de 1.64, 2.06 y 4.13 años. En el WPS se observa que la periodicidad de 1.64 años se distribuye con potencia baja entre 2004 y 2010 y con potencia media-alta entre 2010 y 2013. El primer periodo corresponde a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23 y al mínimo solar del ciclo 24, mientras que el segundo periodo corresponde a casi toda la fase ascendente del ciclo solar 24. Durante estos periodos las flechas se inclinan de 145 a 55° y $\sim 90^\circ$, mostrando relaciones complejas entre las periodicidades. La periodicidad de 2.06 años tiene una distribución con potencia media-baja entre 2003 y 2009 y entre 2013 y finales de 2014, y con potencia media-alta entre 2009 y 2013. Por lo que esta



Espectro 21. XWT de la combinación ConEpi-ICMEs Rot.

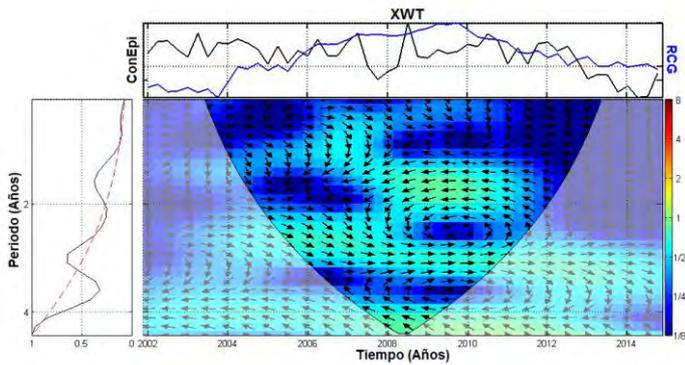
La periodicidad de 4.13 años se distribuye con baja potencia entre 2002 y 2005 y con potencia media entre 2005 y finales de 2014, por lo que esta periodicidad es medianamente relevante en ambos ciclos solares. Entre 2002 y 2006 las flechas se inclinan $\sim 210^\circ$ y entre 2008 y finales de 2014 entre 200 y 280° , indicando relaciones complejas entre las periodicidades; entre 2006 y 2008 las flechas se inclinan 180° señalando que las periodicidades están en antifase.

Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot (Espectro 22). El GWS presentó solo la periodicidad de 1.54 años. En el WPS esta periodicidad se distribuye con baja potencia entre 2004 y 2005 y entre 2011 y finales de 2014, y con potencia media-alta entre 2005 y 2011. El primer periodo corresponde a la parte central de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo al último tercio de la misma fase descendente, al mínimo solar del ciclo 24 y a una tercera parte de la fase ascendente del ciclo solar 24, y el tercer periodo corresponde a la fase ascendente del ciclo solar 24, a partir del primer pico máximo, y a la fase descendente del mismo ciclo. Durante estos periodos las flechas se inclinan desde 145° hasta 90° y de 90° hasta 235° , por lo que se define una relación compleja entre las periodicidades.



Espectro 22. XWT de la combinación ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot.

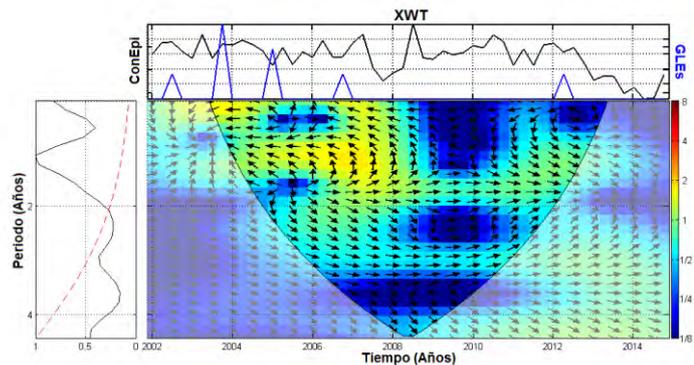
Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-RCG (Espectro 23). El GWS presentó periodicidades de 1.16, 1.73 y 2.92 años. En el WPS la periodicidad de 1.16 años se distribuye con potencia baja entre 2006 y principios de 2008, periodo que corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23 y al inicio del mínimo solar del ciclo 24. Durante estos años las flechas muestran una inclinación $\sim 340^\circ$, describiendo una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.73 años se distribuye desde 2007 hasta 2011 con baja potencia, periodo que abarca el final de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y el inicio de la fase ascendente del mismo ciclo. Durante estos



Espectro 23. XWT de la combinación ConEpi-RCG.

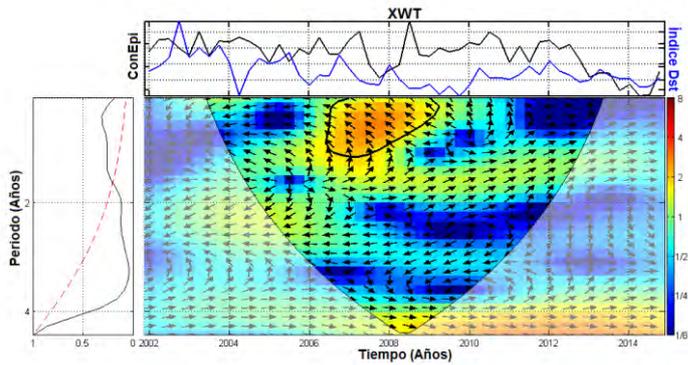
relevancia baja y constante en ambos ciclo solares. Entre 2003 y 2008 las flechas se inclinan $\sim 320^\circ$, lo que indica una relación compleja, y entre 2008 y finales de 2014 tienden a inclinarse 0° , señalando que las periodicidades están en fase.

Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-GLEs (Espectro 24). El GWS presentó solo la periodicidad de 1.46 años. En el WPS se observa que esta periodicidad tiene una distribución con potencia baja entre 2002 y 2004, con potencia media entre 2004 y 2008 y nuevamente con potencia baja entre 2011 y 2014. El primer periodo abarca el inicio de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo casi toda la fase descendente del ciclo solar 23 y el tercer periodo parte de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo al primer pico máximo. Las flechas en la primera zona se observan inclinadas entre 20 y 90° , en la segunda zona entre 150 y 110° y en la tercera zona entre 325 y 340° ; por lo tanto para esta periodicidad la relación se indica compleja.



Espectro 24. XWT de la combinación ConEpi-GLEs.

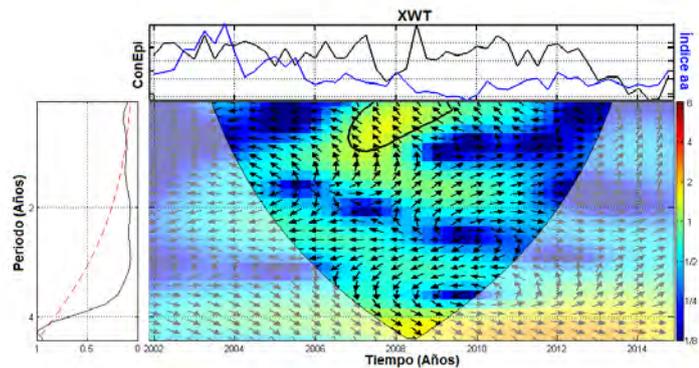
Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-Índice Dst (Espectro 25). El GWS presentó periodicidades de 1.16 y 1.54 años. En el WPS la periodicidad de 1.16 años se distribuye con potencia baja entre 2002 y finales de 2004, con potencia alta entre mediados de 2006 y 2009, y nuevamente con potencia baja entre 2009 y 2011. El primer periodo corresponde al inicio de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23 y a la mitad del mínimo solar del ciclo 24, y el tercer periodo al final del mínimo solar del ciclo 24 y al inicio de la fase ascendente del mismo ciclo. Durante estos periodos las flechas se inclinan $\sim 225^\circ$, $\sim 140^\circ$ y $\sim 90^\circ$, por lo que se indica una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.54 años se distribuye entre 2004 y 2006



Espectro 25. XWT de la combinación ConEpi-Índice Dst.

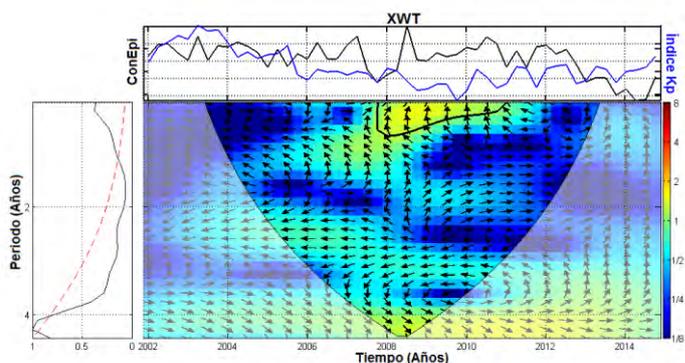
Durante los dos primeros periodos las flechas se inclinan entre 155 y 80° , mientras que durante el tercer periodo $\sim 20^\circ$, por lo tanto las relaciones son complejas entre las periodicidades.

Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-Índice aa (Espectro 26). El GWS presentó periodicidades de 1.16 y 4.37 años. En el WPS la periodicidad de 1.16 años se distribuye con potencia media entre finales de 2006 y mediados de 2009, y con potencia baja entre mediados de 2009 y 2011. El primer periodo corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23 y a la primera mitad del mínimo solar del ciclo 24; el segundo periodo abarca la segunda mitad del mínimo solar del ciclo 24 y el inicio de la fase ascendente del mismo. Las flechas se inclinan $\sim 135^\circ$, por lo que la relación entre las periodicidades es compleja. La



Espectro 26. XWT de la combinación ConEpi-Índice aa.

periodicidad de 4.37 años tiene baja potencia entre 2002 y 2006 y potencia media-alta entre 2006 y finales de 2014. Entre 2002 y 2011 las flechas se inclinan $\sim 330^\circ$, indicando una relación compleja; de 2011 a finales de 2014 las flechas se inclinan 0° , por lo que aquí las periodicidades están en fase.



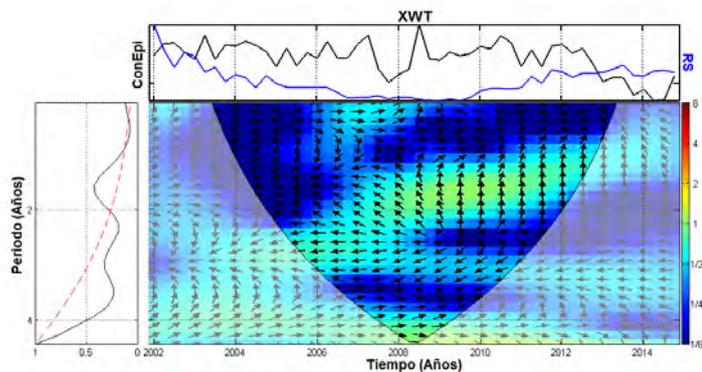
Espectro 27. XWT de la combinación ConEpi-Índice Kp.

con potencia baja, entre 2006 y 2008 con potencia media-alta, y entre mediados de 2010 y finales de 2014 nuevamente con potencia baja. El primer periodo abarca la parte central de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo el último tercio de la misma fase, y el tercer periodo casi toda la fase ascendente del ciclo solar 24 y su fase descendente.

Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-Índice Kp (Espectro 27). El GWS presentó periodicidades de 1.09 y 4.37 años. En el WPS la periodicidad de 1.09 años se distribuye con potencia baja alrededor de 2006, con potencia media entre finales de 2007 y 2010, y nuevamente con potencia baja de 2010 a mediados de 2011. El primer periodo

abarca una pequeña zona de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo el final de esta misma fase y el mínimo solar del ciclo 24, y el tercer periodo el inicio de la fase ascendente del ciclo solar 24. Durante estos periodos las flechas se inclinan $\sim 90^\circ$, señalando relaciones complejas entre las periodicidades. La periodicidad de 4.37 años se distribuye con potencia baja entre 2002 y 2006 y con potencia media entre 2006 y 2014, por lo tanto, se considera medianamente relevante en ambos ciclos solares. Entre 2002 y 2012 las flechas se inclinan $\sim 330^\circ$, indicando relaciones complejas entre las periodicidades, y entre 2012 y finales de 2014 se inclinan 0° , mostrando que están en fase.

Análisis wavelet cruzado del par ConEpi-RS (Espectro 28). El GWS presentó solo la periodicidad de 1.73 años. En el WPS esta periodicidad se distribuye con baja potencia entre 2007 y 2012, abarcando la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y la mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo su primer pico máximo. Las flechas durante estos años se inclinan entre 150 y 90° , señalando una relación compleja entre las periodicidades.



Espectro 28. XWT de la combinación ConEpi-RS.

Grupos generados de acuerdo a los GWSs.

Grupo 1. Se conformó por el par ConEpi-SF. En la Figura 35 se observa que la periodicidad común con mayor potencia es la de ~ 4 años. Además que conforme el valor de las periodicidades aumenta, a partir de los 2 años, la potencia global también aumenta.

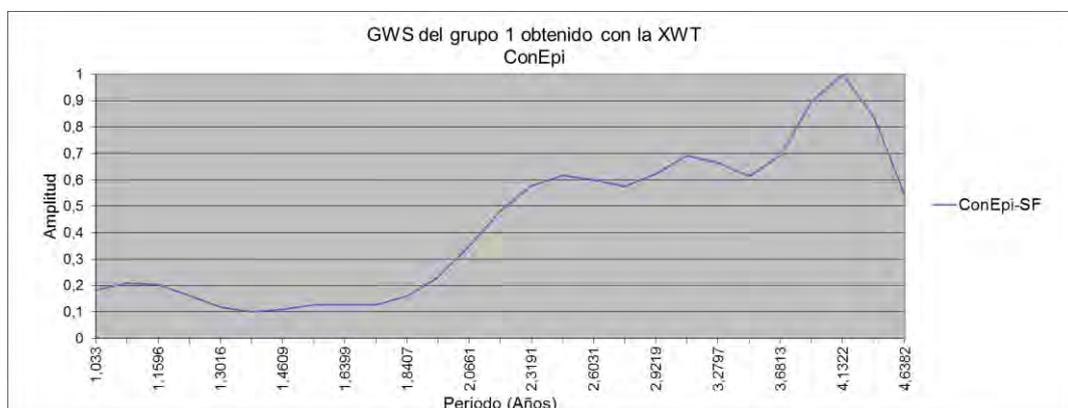


Figura 35. GWS resultante del análisis wavelet cruzado de la combinación ConEpi-SF.

En los esquemas del par ConEpi-SF se observa que conforme la periodicidad aumenta a partir de los 2 años, la distribución de potencias medias también aumenta, hasta ser muy significativa en la periodicidad de 4.13 años (Tabla 9).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 1				
Número de ConEpi				
Parámetro	Periodicidades			
SF	1.09	2.45	3.09	4.13
	$(\sim 1/\alpha)$	(C)	$(C - 1/\alpha - C)$	$(\alpha - C)$

Tabla 9. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación ConEpi-SF obtenido con la XWT.

Grupo 2. Se conformó por los pares ConEpi-ICMEs DP y ConEpi-ICMEs Tot. En estos espectros se observa que la mayor potencia común se localiza ~ 1.6 años, sin embargo, para ambos pares existen otras periodicidades importantes en común que muestran una significancia por encima del 60% (Figura 36).

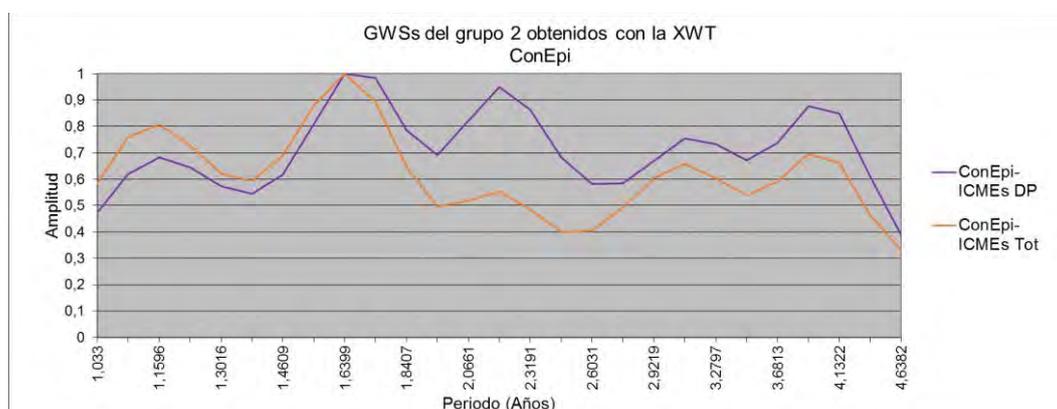


Figura 36. GWSs resultantes de los análisis wavelet cruzados de las combinaciones ConEpi-ICMEs DP y ConEpi-ICMEs Tot.

En los esquemas se observa que las periodicidades de 1.16, 1.64 y 2.18 años son casi iguales para ambos pares y que la periodicidad de 3.09 años varía solo un poco en la distribución de la potencia media. También se observa que las periodicidades con mayor potencia son las de 1.64 y 2.18 años y que la periodicidad de 3.9 años no se consideró para el par ConEpi-ICMEs Tot (Tabla 10).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 2				
Número de ConEpi				
Parámetro	Periodicidades			
ICMEs DP	1.16	1.64	2.18	3.09
	$(1/\alpha - C)$	(C)	(C)	$(C - \alpha)$
ICMEs Tot	1.16	1.64	2.18	3.09
	$(1/\alpha - C)$	(C)	(C)	$(C - \alpha)$

Tabla 10. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones ConEpi-ICMEs DP y ConEpi-ICMEs Tot obtenidos con la XWT.

Grupo 3. Se conformó por el par ConEpi-ICMEs NM. En la Figura 37 se observa que la periodicidad común con mayor potencia es la de ~1 año, seguida por la de ~1.7 años. También se observa otra periodicidad común ~4 años, pero ésta no está bien definida.

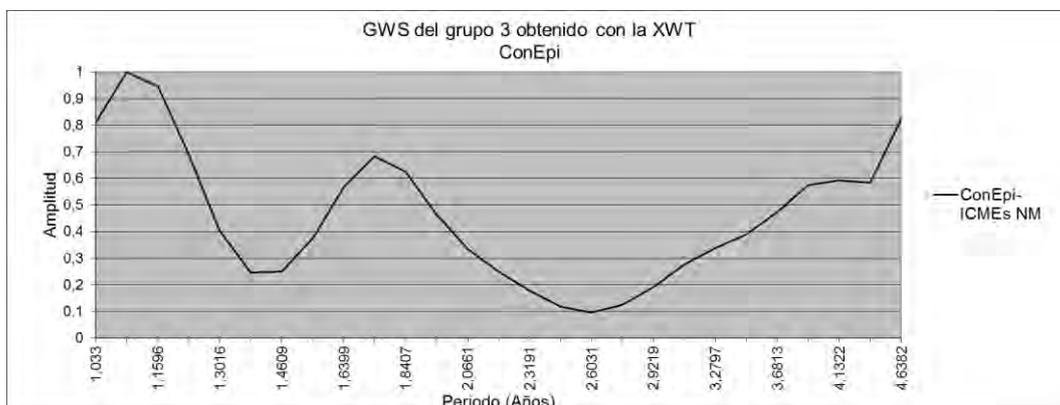


Figura 37. GWS resultante del análisis wavelet cruzado de la combinación ConEpi-ICMEs NM.

En los esquemas se observa que la periodicidad de 1.73 años tiene mayor distribución de potencia media que la de 1.09 años, sin embargo, la potencia global es mayor en esta última (Tabla 11).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 3		
Número de ConEpi		
Parámetro	Periodicidades	
ICMEs NM	<p>1.09</p> <p>(C - 1/α)</p>	<p>1.73</p> <p>(C - α - C)</p>

Tabla 11. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación ConEpi-ICMEs NM obtenido con la XWT.

Grupo 4. Se conformó por el par ConEpi-ICMEs Rot. En este espectro se observa que la periodicidad común con mayor potencia es la de ~4 años. Además se muestra que existen en común dos periodicidades más, entre 1.5 y 2.1 años, con potencias globales casi iguales (Figura 38).

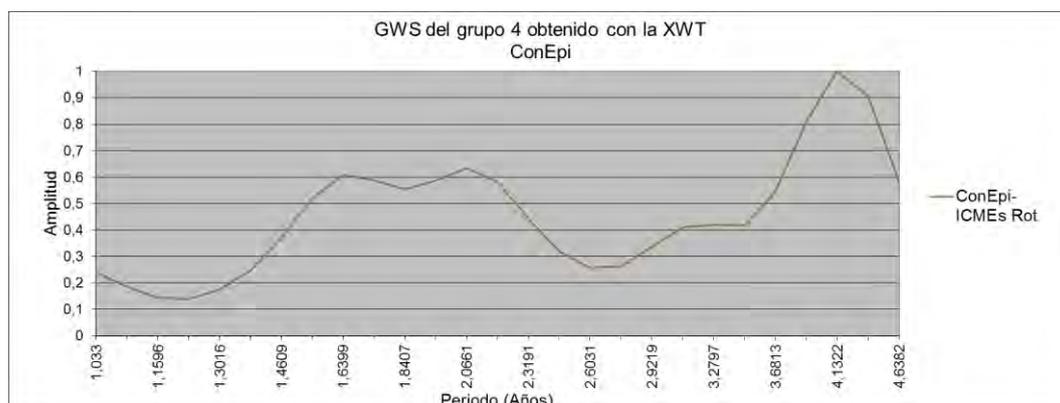


Figura 38. GWS resultante del análisis wavelet cruzado de la combinación ConEpi-ICMEs Rot.

En los esquemas del par ConEpi-ICMEs Rot se observa que las periodicidades de 1.64 y 2.06 años presentan niveles de potencia muy similares y que la periodicidad de 4.13 años tiene en casi todo el periodo de estudio potencia media, lo que le generó un valor global muy significativo (Tabla 12).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 4			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
ICMEs Rot	1.64 (C)	2.06 (C - 1/α - C)	4.13 (C - 1/α - C)

Tabla 12. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación ConEpi-ICMEs Rot obtenido con la XWT.

Grupo 5. Se conformó por los pares ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot y ConEpi-GLEs. En estos espectros se observa que la mayor potencia común se localiza ~1.5 años (Figura 39).

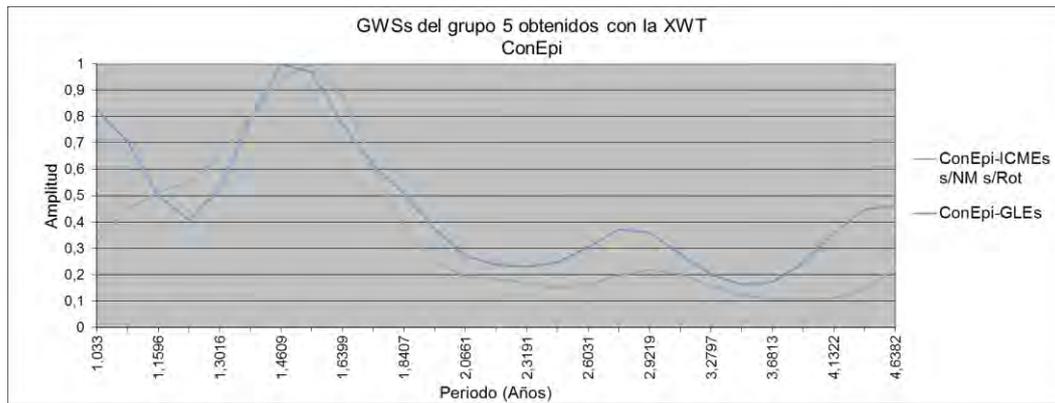


Figura 39. GWSs resultantes de los análisis wavelet cruzados de las combinaciones ConEpi-ICMEs s/NM y ConEpi-GLEs.

En los esquemas de este grupo se observa que las periodicidades comunes de 1.54 y 1.46 años presentan potencias medias y altas, lo que corresponde a su alto nivel de potencia global (Tabla 13).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 5	
Número de ConEpi	
Parámetro	Periodicidades
ICMEs s/NM s/Rot	1.54 (C)
GLEs	1.46 (C)

Tabla 13. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot y ConEpi-GLEs obtenidos con la XWT.

Grupo 6. Se conformó por los pares ConEpi-Índice Dst, ConEpi-Índice aa, ConEpi-Índice Kp y ConEpi-MS. En estos espectros se observa que la mayor potencia recae en las periodicidades en común más grandes de cada par, ~4 años. En las periodicidades más pequeñas se observan muy bajos niveles de potencia (Figura 40).

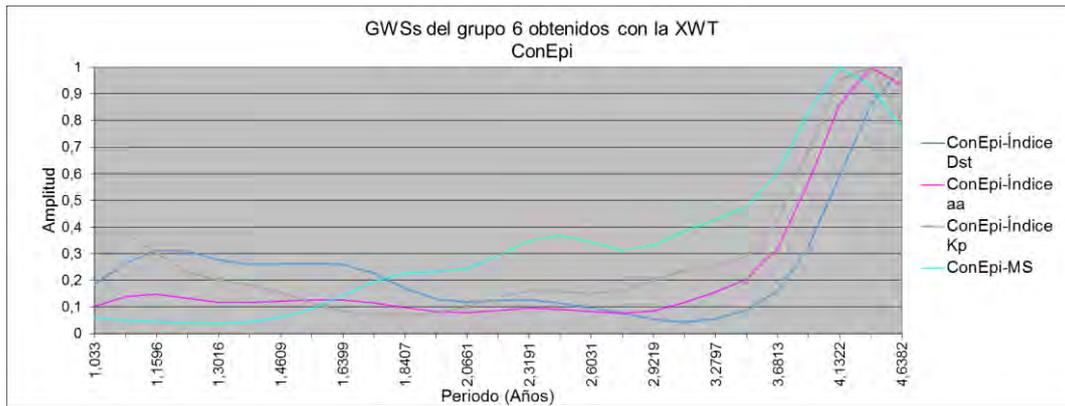


Figura 40. GWSs resultantes de los análisis wavelet cruzados de las combinaciones ConEpi-Índice Dst, ConEpi-Índice aa, ConEpi-Índice Kp y ConEpi-MS.

En los esquemas se observa que para los pares ConEpi-Índice aa y ConEpi-Índice Kp las potencias más altas corresponden a la periodicidad de 4.37 años y para el par ConEpi-MS la potencia más alta corresponde a la de 4.13 años. En estos esquemas se muestra también, que a pesar de que el GWS del par ConEpi-Índice Dst es similar a los otros del grupo, su periodicidad de ~4 años no está bien definida (Gráfica 13), por lo tanto la periodicidad que muestra mayor potencia es la de 1.16 años y no la cercana a los 4 años (Tabla 14). Este caso demuestra la utilidad de analizar en conjunto los GWSs y los WPSs, para evitar equivocaciones en la interpretación de los espectros.

ANÁLISIS XWT / GRUPO 6			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
Índice Dst	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">1.16 (C)</td> <td style="text-align: center;">1.54 (C)</td> </tr> </table>	1.16 (C)	1.54 (C)
1.16 (C)	1.54 (C)		
Índice aa	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">1.16 (C)</td> <td style="text-align: center;">4.37 (C - α)</td> </tr> </table>	1.16 (C)	4.37 (C - α)
1.16 (C)	4.37 (C - α)		
Índice Kp	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">1.09 (C)</td> <td style="text-align: center;">4.37 (C - α)</td> </tr> </table>	1.09 (C)	4.37 (C - α)
1.09 (C)	4.37 (C - α)		
MS	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">2.45 (C)</td> <td style="text-align: center;">4.13 (α)</td> </tr> </table>	2.45 (C)	4.13 (α)
2.45 (C)	4.13 (α)		

Tabla 14. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones ConEpi-Índice Dst, ConEpi-Índice aa, ConEpi-Índice Kp y ConEpi-MS obtenidos con la XWT.

Grupo 7. Se conformó por los pares ConEpi-RCG y ConEpi-RS. En estos espectros se observa que las periodicidades en común que fueron similares entre estos pares fueron la de ~1.7 años y la de ~3 años. También se observa que estas potencias fueron en general menores al 50% de amplitud, por lo que se consideraron poco significativas (Figura 41).

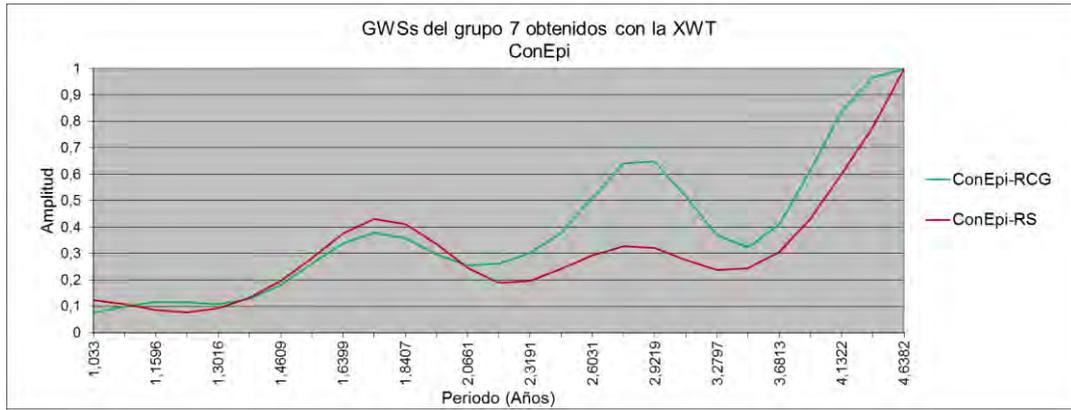


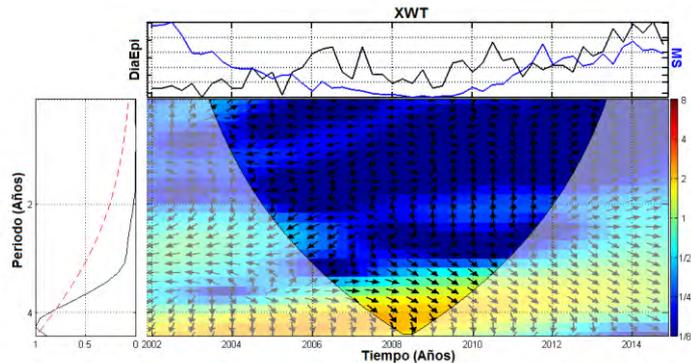
Figura 41. GWSs resultantes de los análisis wavelet cruzados de las combinaciones ConEpi-RCG y ConEpi-RS.

En los esquemas se observa la similitud de la periodicidad de 1.73 años para ambos pares y las bajas potencias. Además se observa el descarte de la periodicidad de ~3 años para el par ConEpi-RS, debido a su bajo nivel de confianza (Tabla 15).

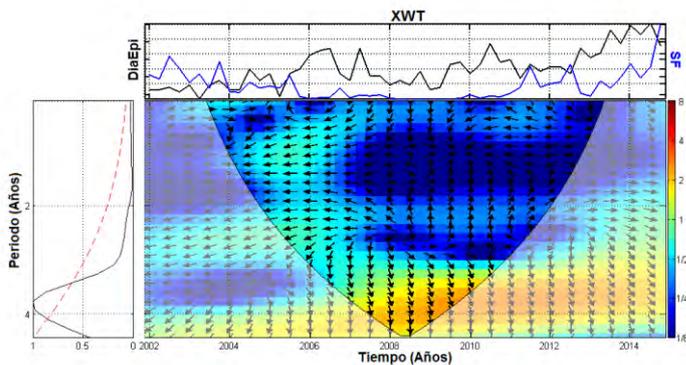
ANÁLISIS XWT / GRUPO 7			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
RCG	1.16 (C)	1.73 (C - α - C)	2.92 (1/ α - C)
RS	1.73 (C)		

Tabla 15. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones ConEpi-RCG y ConEpi-RS obtenidos con la XWT.

5.2.2 Pares formados entre DiaEpi y los fenómenos del Clima Espacial. *Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-MS (Espectro 29).* El GWS presentó solo la periodicidad de 4.37 años. En el WPS esta periodicidad tiene una distribución con potencia media-alta entre 2002 y 2011, y con baja potencia entre 2011 y 2013. El primer periodo abarca toda la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y el inicio de la fase ascendente del mismo ciclo; el segundo periodo corresponde a la zona alrededor del primer pico máximo del ciclo solar 24. Durante ambos periodos las flechas se dirigen $\sim 270^\circ$, indicando una relación compleja entre las periodicidades.



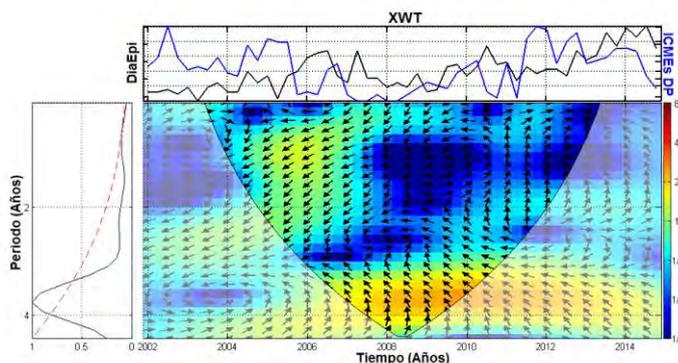
Espectro 29. XWT de la combinación DiaEpi-MS.



Espectro 30. XWT de la combinación DiaEpi-SF.

que el segundo corresponde a la parte final de esta fase, al mínimo solar del ciclo 24 y a las fases ascendente y descendente del ciclo solar 24. Las flechas en estos años se inclinan $\sim 300^\circ$, por lo que la relación se señala compleja entre las periodicidades.

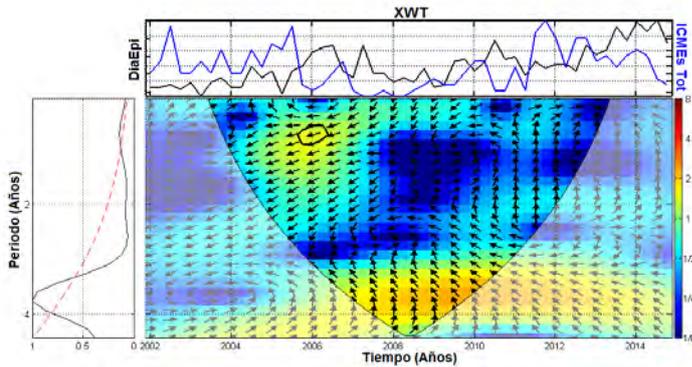
Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-ICMEs DP (Espectro 31). El GWS presentó periodicidades de 1.30 y 3.68 años. En el WPS la periodicidad de 1.30 años se distribuye con baja potencia entre 2004 y mediados de 2007, abarcando casi toda la fase descendente del ciclo solar 23, y durante 2011, alrededor del primer pico máximo del ciclo solar 24. Durante el primer periodo las flechas se inclinan $\sim 210^\circ$ y durante el segundo periodo $\sim 50^\circ$, por lo que la relación es compleja en ambos casos. La periodicidad de 3.68 años se distribuye con baja potencia entre 2005 y 2006 y con potencia media-alta entre 2006 y finales de 2014. El primer intervalo corresponde a una pequeña parte de la fase descendente del ciclo solar 23; el segundo intervalo abarca la



Espectro 31. XWT de la combinación DiaEpi-ICMEs DP.

parte final de esta fase, el mínimo solar del ciclo 24 y sus fases ascendente y descendente. Las flechas en estos años se inclinan entre 60 y 145° , por lo que la relación es compleja entre las periodicidades.

Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-ICMEs Tot (Espectro 32). El GWS presentó periodicidades de 1.30 y 3.68 años. En el WPS la periodicidad de 1.30 años se distribuye con potencia media-baja entre 2004 y mediados de 2007, años que constituyen la segunda mitad de la fase descendente del ciclo solar 23, y con potencia baja durante 2011, alrededor del primer pico máximo del ciclo solar 24. Durante el primer periodo las flechas tienen una inclinación $\sim 195^\circ$ y durante el segundo periodo $\sim 45^\circ$, por lo que en ambos casos se señala una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 3.68 años se observa distribuida con potencia baja entre 2005 y 2006 y con potencia media-alta entre 2006 y finales

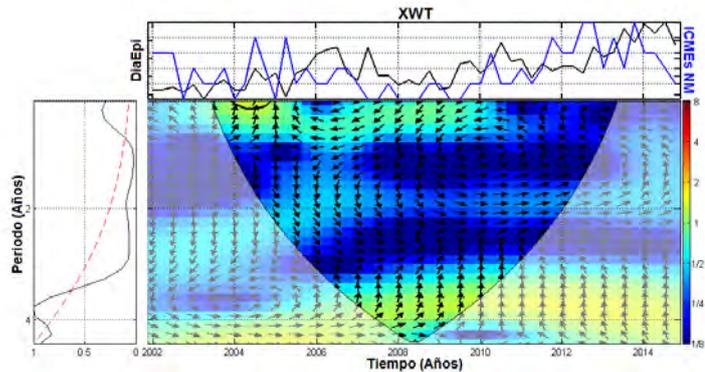


Espectro 32. XWT de la combinación DiaEpi-ICMEs Tot.

de 2014. El primer periodo abarca una sección de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo la parte final de esta fase, el mínimo solar del ciclo 24 y las fases ascendente y descendente del mismo ciclo. Las flechas durante estos años se inclinan entre 70 y 150° , por lo que la relación es compleja entre las periodicidades.

Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-ICMEs NM (Espectro 33). El GWS presentó periodicidades de 1.09 y 3.68 años. En el WPS la periodicidad de 1.09 años se distribuye con baja potencia entre 2002 y finales de 2005 y entre 2007 y 2010. El primer periodo abarca un parte de la fase descendente del ciclo solar 23; el segundo periodo abarca la

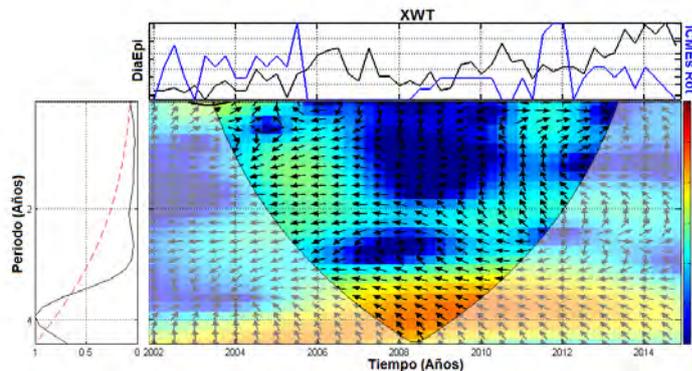
parte final de esta fase y el mínimo solar del ciclo 24. Las flechas durante el primer periodo se inclinan $\sim 90^\circ$ y durante el segundo periodo $\sim 225^\circ$, por lo tanto la relación entre las periodicidades es compleja en ambos casos. La periodicidad de 3.68 años se distribuye con potencia media-baja entre 2005 y 2010 y con potencia media entre 2010 y finales de 2014. El primer periodo corresponde a



Espectro 33. XWT de la combinación DiaEpi-ICMEs NM.

la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23 y al mínimo solar del ciclo 24; el segundo periodo corresponde a las fases ascendente y descendente del ciclo solar 24. La dirección de las flechas en ambos periodos se desplaza de 60 a 90° , indicando relaciones complejas entre las periodicidades.

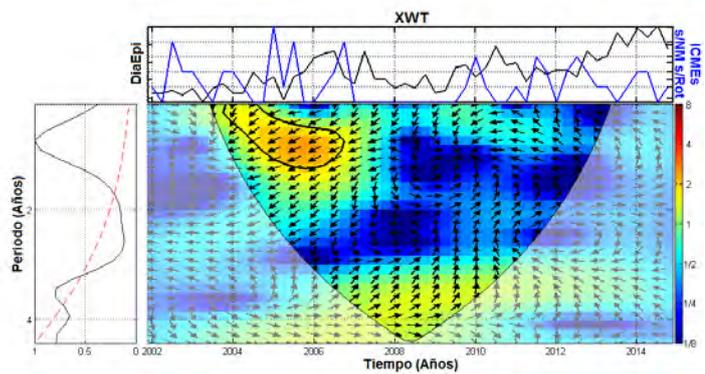
Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-ICMEs Rot (Espectro 34). El GWS presentó solo la



Espectro 34. XWT de la combinación DiaEpi-ICMEs Rot.

periodicidad de 3.9 años. En el WPS esta periodicidad se distribuye con potencia baja entre 2002 y 2005 y con potencia alta entre 2005 y 2014, por lo que se considera relevante en ambos ciclos solares. La dirección de las flechas se observa entre 55 y 155° , por lo que la relación es compleja entre las periodicidades.

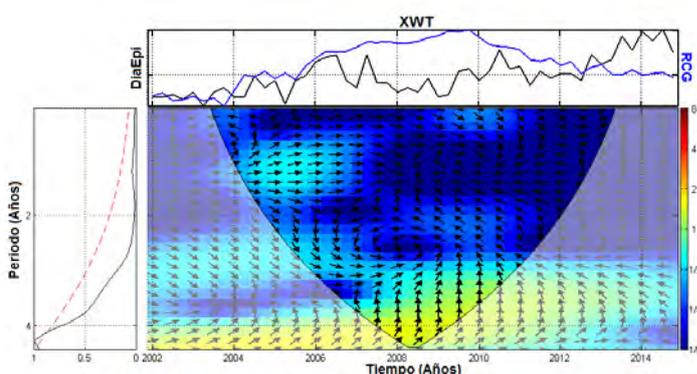
Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot (Espectro 35). El GWS presentó periodicidades de 1.30 y 3.47 años. En el WPS la periodicidad de 1.30 años se distribuye con potencia media-alta entre mediados de 2004 y 2008, y con potencia baja entre 2010 y 2012. El primer periodo abarca casi toda la fase descendente del



Espectro 35. XWT de la combinación DiaEpi- ICMEs s/NM s/Rot.

ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo abarca una parte de la fase ascendente del ciclo solar 24. Durante el primer intervalo de tiempo las flechas se inclinan $\sim 210^\circ$ y durante el segundo intervalo $\sim 165^\circ$, por lo tanto, en ambos casos la relación es compleja. La periodicidad de 3.47 años tiene una distribución con baja potencia entre 2005 y mediados de 2006 y desde 2013 hasta finales de 2014, y una distribución con potencia media entre mediados de 2006 y 2013. El primer lapso de tiempo abarca una parte de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo abarca la zona alrededor del segundo pico máximo del ciclo solar 24, y el tercero la parte final del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y gran parte de la fase ascendente del mismo. Durante estos periodos las flechas se inclinan desde los 40° hasta los 155° , por lo que la relación entre las periodicidades se determina compleja.

Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-RCG (Espectro 36). El GWS presentó solo la periodicidad de 4.37 años. En el WPS esta periodicidad se distribuye con potencia media entre 2002 y 2010, y con

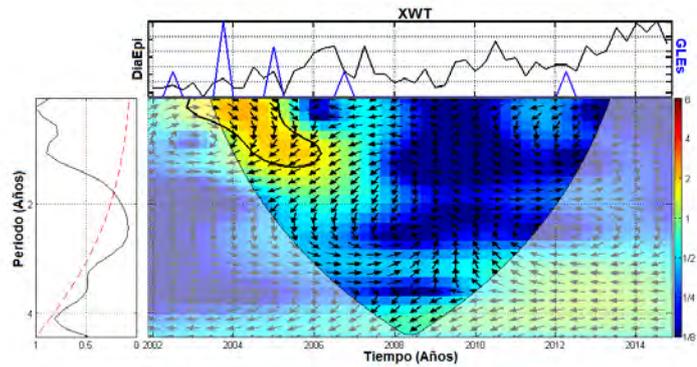


Espectro 36. XWT de la combinación DiaEpi-RCG.

potencia baja entre 2010 y 2013. El primer periodo abarca toda la fase descendente del ciclo solar 23 y el mínimo solar del ciclo 24, y el segundo parte de la fase ascendente del ciclo solar 24. Durante estos años las flechas se inclinan entre 45° y 60° , por lo que la relación es compleja entre las periodicidades.

Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-GLEs (Espectro 37). El GWS presentó periodicidades de 1.09 y 1.46 años. En el WPS la periodicidad de 1.09 años se distribuye con potencia media-alta entre 2002 y 2005, y con potencia baja entre 2007 y 2008, y durante 2011. El primer lapso de tiempo abarca la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo la parte final de la misma fase y el tercer lapso la zona alrededor del primer pico máximo del ciclo solar 24. Durante el primer periodo las flechas

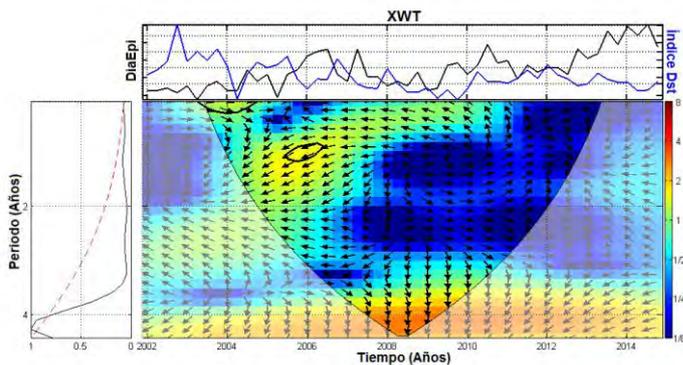
se inclinan $\sim 330^\circ$ reflejando una relación compleja; durante el segundo y tercer periodo las flechas se inclinan $\sim 180^\circ$, mostrando que las periodicidades están en antifase. La periodicidad de 1.46 años se observa distribuida entre 2004 y principios del 2006 con potencia media-alta y entre principios de 2006 y mediados de 2007 con potencia baja.



Espectro 37. XWT de la combinación DiaEpi-GLEs.

Ambos periodos corresponden a la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en estos periodos se inclinan entre 245° y 195° , por lo que la relación es compleja entre las periodicidades.

Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-Índice Dst (Espectro 38). El GWS presentó periodicidades de 1.09 y 4.37 años. En el WPS la periodicidad de 1.09 años se distribuye con baja potencia entre mediados de 2002 y 2005, inicio de la fase descendente del ciclo solar 23; y entre mediados de 2006 y 2011, final de la fase descendente del ciclo solar 23,

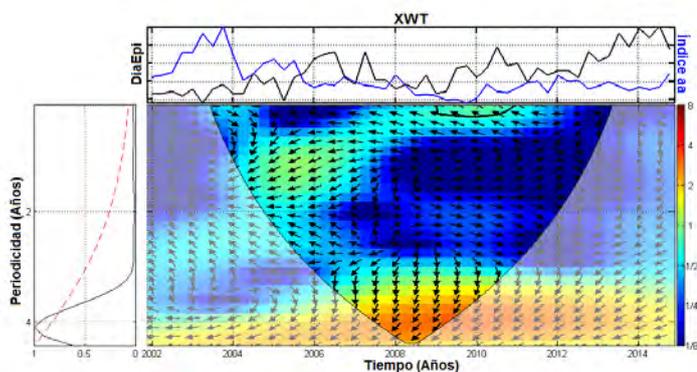


Espectro 38. XWT de la combinación DiaEpi-Índice Dst.

mínimo solar del ciclo 24 e inicio de la fase ascendente del mismo ciclo. Las flechas durante el primer periodo se inclinan $\sim 340^\circ$, mostrando una relación compleja entre las periodicidades, y durante el segundo periodo se inclinan entre 180° y 140° , señalando que las periodicidades están en antifase y después en una relación compleja.

La periodicidad de 4.37 años se distribuye con potencia principalmente alta desde 2002 hasta finales de 2014, por lo que esta periodicidad es relevante en ambos ciclo solares. Las flechas durante esta periodicidad se inclinan $\sim 230^\circ$, $\sim 270^\circ$ y $\sim 200^\circ$, por lo que la relación siempre es compleja.

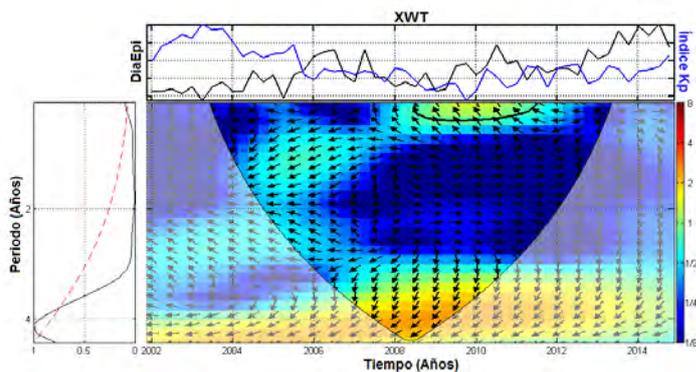
Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-Índice aa (Espectro 39). El GWS presentó solo la periodicidad de 4.13 años. En el WPS esta periodicidad se distribuye con potencia principalmente alta desde 2002 hasta finales de 2014, por lo que se considera



Espectro 39. XWT de la combinación DiaEpi-Índice aa.

relevante durante los dos ciclos solares abarcados en la investigación. Las flechas entre 2002 y mediados de 2003 se inclinan 180° , señalando que las periodicidades están en antifase, y de mediados de 2003 hasta finales de 2014 las flechas se inclinan entre 205° y 235° , por lo que durante este lapso la relación entre las periodicidades es compleja.

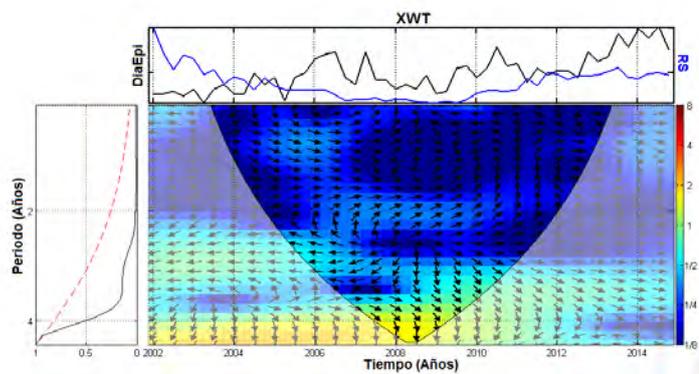
Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-Índice Kp (Espectro 40). El GWS presentó solo la periodicidad de 4.13 años. En el WPS esta periodicidad tiene una distribución media-alta desde 2002 hasta finales de



Espectro 40. XWT de la combinación DiaEpi-Índice Kp.

2014, por lo que es relevante en ambos ciclos solares. La inclinación de las flechas entre 2002 y mediados de 2003 es de 180° , por lo que las periodicidades están en antifase en este periodo; mientras que entre mediados de 2003 y finales de 2014 las flechas se inclinan entre 200° y 220° indicando una relación compleja.

Análisis wavelet cruzado del par DiaEpi-RS (Espectro 41). En el GWS no se observaron periodicidades representativas.



Espectro 41. XWT de la combinación DiaEpi-RS.

Grupos generados de acuerdo a los GWSs.

Grupo 1. Se conformó por los pares DiaEpi-MS, DiaEpi-RCG, DiaEpi-Índice Dst, DiaEpi-Índice aa y DiaEpi-Índice Kp. En la Figura 42 se observa que para estos pares la periodicidad común más alta es la de mayor potencia, en este caso ~ 4.2 años.

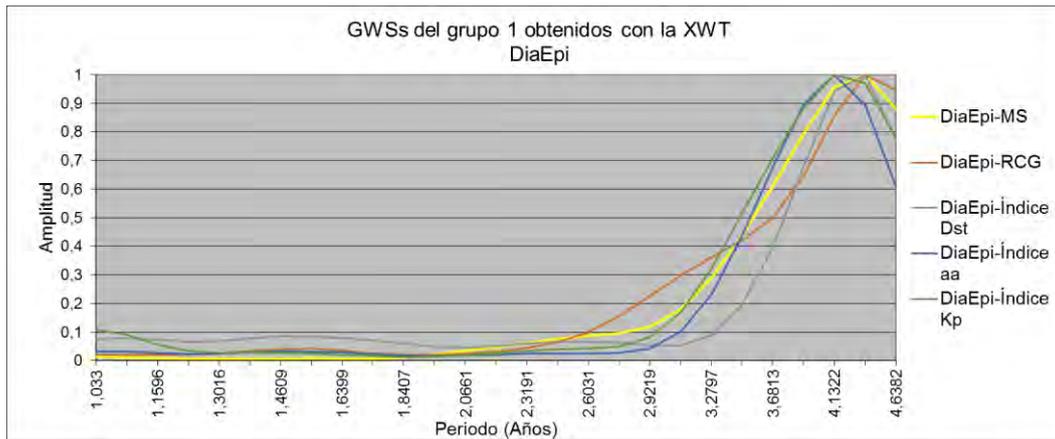


Figura 42. GWSs resultantes de los análisis wavelet cruzados de las combinaciones DiaEpi-MS, DiaEpi-RCG, DiaEpi-Índice Dst, DiaEpi-Índice aa y DiaEpi-Índice Kp.

En los esquemas se observa que para los pares DiaEpi-MS, DiaEpi-RCG y DiaEpi-Índice Dst la periodicidad común con mayor potencia es la de 4.37 años, mientras que para los pares DiaEpi-Índice aa y DiaEpi-Índice Kp es la de 4.13 años. En el par DiaEpi-Índice Dst también se observa la periodicidad de 1.09 años, pero su nivel de potencia es bajo (Tabla 16).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 1	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
MS	4.37 (C)
RCG	4.37 (C)
Índice Dst	1.09 (C - 1/α - C) 4.37 (C)
Índice aa	4.13 (1/α - C)
Índice Kp	4.13 (1/α - C)

Tabla 16. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones DiaEpi-MS, DiaEpi-RCG, DiaEpi-Índice Dst, DiaEpi-Índice aa y DiaEpi-Índice Kp obtenidos con la XWT.

Grupo 2. Se conformó por los pares DiaEpi-SF, DiaEpi-ICMEs DP, DiaEpi-ICMEs Tot y DiaEpi-ICMEs Rot. En la Figura 43 se observa que la periodicidad común más alta también es la de mayor potencia como en el grupo anterior, sin embargo, para estos pares la periodicidad se observa ~3.8 años.

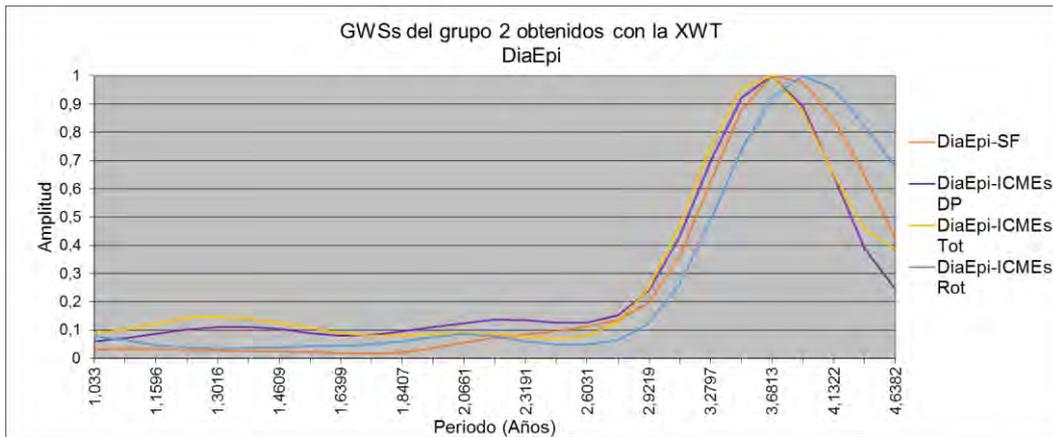


Figura 43. GWSs resultantes de los análisis wavelet cruzados de las combinaciones DiaEpi-SF, DiaEpi-ICMEs DP, DiaEpi-ICMEs Tot y DiaEpi-ICMEs Rot

En los esquemas se observa que para los pares DiaEpi-SF, DiaEpi-ICMEs DP y DiaEpi-ICMEs Tot la periodicidad común con mayor potencia es la 3.68 años, mientras que para el par DiaEpi-ICMEs Rot es la de 3.9 años. También se observa la periodicidad de 1.30 años para los pares DiaEpi-ICMEs DP y DiaEpi-ICMEs Tot pero con potencia poco significativa (Tabla 17).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 2	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
SF	3.68 (C)
ICMEs DP	1.30 (C) 3.68 (C)
ICMEs Tot	1.30 (C) 3.68 (C)
ICMEs Rot	3.9 (C)

Tabla 17. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones DiaEpi-SF, DiaEpi-ICMEs DP, DiaEpi-ICMEs Tot y DiaEpi-ICMEs Rot obtenidos con la XWT.

Grupo 3. Se conformó por el par DiaEpi-ICMEs NM. En este espectro se observa que la periodicidad común más grande es la que tiene mayor potencia global (~3.6 años), pero también se observa una periodicidad común pequeña con potencia entre 30 y 40%. Esta última característica fue la razón por la cual no se introdujo este par en el grupo anterior (Figura 44)



Figura 44. GWS resultante del análisis wavelet cruzado de la combinación DiaEpi-ICMEs NM.

En los esquemas del par DiaEpi-ICMEs NM se observa que la periodicidad común con mayor potencia es la de 3.68 años, mientras que la periodicidad pequeña observada en el GWS corresponde a la de 1.09 años (Tabla 18).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 3	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
ICMEs NM	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>1.09</p> <p>(C)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>3.68</p> <p>(C)</p> </div> </div>

Tabla 18. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación DiaEpi-ICMEs NM obtenido con la XWT.

Grupo 4. Se conformó por el par DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot. Este espectro muestra que la periodicidad común con mayor potencia global se localiza ~1.30 años, seguida por la periodicidad de ~3.5 años. Este espectro es el primero que muestra una periodicidad común pequeña con alta potencia, contrastando con los grupos anteriores (Figura 45).

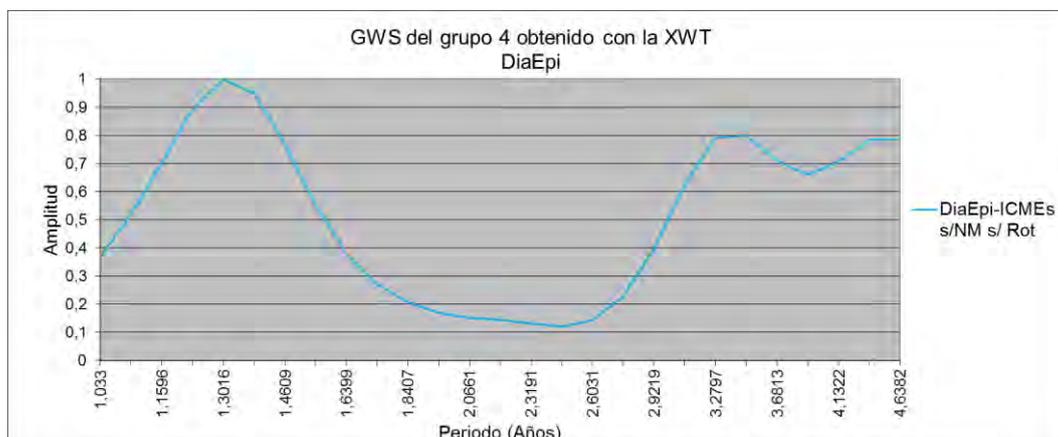


Figura 45. GWS resultante del análisis wavelet cruzado de la combinación DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot.

En los esquemas de este par la periodicidad de 1.30 años presenta potencias altas, medias y bajas, mientras que la periodicidad de 3.47 años solo potencias medias y bajas, que a pesar de su amplia distribución no suman una potencia global tan significativa como la de 1.30 años (Tabla 19).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 4	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
ICMEs s/NM s/Rot	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>1.30</p> <p>(C)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>3.47</p> <p>(C)</p> </div> </div>

Tabla 19. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot obtenido con la XWT.

Grupo 5. Se conformó por el par DiaEpi-GLEs. En la Figura 46 se observan también las mayores potencias globales en periodicidades pequeñas, entre 1 y 1.5 años. La mayor potencia global se observa en la periodicidad de ~1 año, seguida por la de ~1.5 años. Además está presente otro pico alrededor de los 4.3 años, sin embargo, este no se tomó en cuenta debido a que no sobrepasó el nivel de confianza. Es interesante notar en las figuras 45 y 46 que los GWSs presentan periodicidades comunes con mayor potencia en los extremos y con niveles de potencia similares.

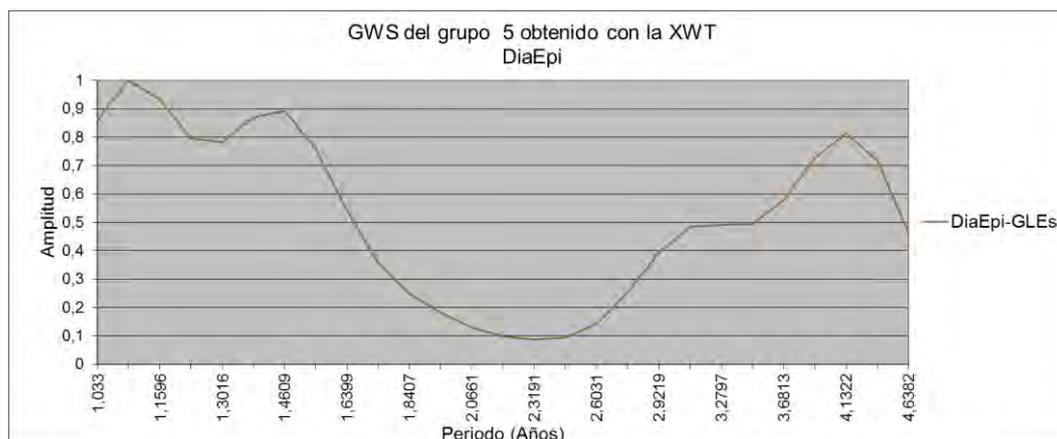


Figura 46. GWS resultante del análisis wavelet cruzado de la combinación DiaEpi-GLEs.

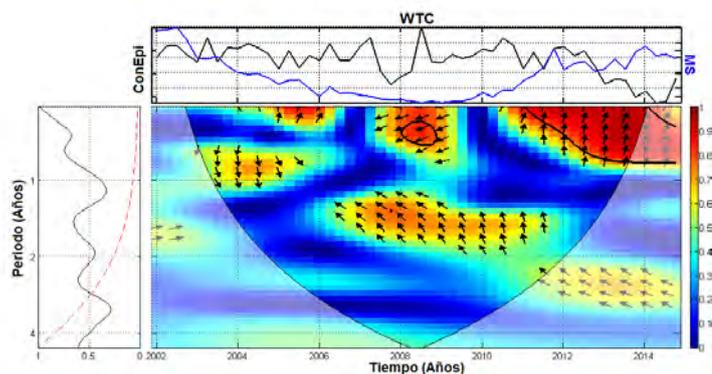
En los esquemas del par DiaEpi-GLEs se observa que las distribuciones y potencias son similares para sus periodicidades comunes. Además se observa claramente la razón del porqué la periodicidad de 1.09 años tiene mayor potencia en el GWS; esto se debe a la presencia de una potencia baja en la fase ascendente del ciclo solar 24 que tiene la periodicidad de 1.09 años y la de 1.46 años no (Tabla 20).

ANÁLISIS XWT / GRUPO 5	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
GLEs	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>1.09</p> <p>(C - 1/α)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>1.46</p> <p>(C)</p> </div> </div>

Tabla 20. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación DiaEpi-GLEs obtenido con la XWT.

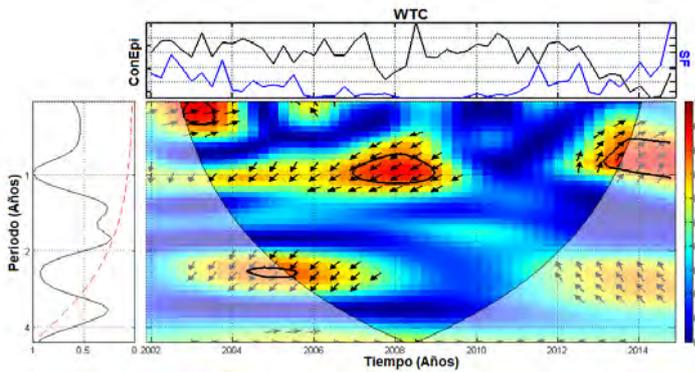
5.3 Resultados de los análisis con la WTC. En estos espectros la barra de colores del lado derecho del WPS señala el equivalente al coeficiente de correlación, en donde 1 indica la existencia de una correlación lineal entre los parámetros comparados y 0 la ausencia de correlación. En este caso las potencias altas se consideraron entre 0.7 y 1, las potencias medias entre 0.5 y 0.7 y las potencias bajas entre 0.35 y 0.5. Las potencias por debajo de 0.35 no se consideraron representativas (Espectro 42). Los GWSs de estos análisis también se agruparon para observar comportamientos similares y se realizó la esquematización de las distribuciones y los niveles de potencia para una mejor visualización.

5.3.1 Pares formados entre ConEpi y los fenómenos del Clima Espacial. *Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-MS (Espectro 42).* El GWS presentó periodicidades de 0.76, 1.46 y 2.51 años. En el WPS la periodicidad de 0.76 años presenta una distribución con potencia media entre mediados de 2003 y mediados de 2005, y con potencia alta entre finales de 2008 y principios de 2009, y entre mediados de 2012 y finales de 2014. El primer periodo corresponde a una pequeña sección de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo a una sección del mínimo solar del ciclo 24, y el tercer periodo a la parte final de la fase ascendente del ciclo solar 24 a su fase descendente. Durante el primer periodo las flechas muestran una inclinación $\sim 280^\circ$, durante el segundo periodo $\sim 215^\circ$ y durante el último periodo $\sim 90^\circ$, por lo tanto en todos los casos se observa una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.46 años se distribuye con potencia media-alta entre mediados de 2006 y mediados de 2011, este periodo corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23, al mínimo solar del ciclo 24 y a la primera mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24. Durante este periodo las flechas se inclinan de 145 a 100° , por lo tanto la relación entre las periodicidades es compleja. La periodicidad de 2.51 años se distribuye con mediana potencia entre 2011 y 2014, periodo que abarca parte de la fase ascendente del ciclo solar 24, incluyendo los dos picos máximos de este ciclo. Las flechas en este periodo se inclinan $\sim 150^\circ$, por lo que las periodicidades tienen una relación compleja.



Espectro 42. WTC de la combinación ConEpi-MS.

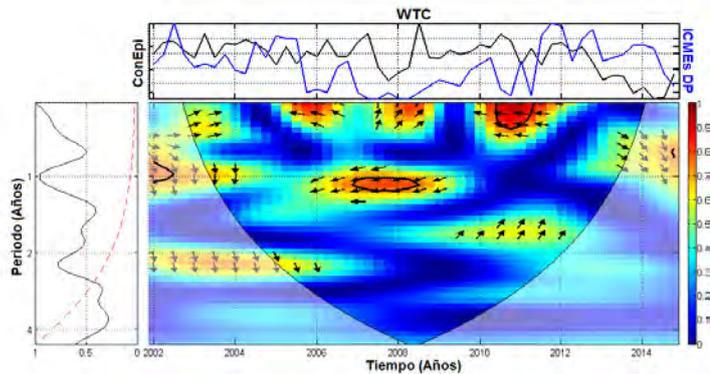
Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-SF (Espectro 43). El GWS presentó periodicidades de 0.98 y 2.39 años. En el WPS la periodicidad de 0.98 años presenta una distribución con potencia media-alta entre 2002 y mediados de 2009, y con potencia alta entre 2013 y finales de 2014. El primer periodo abarca toda la fase descendente del ciclo solar 23 y gran parte del mínimo solar del ciclo 24, mientras que el segundo periodo abarca la zona alrededor del segundo pico máximo representativo del ciclo solar



Espectro 43. WTC de la combinación ConEpi-SF.

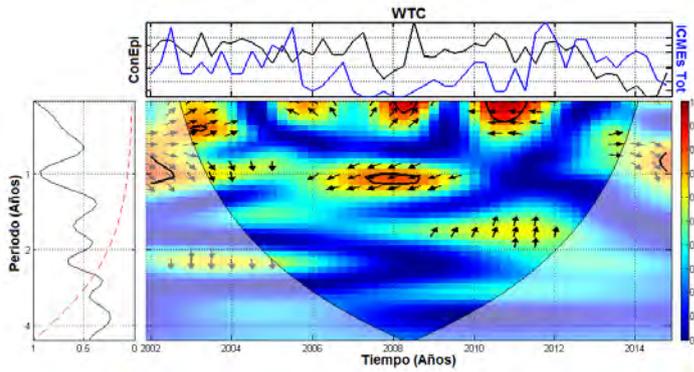
24. Durante el primer periodo las flechas se inclinan $\sim 230^\circ$, mientras que durante el segundo periodo se inclinan $\sim 50^\circ$, por lo tanto la relación entre las periodicidades es compleja. La periodicidad de 2.39 años se distribuye con potencia media-alta entre 2003 y mediados de 2007, periodo que corresponde a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. La inclinación de las flechas durante este periodo es de $\sim 235^\circ$, por lo que la relación entre las periodicidades se determina compleja.

Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-ICMEs DP (Espectro 44). El GWS presentó periodicidades de 1.03, 1.61 y 2.17 años. En el WPS la periodicidad de 1.03 años se distribuye con potencia alta entre 2002 y 2004 y entre 2006 y finales de 2009. El primer periodo corresponde a la región inicial de la fase descendente del ciclo solar 23; el segundo periodo corresponde a la parte final de la misma fase y a gran parte del mínimo solar del ciclo 24. La inclinación de las flechas en el primer intervalo se observa entre 295 y 270° , y en el segundo $\sim 190^\circ$, lo que señala una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.61 años tiene una distribución con potencia media-baja entre 2008 y 2013, periodo que corresponde al mínimo solar del ciclo 24 y a una gran parte de la fase ascendente del mismo ciclo, que incluye al primer pico máximo. La relación entre las periodicidades durante este periodo es compleja, ya que las flechas tienen una inclinación $\sim 55^\circ$. La periodicidad de 2.17 años se distribuye con potencia media entre 2002 y 2006, intervalo de tiempo que corresponde a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en esta zona se observan inclinadas $\sim 280^\circ$, por lo que la relación también se considera compleja.



Espectro 44. WTC de la combinación ConEpi-ICMEs DP.

Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-ICMEs Tot (Espectro 45). El GWS presentó periodicidades de 0.98, 1.61 y 2.17 años. En el WPS la periodicidad de 0.98 años se distribuye con potencia alta entre 2002 y 2004, con potencia media-baja entre 2004 y mediados de 2006 y nuevamente con potencia alta entre mediados de 2006 y mediados de 2009. Los primeros dos periodos corresponden

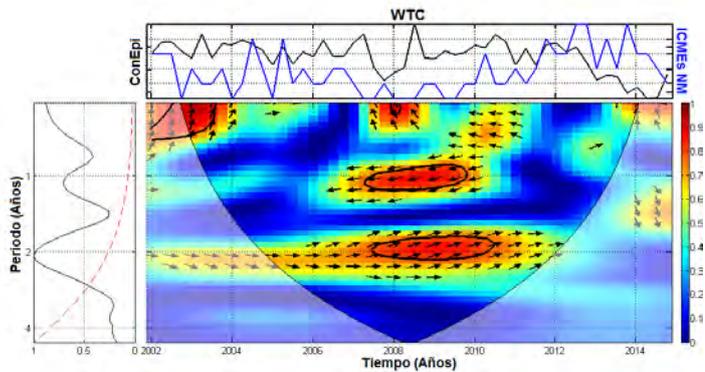


Espectro 45. WTC de la combinación ConEpi-ICMEs Tot.

a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el tercero a la parte final de esta fase y a casi todo el mínimo solar del ciclo 24. Durante el primer periodo las flechas se inclinan entre 320 y 290° , durante el segundo periodo $\sim 270^\circ$ y durante el tercer periodo $\sim 210^\circ$, por lo tanto en las tres zonas la relación es compleja entre las

periodicidades. La periodicidad de 1.61 años se distribuye con potencia media-baja entre mediados de 2008 y 2013, abarcando casi todo el mínimo solar del ciclo 24 y parte de la fase ascendente del mismo ciclo, incluyendo el primer pico máximo. Durante este periodo las flechas se inclinan entre 70 y 80° , por lo que se determina una relación compleja. La periodicidad de 2.17 años se distribuye con potencia media entre 2002 y finales de 2005, abarcando parte de la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en esta región señalan una relación compleja entre las periodicidades, ya que se inclinan $\sim 270^\circ$.

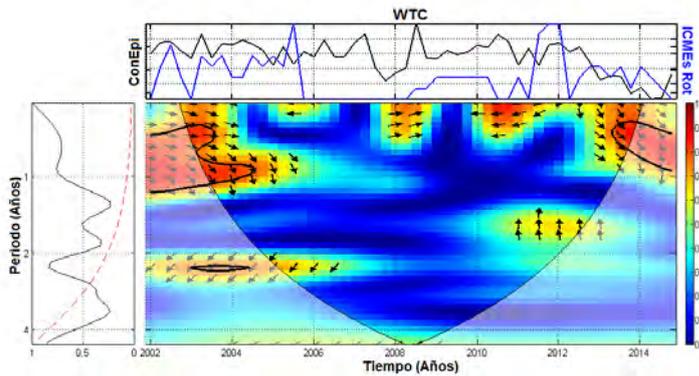
Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-ICMEs NM (Espectro 46). El GWS presentó periodicidades de 1.08 y 2.06 años. En el WPS la periodicidad de 1.08 años se distribuye con potencia alta entre 2007 y 2010, periodo que abarca el final de la fase descendente del ciclo solar 23 y el mínimo solar del ciclo 24. Durante este lapso de tiempo las flechas se inclinan $\sim 195^\circ$, por lo que la relación entre las periodicidades es compleja. La periodicidad de 2.06 años se distribuye con potencia media entre 2002 y 2007 y con potencia alta entre 2007 y 2012. El primer periodo corresponde a casi toda la fase descendente del ciclo solar



Espectro 46. WTC de la combinación ConEpi-ICMEs NM.

23, mientras que el segundo periodo corresponde a la parte final de esta fase, al mínimo solar del ciclo 24 y a la primera mitad de su fase ascendente, rozando la zona del primer pico máximo. Durante el primer periodo las flechas se inclinan $\sim 0^\circ$, por lo que las periodicidades se determinan en fase, y durante el segundo periodo se inclinan $\sim 25^\circ$, por lo que la relación se observa compleja.

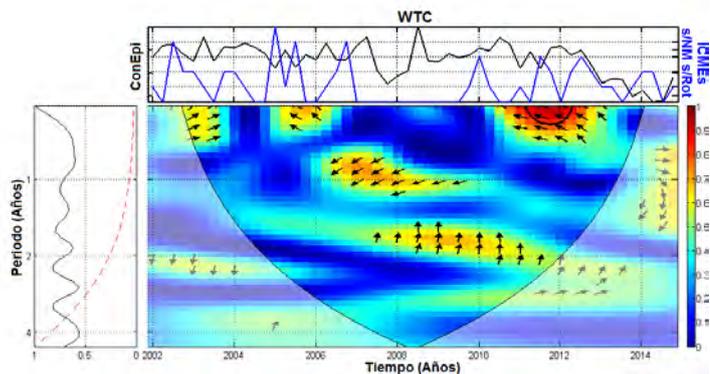
Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-ICMEs Rot (Espectro 47). El GWS presentó periodicidades de 0.93, 1.53 y 2.28 años. En el WPS la periodicidad de 0.93 años presenta una distribución con potencia alta entre 2002 y 2005, y con potencia media-alta entre 2013 y finales de



Espectro 47. WTC de la combinación ConEpi-ICMEs Rot.

por lo que en ambos casos la relación es compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.53 años se distribuye con potencia media entre 2011 y 2013, abarcando parte de la fase ascendente del ciclo solar 24, alrededor del primer pico máximo. En este periodo las flechas se inclinan $\sim 90^\circ$, por lo que la relación es compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 2.28 años se distribuye con potencia media entre 2002 y mediados de 2006, años que corresponden a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en esta región se inclinan $\sim 230^\circ$, indicando nuevamente una relación compleja.

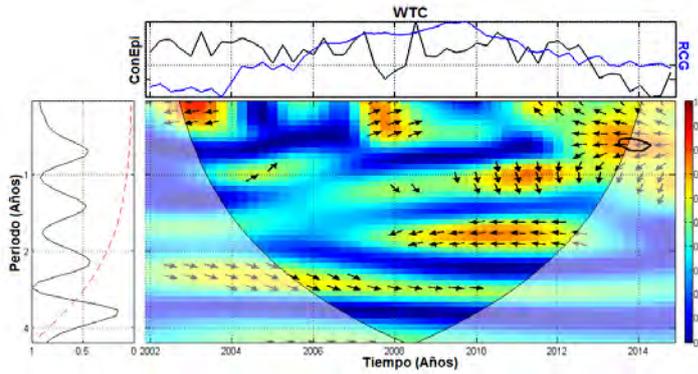
Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot (Espectro 48). El GWS presentó periodicidades de 1.08 y 1.61 años. En el WPS la periodicidad de 1.08 años se distribuye con potencia media entre 2007 y 2009, periodo que corresponde a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23 y a gran parte del mínimo solar del ciclo 24. Las flechas durante este periodo se inclinan $\sim 210^\circ$, por lo que la relación es compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.61 años se distribuye con potencia media principalmente entre 2007 y 2011, abarcando el final de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y el inicio de su fase ascendente. Durante este periodo las flechas se inclinan entre 80° y 90° , señalando una relación compleja.



Espectro 48. WTC de la combinación ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot.

Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-RCG (Espectro 49). El GWS presentó periodicidades de 1.03, 1.69 y 2.78 años. En el WPS la periodicidad de 1.03 años se distribuye con baja potencia entre 2003 y 2006 y entre 2007 y mediados de 2009, y con potencia media-alta desde mediados de 2009 hasta finales de 2014. El primer periodo señalado corresponde a una sección de la fase descendente del ciclo solar 23, el segundo periodo al final de esta fase descendente y a casi todo el mínimo solar del ciclo 24, y el tercer periodo abarca la última parte del mínimo solar y a las fases ascendente y descendente del

2014. El primer periodo corresponde a la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo a la zona alrededor del segundo pico máximo representativo del ciclo solar 24. Durante el primer periodo las flechas se inclinan desde 325° hasta 290° ; mientras que durante el segundo periodo desde 315° hasta 280° ;

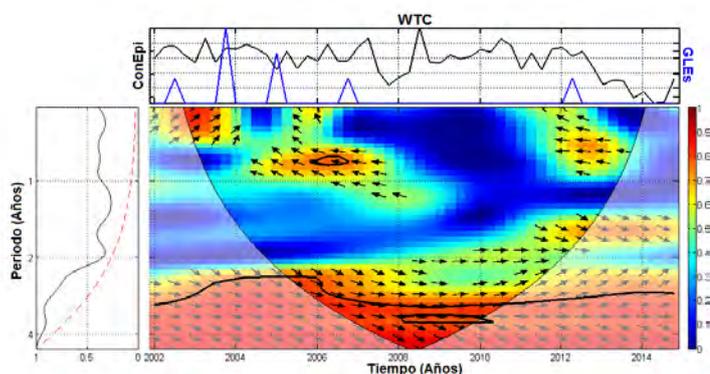


Espectro 49. WTC de la combinación ConEpi-RCG.

ciclo solar 24. Las flechas en el primer periodo se inclinan $\sim 35^\circ$, en el segundo $\sim 315^\circ$ y en el tercero entre 285 y 250° , por lo que se considera una relación compleja entre las periodicidades para todos los periodos. La periodicidad de 1.69 años se distribuye con potencia media-alta entre 2008 y 2013, periodo que comprende el mínimo solar del

ciclo 24 y la primera mitad de su fase ascendente, incluyendo el primer pico máximo. Durante este periodo las flechas se inclinan mayoritariamente 180° , mostrando que las periodicidades se encuentran en antifase. La periodicidad de 2.78 años se distribuye con potencia baja de 2002 a 2003, con potencia media de 2003 a 2010 y con potencia media-baja de 2010 a finales de 2014, por lo tanto se considera que esta periodicidad tiene una relevancia media-baja durante ambos ciclos solares. Las flechas en estos años muestran una orientación entre 335 y 0° , lo que indica que en el transcurso de estos años existe una relación compleja entre las periodicidades que tiende a colocarlas en fase.

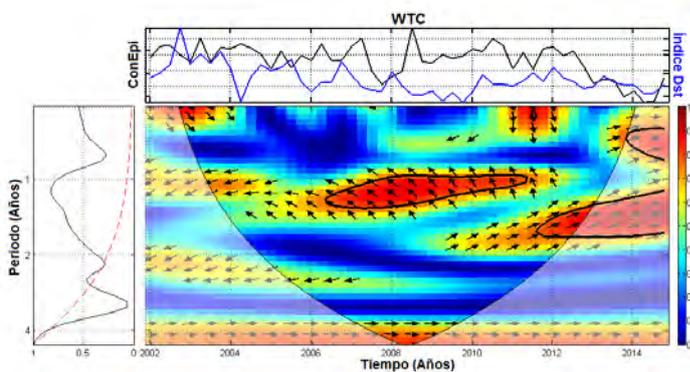
Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-GLEs (Espectro 50). El GWS presentó periodicidades de 0.73, 0.93, 1.61 y 3.22 años. En el WPS la periodicidad de 0.73 años se distribuye con potencia media-alta entre 2002 y 2004, con potencia baja entre 2004 y principios de 2006 y con potencia media-alta entre 2012 y mediados de 2013. Los dos primeros periodos corresponden a la fase descendente del ciclo solar 23, mientras el último a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, después del primer pico máximo. En el primer periodo las flechas tienen una inclinación $\sim 45^\circ$ y en el segundo $\sim 140^\circ$, por lo que la relación es compleja en estas zonas. En el tercer periodo las flechas se inclinan $\sim 180^\circ$, indicando que las periodicidades están en antifase. La periodicidad de 0.93 años se distribuye con potencia alta entre 2005 y finales de 2007, periodo que abarca la segunda mitad de la fase descendente del ciclo solar 23, y con potencia media-baja entre 2012 y mediados de 2013, periodo que corresponde a una pequeña parte de la fase ascendente del ciclo solar 24. Durante el primer periodo las flechas se inclinan $\sim 160^\circ$, determinando una relación compleja entre las periodicidades, y durante el segundo periodo $\sim 180^\circ$, indicando que las periodicidades están en antifase. La periodicidad de 1.61 años, se observa



Espectro 50. WTC de la combinación ConEpi-GLEs.

con potencia alta entre 2012 y finales de 2014, periodo que comprende la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y su fase descendente. Las flechas en este lapso de tiempo se inclinan $\sim 340^\circ$, por lo que se determina también una relación compleja. La periodicidad de 3.22 años se distribuye con muy alta potencia en todos los años del estudio, por lo que se considera altamente representativa. La inclinación de las flechas entre 2002 y 2007 es de $\sim 345^\circ$, lo que señala una relación compleja; entre 2007 y 2011 de 0° , mostrando que las periodicidades están en fase; y entre 2011 y finales de 2014 de $\sim 10^\circ$, indicando nuevamente una relación compleja.

Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-Índice Dst (Espectro 51). El GWS presentó periodicidades de 1.14 y 2.51 años. En el WPS la periodicidad de 1.14 años se distribuye principalmente

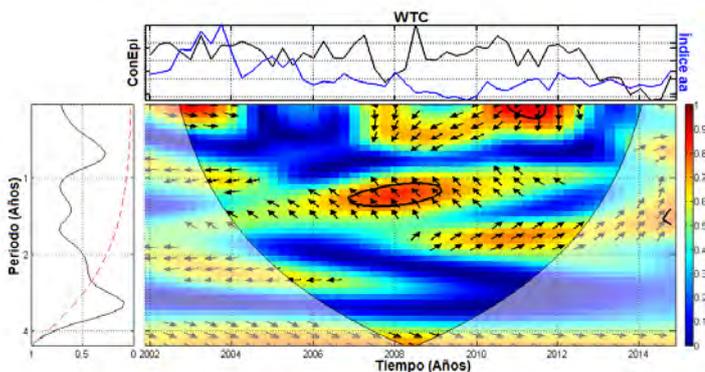


Espectro 51. WTC de la combinación ConEpi-Índice Dst.

con potencia media y alta entre 2002 y 2012, periodo que corresponde a toda la fase descendente del ciclo solar 23, al mínimo solar del ciclo 24 y a la primera mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, rozando ligeramente la zona del primer pico máximo. Entre 2002 y 2005 las flechas se inclinan $\sim 210^\circ$ y entre 2005 y 2012 se inclinan entre 160

y 95° , por lo que en ambos casos la relación es compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 2.51 años tiene una distribución con potencia media entre 2003 y 2007, intervalo que corresponde a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Durante este periodo las flechas se inclinan $\sim 187^\circ$, por lo que las periodicidades están casi en antifase.

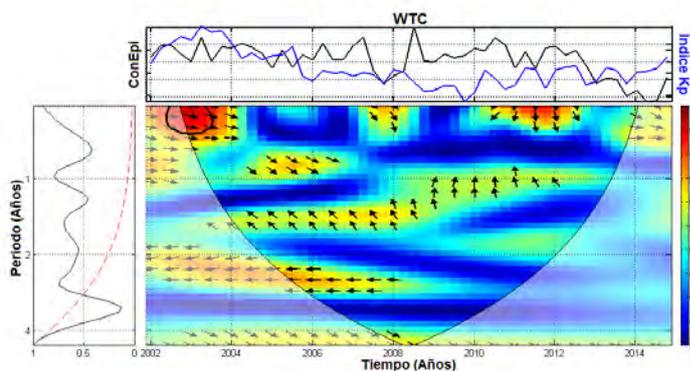
Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-Índice aa (Espectro 52). El GWS presentó periodicidades de 1.08 y 1.61 años. En el WPS la periodicidad de 1.08 años se distribuye con potencia media entre mediados de 2002 y principios de 2004, inicio de la fase descendente del ciclo solar 23, y con potencia media-alta entre 2006 y 2012, término de la fase descendente del ciclo solar 23, mínimo solar del ciclo 24 y primera mitad de la fase ascendente del mismo ciclo. Durante el primer periodo las flechas se inclinan $\sim 190^\circ$ y durante el segundo periodo se orientan $\sim 135^\circ$, señalando en ambos casos una relación compleja entre las



Espectro 52. WTC de la combinación ConEpi-Índice aa.

periodicidades. La periodicidad de 1.61 años se distribuye con potencia media-alta desde mediados de 2009 hasta finales de 2014, abarcando la parte final del mínimo solar del ciclo 24 y las fases ascendente y descendente del mismo ciclo. Durante estos años las flechas se inclinan entre 45 y 60°, por lo que existe una relación compleja entre las periodicidades.

Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-Índice Kp (Espectro 53). El GWS presentó periodicidades de 0.98, 1.53 y 2.64 años. En el WPS la periodicidad de 0.98 años presenta una distribución con potencia media entre 2005 y 2007, parte de la fase descendente del ciclo solar 23, y con potencia baja entre 2008 y mediados de 2013, abarcando el mínimo solar del ciclo 24 y gran parte de la



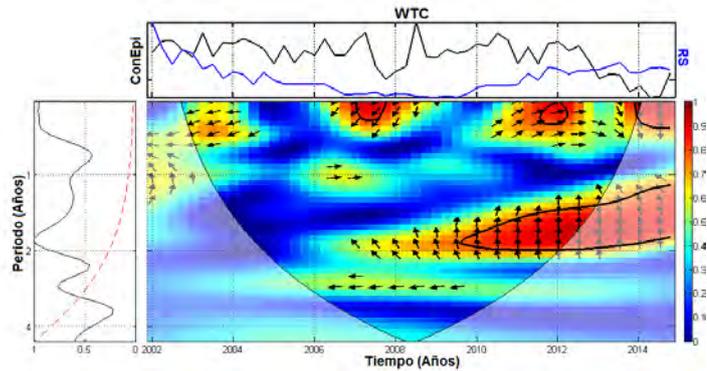
Espectro 53. WTC de la combinación ConEpi-Índice Kp.

fase ascendente del mismo ciclo, incluyendo su primer pico máximo. Las flechas en el primer periodo se inclinan ~325° y en el segundo periodo ~90°, lo que indica una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.53 años se distribuye con baja potencia desde 2002 hasta mediados de 2003, y con potencia media desde la

segunda mitad de 2003 hasta mediados de 2008, abarcando toda la fase descendente del ciclo solar 23 y una parte del mínimo solar del ciclo 24. En todo este lapso de tiempo las flechas se inclinan entre los 140 y 120°, por lo que la relación entre las periodicidades se observa compleja. La periodicidad de 2.64 años se encuentra distribuida con potencia media entre 2003 y finales de 2008, periodo que comprende casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Durante este intervalo las flechas se inclinan 180°, señalando que las periodicidades están en antifase.

Análisis wavelet de coherencia del par ConEpi-RS (Espectro 54). El GWS presentó periodicidades de 0.57, 0.62, 1.08, 1.78 y 2.78 años. En el WPS las periodicidades de 0.57 y 0.62 años se observan igualmente distribuidas con potencia media a lo largo de 2003 y con alta potencia de 2007 a 2008, de 2011 a mediados de 2012 y alrededor de 2014. El año 2003 corresponde a un pico observado en la fase descendente del ciclo solar 23, el intervalo entre 2007 y 2008 a un pico observado en la última parte de la misma fase descendente, el intervalo entre 2011 y 2012 al primer pico máximo observado en la fase ascendente del ciclo solar 24, y el intervalo alrededor de 2014 al segundo pico máximo observado en el ciclo solar 24. Las flechas durante 2003 se inclinan ~195°, durante el segundo periodo ~220°, durante el tercer periodo ~15° y durante el último periodo ~270°; por lo tanto en todos los casos se describe una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.08 años se distribuye con potencia

media-baja entre 2006 y 2007, abarcando un pico casi al final de la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas durante este periodo se inclinan casi 0° ; por lo que las periodicidades tienden a estar en fase. La periodicidad de 1.78 años se observa distribuida con potencia principalmente alta desde finales de 2007 hasta finales de 2014, abarcando el mínimo solar del ciclo 24 y las fases ascendente y descendente del mismo ciclo. Las flechas durante estos años se inclinan entre 130 y 90° , por lo que la relación se considera compleja. La periodicidad de 2.78 años se distribuye con poca potencia desde 2003 hasta 2014, por lo que es poco representativa durante ambos ciclos solares. Las flechas para esta periodicidad muestran que los marcadores están en antifase.



Espectro 54. WTC de la combinación ConEpi-RS.

Grupos generados de acuerdo a los GWSs.

Grupo 1. Se conformó por el par ConEpi-MS. En la Figura 47 se observa que este par tiene tres periodicidades comunes con potencias similares entre el 60 y el 80%. La primera ~ 0.7 años, la segunda ~ 1.5 años y la última ~ 2.5 años. También se observa que entre más grande es la periodicidad menor potencia presenta.

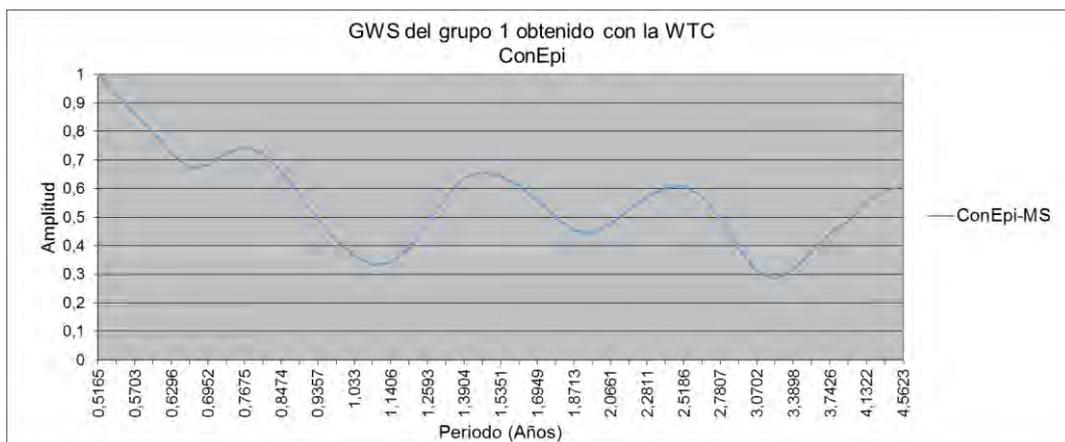


Figura 47. GWS resultante del análisis wavelet de coherencia de la combinación ConEpi-MS.

En los esquemas se observa que las periodicidades de 0.76 y 1.46 años tienen potencias altas principalmente, lo cual les proporciona alta potencia global, mientras que la periodicidad de 2.51 años únicamente tiene potencia media, lo que disminuye un poco su potencia global en comparación con las anteriores (Tabla 21).

ANÁLISIS WTC / GRUPO 1			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
MS	0.76 (C)	1.46 (C)	2.51 (C)

Tabla 21. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación ConEpi-MS obtenido con la WTC.

Grupo 2. Se conformó por los pares ConEpi-SF y ConEpi-ICMEs Rot. En ambos GWSs se observa que las mayores potencias globales corresponden a periodicidades comunes extremas, ~1 año y ~2.3 años (Figura 48).

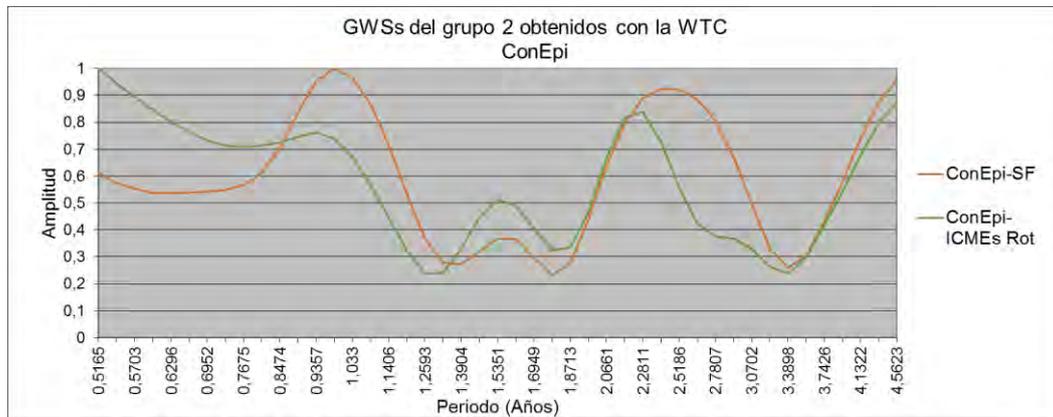


Figura 48. GWSs resultantes de los análisis wavelet de coherencia de las combinaciones ConEpi-SF y ConEpi-ICMEs Rot.

En los esquemas se observa que las periodicidades alrededor de los años señalados anteriormente presentan potencias principalmente altas. También se observa que la periodicidad con menor potencia global del par ConEpi-SF se omitió, debido a que no superó el 95% del nivel de confianza, y que la periodicidad con menor potencia global del par ConEpi-ICMEs Rot fue de 1.53 años (Tabla 22).

ANÁLISIS WTC / GRUPO 2			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
SF	0.98 (C)	2.39 (C)	
ICMEs Rot	0.93 (C)	1.53 (C)	2.28 (C)

Tabla 22. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones ConEpi-SF y ConEpi-ICMEs Rot obtenidos con la WTC.

Grupo 3. Se conformó por los pares ConEpi-ICMEs DP, ConEpi-ICMEs Tot y ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot. Los GWSs muestran que estos pares tuvieron, a partir de ~1 año, cuatro periodicidades comunes con picos de potencias aproximadamente cada medio año (Figura 49).

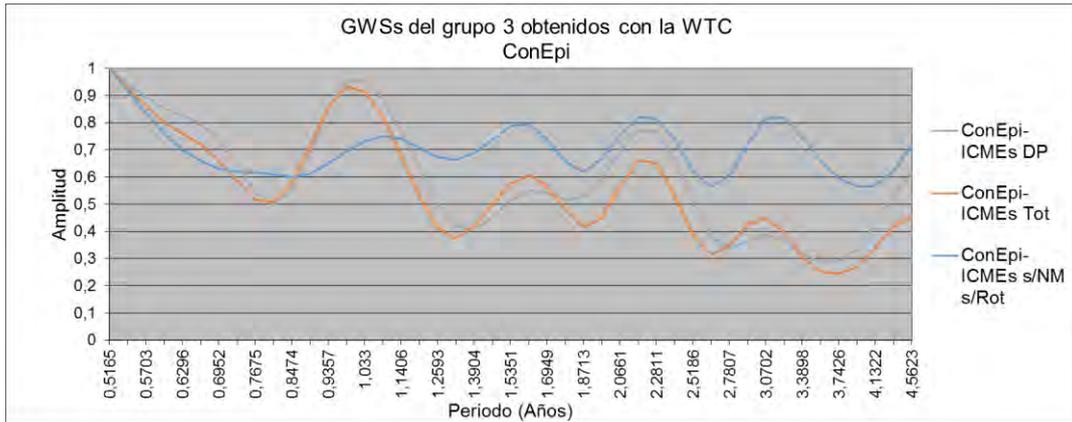


Figura 49. GWSs resultantes de los análisis wavelet de coherencia de las combinaciones ConEpi-ICMEs DP, ConEpi-ICMEs Tot y ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot.

En los esquemas se observó la gran similitud entre los pares con ICMEs DP y ICMEs Tot. Además, que para todos los pares las periodicidades fueron casi iguales: ~ 1 año, de 1.61 años y de 2.17 años. Por otro lado, se identificó que la periodicidad de ~ 3 años presente en los GWSs no se tomó en cuenta en ningún par, así como la de ~ 2 años del par ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot (Tabla 23).

ANÁLISIS WTC / GRUPO 3			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
ICMEs DP	1.03 (C)	1.61 (C)	2.17 (C)
ICMEs Tot	0.98 (C)	1.61 (C)	2.17 (C)
ICMEs s/NM s/Rot	1.08 (C)		1.61 (C)

Tabla 23. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones ConEpi-ICMEs DP, ConEpi-ICMEs Tot y ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot obtenidos con la WTC.

Grupo 4. Se conformó por el par ConEpi-ICMEs NM. En el GWS se observan dos potencias globales significativas por encima del 70%, la más alta ~ 2 años (Figura 50).

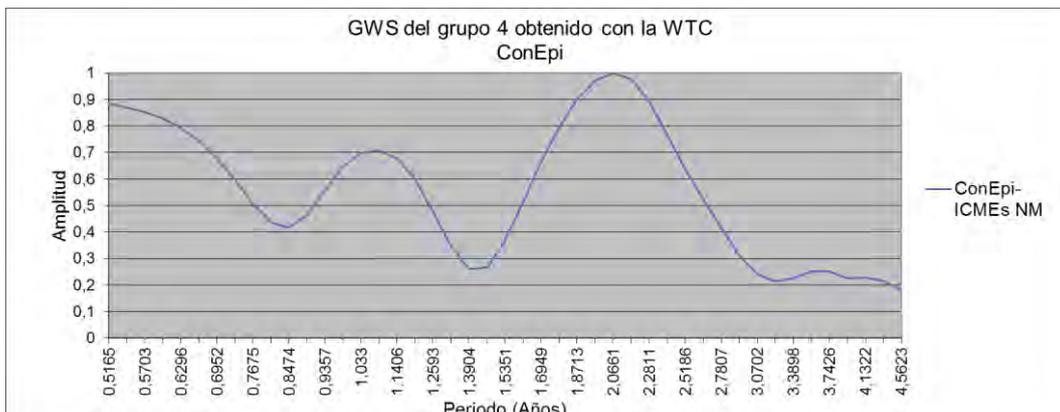


Figura 50. GWS resultante del análisis wavelet de coherencia de la combinación ConEpi-ICMEs NM.

En los esquemas se observó que estas periodicidades corresponden a las de 1.08 y 2.06 años. Además se muestra que ambas presentan niveles altos de potencia alrededor del mínimo solar del ciclo 24 y que en el caso de la periodicidad de 2.06 años, ésta tiene una distribución sobre casi todo el periodo de estudio con potencias medias y bajas también (Tabla 24).

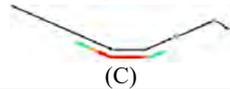
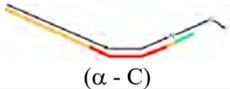
ANÁLISIS WTC / GRUPO 4	
Número de ConEpi	
Parámetro	Periodicidades
ICMEs NM	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>1.08</p>  <p>(C)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>2.06</p>  <p>(α - C)</p> </div> </div>

Tabla 24. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación ConEpi-ICMEs NM obtenido con la WTC.

Grupo 5. Se conformó por los pares ConEpi-RCG, ConEpi-Índice Dst, ConEpi-Índice aa, ConEpi-Índice Kp y ConEpi-RS. Este grupo fue difícil de construir debido a las variaciones en los niveles de potencia observados, sin embargo, se pudo identificar que todos estos pares presentaron 3 picos de potencia global alta en sus GWSs. En el caso del Índice Dst el segundo pico parece ser contenido en la distribución tan amplia del primero. Los picos de las altas potencias globales se encuentran ~1 año, ~1.5 años y ~2.5 años (Figura 51).

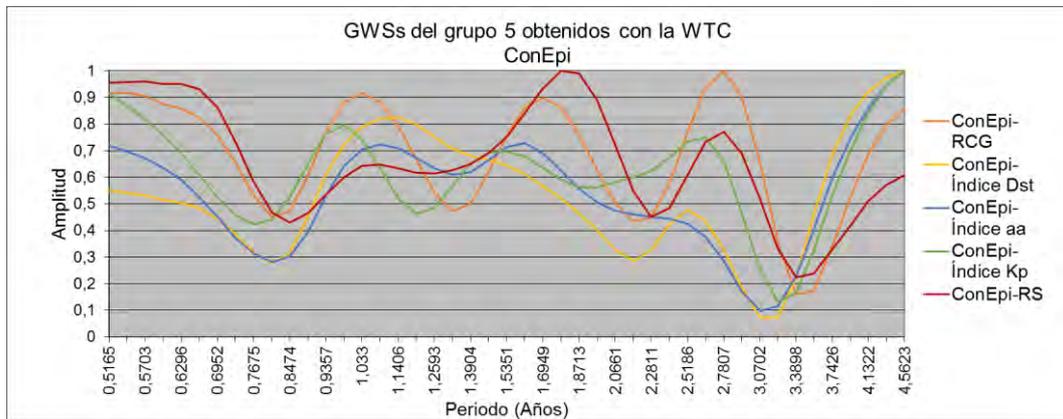


Figura 51. GWSs resultantes de los análisis wavelet de coherencia de las combinaciones ConEpi-RCG, ConEpi-Índice Dst, ConEpi-Índice aa, ConEpi-Índice Kp y ConEpi-RS.

En los esquemas se observó que para el par ConEpi-RCG los tres picos corresponden a las periodicidades de 1.03, 1.69 y 2.78 años y para el par ConEpi-Índice Kp a las de 0.98, 1.53 y 2.64 años. En los pares ConEpi-Índice Dst y ConEpi-Índice aa se observaron solo dos periodicidades para cada uno, de 1.14 y 2.51 años y de 1.08 y 1.61 años, respectivamente. En este caso es importante mencionar que para el par ConEpi-Índice Dst solo se tomaron en cuenta los dos picos vistos claramente en el GWS, mientras que para el par ConEpi-Índice aa el pico de la periodicidad más grande no se consideró debido que no se encontraba sobre el nivel de confianza. En el par ConEpi-RS se observaron cinco periodicidades, tres de las cuales son claras en el GWS y dos más ~0.5 y 0.65 años; estas últimas presentaron distribuciones muy pequeñas aunque con potencias principalmente altas (Tabla 25).

ANÁLISIS WTC / GRUPO 5			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
RCG	1.03 (C)	1.69 (1/α)	2.78 (C - α)
Índice Dst	1.14 (C)		2.51 (1/α)
Índice aa	1.08 (C)		1.61 (C)
Índice Kp	0.98 (C)	1.53 (C)	2.64 (1/α)
RS	0.57 y 0.62 (C - α - C - α - C)	1.08 (C - α)	1.78 (C)
			2.78 (1/α)

Tabla 25. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones ConEpi-RCG, ConEpi-Índice Dst, ConEpi-Índice aa, ConEpi-Índice Kp y ConEpi-RS obtenidos con la WTC.

Grupo 6. Se conformó por el par ConEpi-GLEs. El GWS presentó un pico de potencia global muy significativo alrededor de los 3 años y tres picos menores en periodicidades más pequeñas (Figura 52).

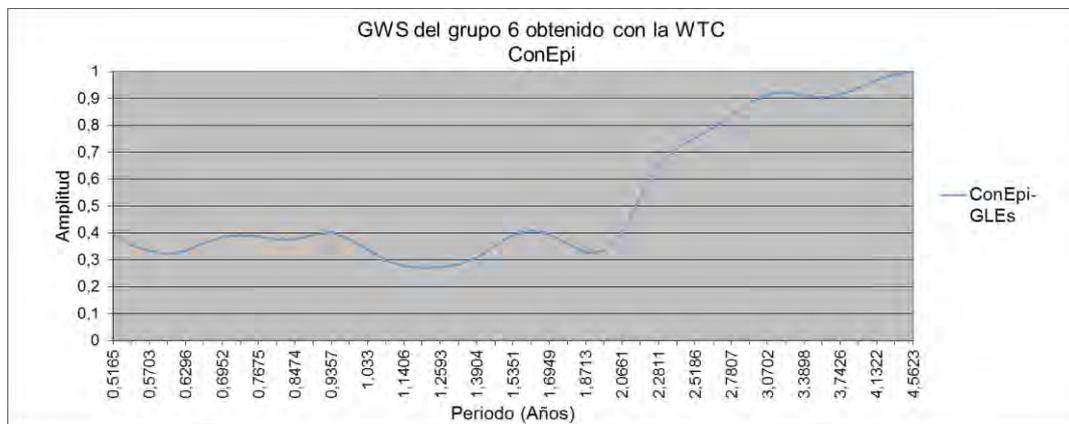


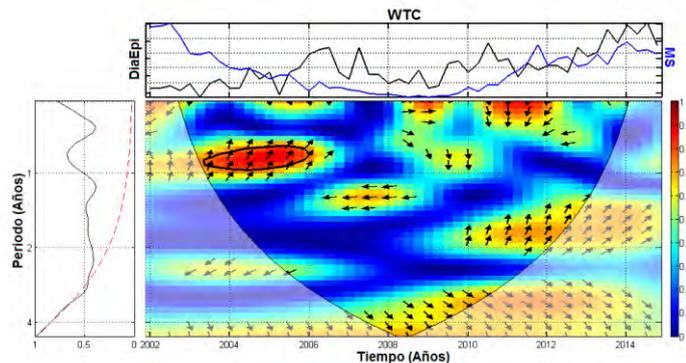
Figura 52. GWS resultante del análisis wavelet de coherencia de la combinación ConEpi-GLEs.

En los esquemas se observó que la periodicidad de 3.22 años se distribuyó en todo el periodo de estudio con potencia alta. Además, que los otros picos observados correspondían a las periodicidades de 0.73, 0.93 y 1.61 años; todas con potencias altas pero menormente distribuidas (Tabla 26).

ANÁLISIS WTC / GRUPO 6			
Número de ConEpi			
Parámetro	Periodicidades		
GLEs	0.73 (C - 1/α)	0.93 (C - 1/α)	1.61 (C)
			3.22 (C - α - C)

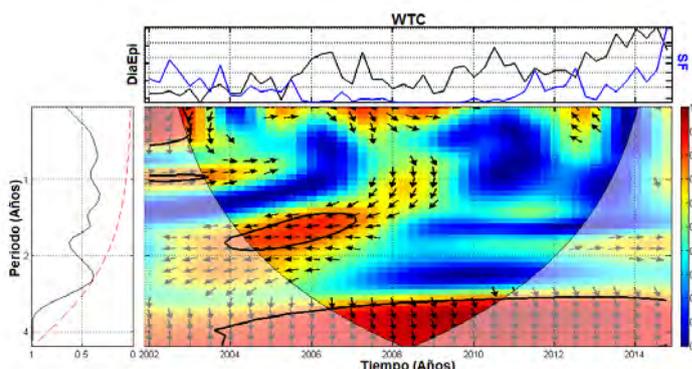
Tabla 26. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación ConEpi-GLEs obtenido con la WTC.

5.3.2 Pares formados entre DiaEpi y los fenómenos del Clima Espacial. Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-MS (Espectro 55). El GWS presentó periodicidades de 0.84, 1.39 y 1.69 años. En el WPS la periodicidad de 0.84 años se observa con alta potencia entre 2002 y 2006, periodo que corresponde a casi toda la fase descendente del ciclo solar 23, y con potencia baja entre 2009 y mediados de 2010, periodo que abarca gran parte del mínimo solar del ciclo 24 y una pequeña sección del inicio de la fase ascendente del mismo ciclo. Las flechas en el primer periodo se inclinan entre 90° y 60° , y en el segundo $\sim 270^\circ$, por lo que la relación se considera compleja en ambos periodos. La periodicidad de 1.39 años se distribuye con potencia media entre mediados de 2006 y mediados de 2008 y entre 2012 y finales de 2014. Los primeros años corresponden al final de la fase descendente del ciclo solar 23 y al inicio del mínimo solar del ciclo 24; los siguientes años a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y a su fase descendente. Las flechas durante el primer periodo se inclinan 180° , mostrando que las periodicidades están en antifase y durante el segundo periodo se inclinan $\sim 55^\circ$, mostrando una relación compleja. La periodicidad de 1.69 años se distribuye con potencia media-alta desde 2010 hasta finales de 2014, abarcando las fases ascendente y descendente del ciclo solar 24. Durante este lapso las flechas se inclinan desde 80° hasta 40° , por lo que se determina una relación compleja entre las periodicidades.



Espectro 55. WTC de la combinación DiaEpi-MS.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-SF (Espectro 56). El GWS presentó periodicidades de 0.93, 1.39, 1.78 y 3.74 años. En el WPS la periodicidad de 0.93 años se distribuye con alta potencia entre 2002 y 2004 y con potencia baja entre finales de 2007 y 2009. El primer periodo abarca el inicio de la fase descendente del ciclo solar 23 y el segundo la parte final de esta fase y casi todo el mínimo solar del ciclo 24. Durante el primer periodo las periodicidades se encuentran en fase ($\sim 0^\circ$); durante el

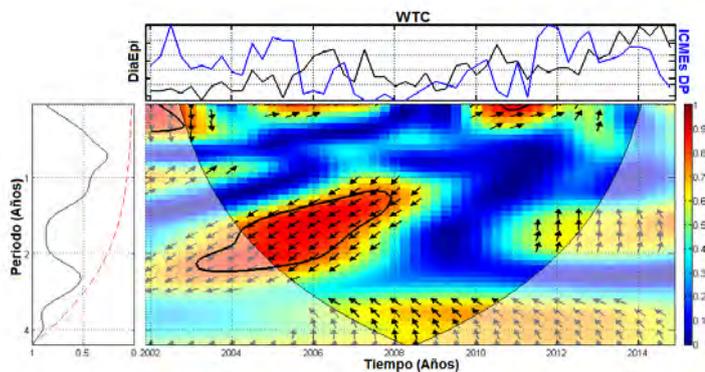


Espectro 56. WTC de la combinación DiaEpi-SF.

segundo periodo la relación es compleja, con las flechas inclinadas $\sim 270^\circ$. La periodicidad de 1.39 años se distribuye con potencia alta entre 2004 y 2008, abarcando casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Durante estos años las periodicidades tienden a estar en antifase ($\sim 180^\circ$). La periodicidad de 1.78 años, presenta

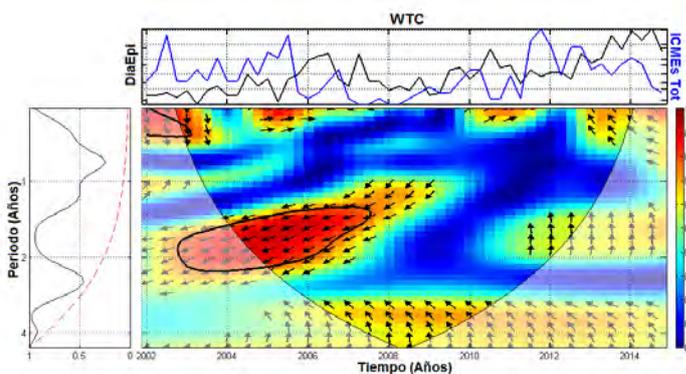
potencia media-alta entre mediados de 2002 y mediados de 2007, abarcando casi la totalidad de la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas se inclinan $\sim 180^\circ$, indicando que las periodicidades están en antifase. La periodicidad de 3.74 años se distribuye con potencia alta en todo el periodo de estudio, por lo que se considera relevante en ambos ciclos solares. La dirección de las flechas se observa entre 270° y 290° , por lo que la relación se determina compleja.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi y ICMEs DP (Espectro 57). El GWS presentó periodicidades de 1.69 y 3.56 años. En el WPS la periodicidad de 1.69 años se observa distribuida con alta potencia entre 2003 y finales de 2007, abarcando gran parte de la fase descendente del ciclo solar 23, y con potencia media entre 2011 y finales de 2014, abarcando casi toda la fase ascendente del ciclo solar 24 y su fase descendente. Las flechas durante el primer periodo se inclinan $\sim 207^\circ$ y durante el segundo periodo $\sim 90^\circ$, por lo tanto en ambos casos se determina una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 3.56 años se distribuye con potencia media-alta desde mediados de 2006 y hasta finales de 2014, periodo que abarca el final de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24, y las fases ascendente y descendente del mismo ciclo. Las flechas durante todo este tiempo se inclinan entre 140° y 130° , por lo que indican una relación compleja entre las periodicidades.



Espectro 57. WTC de la combinación DiaEpi-ICMEs DP.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-ICMEs Tot (Espectro 58). El GWS presentó periodicidades de 1.08, 1.69 y 3.39 años. En el WPS la periodicidad de 1.08 años se observa con potencia media entre 2007 y 2009, abarcando a la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23 y la mitad del mínimo solar del ciclo 24. Las flechas durante este periodo tienen una inclinación $\sim 220^\circ$, señalando una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.69 años se distribuye con alta potencia entre 2003 y mediados de 2007, y con potencia media entre la segunda mitad de 2011 y finales de 2014. El primer periodo corresponde a la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo a casi toda la fase ascendente del ciclo solar 24 y a su fase descendente. Las flechas

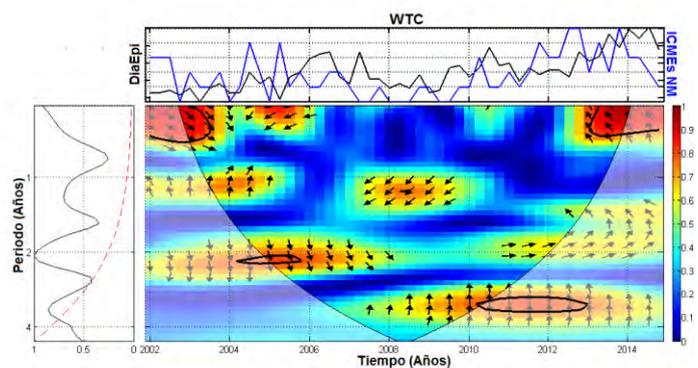


Espectro 58. WTC de la combinación DiaEpi-ICMEs Tot.

durante todo este tiempo se inclinan entre 140° y 130° , por lo que indican una relación compleja entre las periodicidades.

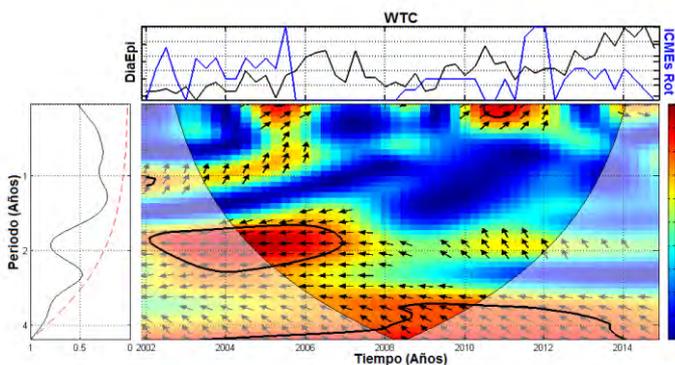
durante el primer periodo se inclinan $\sim 200^\circ$ y durante el segundo $\sim 90^\circ$, por lo tanto se determina una relación compleja en ambos casos. La periodicidad de 3.39 años se observa distribuida con potencia media-alta entre 2005 y finales de 2014, abarcando la parte final de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y sus fases ascendente y descendente. Durante estos años las flechas se inclinan entre 130 y 145° , por lo que la relación es compleja entre las periodicidades.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-ICMEs NM (Espectro 59). El GWS presentó periodicidades de 1.19, 2.06 y 3.39 años. En el WPS la periodicidad de 1.19 años se observa distribuida con potencia media-alta entre 2002 y 2005 y entre la segunda mitad del 2007 y la segunda mitad del 2009. El primer periodo abarca el inicio de la fase descendente del ciclo solar 23, mientras que el segundo periodo engloba el final de esta fase y al mínimo solar del ciclo 24. Las flechas en el primer periodo están dirigidas $\sim 90^\circ$ y en el segundo periodo $\sim 225^\circ$, por lo tanto se determina en ambos casos que las periodicidades tienen una relación compleja. La periodicidad de 2.06 años se distribuye con alta potencia entre 2002 y finales de 2007, con potencia baja entre finales de 2007 y 2011, y con potencia media entre 2011 y finales de 2014, por lo que se considera con relevancia media-alta en ambos ciclos solares. Las flechas en las regiones de mayor potencia se inclinan entre 270 y 7° , por lo que se determina que existe una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 3.39 años se distribuye con potencia media-alta entre finales de 2007 y finales de 2014, abarcando el final de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y las fases ascendente y descendente del mismo ciclo. Las flechas durante este lapso se inclinan $\sim 90^\circ$, por lo que la relación entre las periodicidades se define compleja.



Espectro 59. WTC de la combinación DiaEpi-ICMEs NM.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-ICMEs Rot (Espectro 60). El GWS presentó periodicidades de 0.98 y 1.87 años. En el WPS la periodicidad de 0.98 años se distribuye con potencia media entre 2002 y la primera mitad de 2005, abarcando la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en esta región se inclinan $\sim 65^\circ$, mostrando que la relación entre las periodicidades es

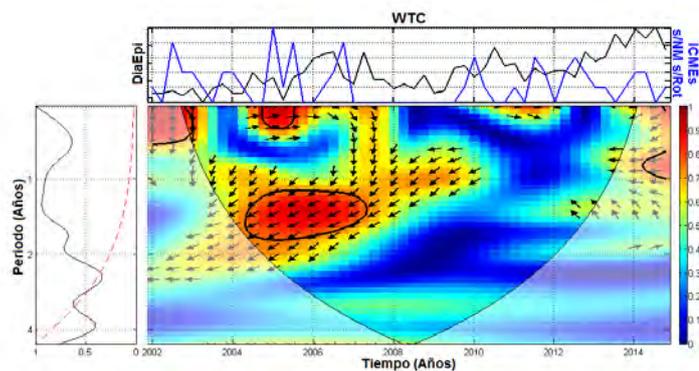


Espectro 60. WTC de la combinación DiaEpi-ICMEs Rot.

compleja. La periodicidad de 1.87 años se distribuye con alta potencia entre 2002 y la primera mitad de 2007, con potencia baja entre la segunda mitad de 2007 y 2010, y con potencia media-baja entre 2010 y finales de 2014. Por lo anterior se considera que esta periodicidad tiene una relevancia media-alta en ambos ciclos solares. Las flechas entre 2002 y 2009 se inclinan 180° , indicando que las periodicidades están en antifase, y entre 2009 y finales de 2014 $\sim 130^\circ$, indicando que tienen una relación compleja.

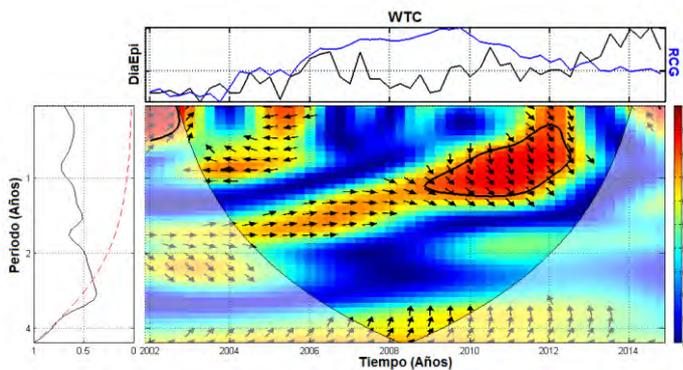
Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot (Espectro 61). El GWS presentó periodicidades de 1.25 y 1.87 años. En el WPS la periodicidad de 1.25 años se observa distribuida con potencia alta entre 2004 y 2008, y con potencia media entre la segunda mitad de 2012 y finales de 2014.

El primer intervalo abarca casi toda la fase descendente del ciclo solar 23 y el segundo incluye la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24, abarcando el primer pico máximo, y su fase descendente. Las flechas durante el primer periodo se inclinan $\sim 210^\circ$ y durante el segundo $\sim 125^\circ$, por lo que en ambos casos se indica una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 1.87 años se distribuye con potencia alta entre 2003 y principios de 2006, abarcando gran parte de la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas durante este periodo se inclinan $\sim 210^\circ$, indicando nuevamente una relación compleja.



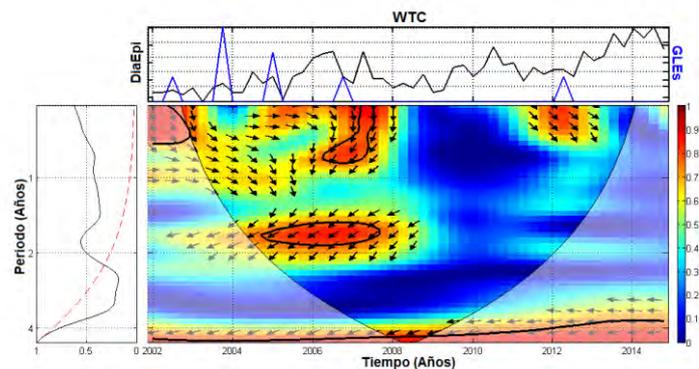
Espectro 61. WTC de la combinación DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-RCG (Espectro 62). El GWS presentó periodicidades de 0.93 y 1.69 años. En el WPS la periodicidad de 0.93 años se distribuye con potencia media-alta entre 2003 y la primera mitad de 2005, y con potencia alta entre 2009 y la primera mitad de 2012. El primer periodo abarca gran parte de la fase descendente del ciclo solar 23, y el segundo periodo la salida del mínimo solar del ciclo 24 y dos terceras partes de la fase ascendente del mismo ciclo. Las flechas en el primer periodo se inclinan 180° , mostrando que las periodicidades están en antifase, y en el segundo periodo se $\sim 300^\circ$, señalando que la relación es compleja. La periodicidad de 1.69 años se distribuye con potencia media-alta de 2002 a 2007, abarcando casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Durante este periodo las flechas se inclinan 0° , indicando que las periodicidades están en fase.



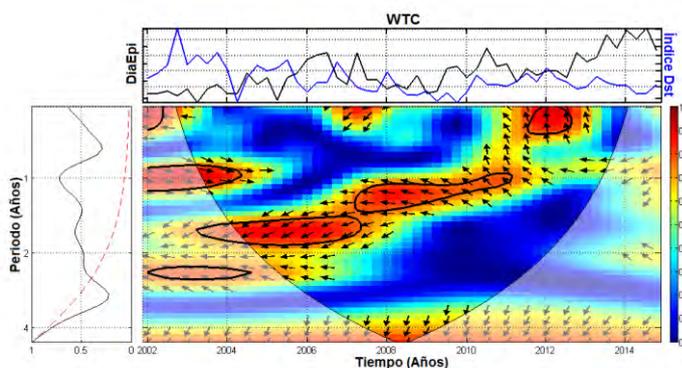
Espectro 62. WTC de la combinación DiaEpi-RCG.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-GLEs (Espectro 63). El GWS presentó periodicidades de 0.93 y 1.78 años. En el WPS la periodicidad de 0.93 años se distribuye con potencia media entre 2002 y 2008, periodo que engloba toda la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en esta región se observan inclinadas 0° entre 2002 y 2003, mostrando que las periodicidades están en fase; y entre 352 y 220° entre 2003 y 2008, indicando que la relación es compleja. La periodicidad de 1.78 años se observa distribuida con potencia media-alta entre 2002 y la primera mitad de 2008, abarcando la fase descendente del ciclo solar 23 y el inicio del mínimo solar del ciclo 24. Durante estos años las flechas tienen una inclinación entre 200 y 210° , por lo que se determina que las periodicidades tienen una relación compleja.



Espectro 63. WTC de la combinación DiaEpi-GLEs.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-Índice Dst (Espectro 64). El GWS presentó periodicidades de 0.98, 1.03, 1.61 y 2.17 años. En el WPS las periodicidades de 0.98 y 1.03 años se consideran igualmente distribuidas con alta potencia entre 2002 y la primera mitad de 2004 y entre 2007 y 2012, y con potencia media-baja entre 2012 y finales de 2014. El primer periodo corresponde a la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23; el segundo periodo al final de esta fase, al

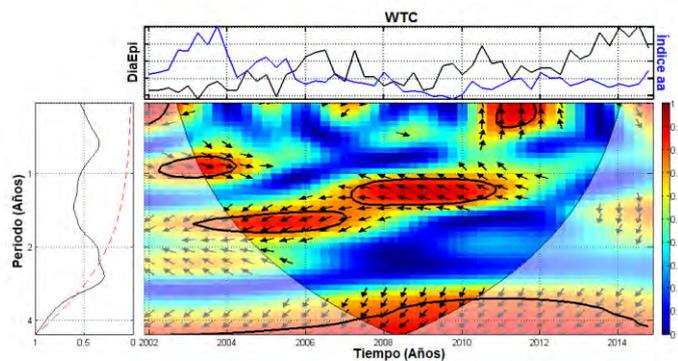


Espectro 64. WTC de la combinación DiaEpi-Índice Dst.

mínimo solar del ciclo 24 y a la primera mitad de la fase ascendente de este ciclo, incluyendo al primer pico máximo; y el tercer periodo a la segunda mitad de la fase ascendente del ciclo solar 24 y a su fase descendente. Las flechas durante el primer intervalo se inclinan entre 349 y 355° y durante el segundo intervalo $\sim 140^\circ$, señalando en ambos casos una

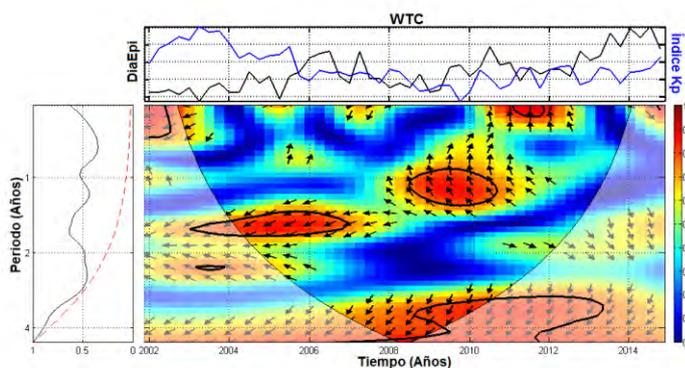
relación compleja entre las periodicidades; durante el tercer intervalo las flechas se inclinan $\sim 180^\circ$, indicando que las periodicidades están en antifase. La periodicidad de 1.61 años se observa distribuida con potencia alta entre 2002 y 2008, abarcando toda la fase descendente del ciclo solar 23. Durante este periodo las flechas se inclinan $\sim 210^\circ$, por lo que se determina una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 2.17 años se distribuye con potencia media-alta entre 2002 y la primera mitad de 2006, años que abarcan casi toda la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en esta región presentan una inclinación entre 160 y 175° , por lo que la relación se considera también compleja.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-Índice aa (Espectro 65). El GWS presentó solo la periodicidad de 1.39 años. En el WPS esta periodicidad se observa distribuida principalmente con alta potencia desde 2004 hasta 2011; periodo que abarca parte de la fase descendente del ciclo solar 23, el mínimo solar del ciclo 24 y el primer año de la fase ascendente del ciclo solar 24. La posición de la flechas entre 2004 y la primera mitad de 2007 tienen una inclinación entre 225° y 190° , mostrando una relación compleja entre las periodicidades; entre finales de 2007 y 2009 las flechas se inclinan 0° , mostrando que las periodicidades están en fase; y entre 2009 y 2011 las flechas se inclinan alrededor de los 165° , señalando nuevamente una relación compleja.



Espectro 65. WTC de la combinación DiaEpi-Índice aa.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-Índice Kp (Espectro 66). El GWS presentó periodicidades de 0.98 y 1.61 años. En el WPS la periodicidad de 0.98 años se distribuye con potencia media-alta entre 2008 y 2011, periodo que corresponde al mínimo solar del ciclo 24 y a la primer mitad de la fase ascendente del mismo ciclo, sin incluir al primer pico máximo. Durante este periodo las flechas

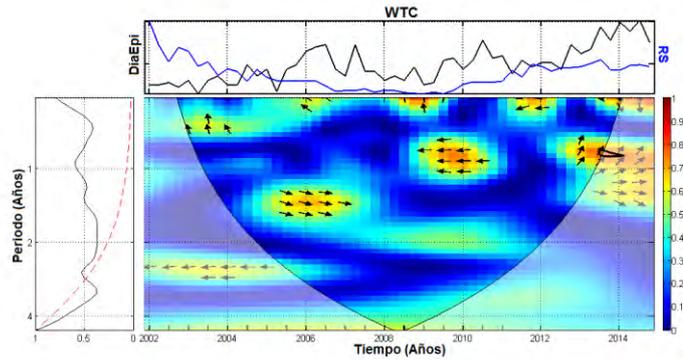


Espectro 66. WTC de la combinación DiaEpi-Índice Kp.

se inclinan $\sim 105^\circ$, por lo que la relación entre las periodicidades es compleja. La periodicidad de 1.61 años se observa distribuida con alta potencia entre 2002 y 2008, abarcando toda la fase descendente del ciclo solar 23. Durante estos años las flechas se inclinan $\sim 205^\circ$, por lo que se determina una relación compleja nuevamente.

Análisis wavelet de coherencia del par DiaEpi-RS (Espectro 67). El GWS presentó periodicidades de 0.98, 1.32 y 2.64 años. En el WPS la periodicidad de 0.98 años se distribuye con potencia media-alta entre 2009 y la primera mitad de 2010 y entre 2013 y finales de 2014. El primer periodo corresponde al final del mínimo solar del ciclo solar 24 y al comienzo de la fase ascendente del mismo ciclo, y el segundo periodo corresponde a la región alrededor del segundo pico máximo del ciclo solar 24. Las flechas durante el primer periodo se inclinan 180° , indicando que las periodicidades están en antifase, y durante el segundo periodo $\sim 45^\circ$, mostrando que tienen una relación compleja. La periodicidad de 1.32

años se observa distribuida con potencia media entre la segunda mitad de 2005 y 2007, abarcando un pico de la última parte de la fase descendente del ciclo solar 23. Las flechas en este periodo se inclinan $\sim 342^\circ$, por lo que se determina una relación compleja entre las periodicidades. La periodicidad de 2.64 años se distribuye con potencia media-baja entre 2002 y 2005, abarcando la primera mitad de la fase descendente del ciclo solar 23. Durante este periodo las flechas se inclinan 180° , indicando que las periodicidades están en antifase.



Espectro 67. WTC de la combinación DiaEpi-RS.

Grupos generados de acuerdo a los GWSs.

Grupo 1. Se conformó por los pares DiaEpi-MS, DiaEpi-SF, DiaEpi-RCG, DiaEpi-GLEs, DiaEpi-Índice Dst, DiaEpi-Índice aa, DiaEpi-Índice Kp y DiaEpi-RS. Los GWSs de estos pares se caracterizaron por comenzar con una disminución de potencia a partir de la periodicidad de ~ 0.5 años, por tener periodicidades con potencias globales entre 40 y 75% y por terminar con un incremento de potencia a partir de la periodicidad de ~ 2.5 años (Figura 53).

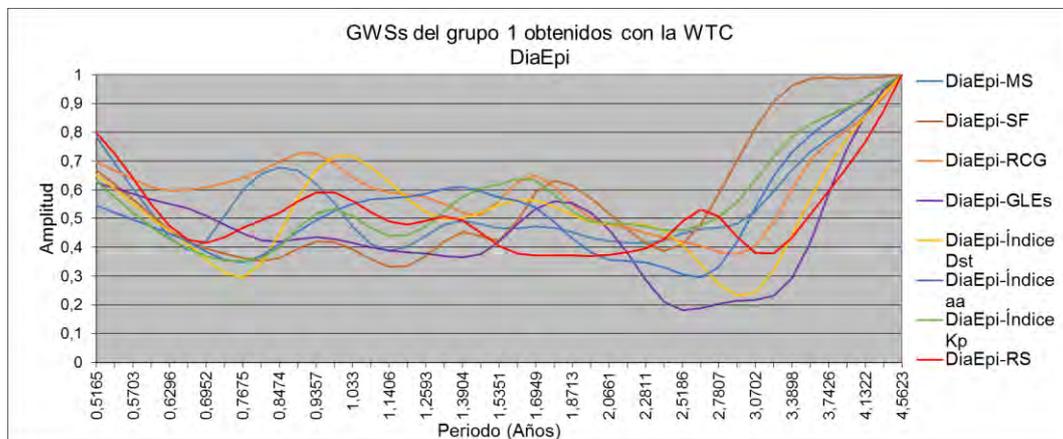


Figura 53. GWSs resultantes de los análisis wavelet de coherencia de las combinaciones DiaEpi-MS, DiaEpi-SF, DiaEpi-RCG, DiaEpi-GLEs, DiaEpi-Índice Dst, DiaEpi-Índice aa, DiaEpi-Índice Kp y DiaEpi-RS.

En los esquemas se observó que, con excepción del par DiaEpi-Índice aa, todos los pares presentan una periodicidad de ~ 1 año con potencia significativa. También se observa que en los pares con MS, SF, Índice aa y RS se comparte la periodicidad de ~ 1.3 años, la cual tiene menor potencia en el par DiaEpi-RS. Otra periodicidad que es compartida por varios pares es la de ~ 1.7 años (MS, SF, RCG, GLEs, Índices Dst y Kp), todas con potencias principalmente altas. Los pares con SF, Índice Dst y RS

presentaron periodicidades únicas de 3.74, 2.17 y 2.64 años, respectivamente. La periodicidad de 3.74 años mostró mayor potencia global y abarcó todo el periodo de estudio (Tabla 27).

ANÁLISIS WTC / GRUPO 1				
Número de DíaEpi				
Parámetro	Periodicidades			
MS	0.84 (C)	1.39 (1/α - C)	1.69 (C)	
SF	0.93 (α - C)	1.39 (1/α)	1.78 (1/α)	3.74 (C)
RCG	0.93 (1/α - C)		1.69 (α)	
GLEs	0.93 (α - C)		1.78 (C)	
Índice Dst	0.98 y 1.03 (C - 1/α)	1.61 (C)	2.17 (C)	
Índice aa	1.39 (C - α - C)			
Índice Kp	0.98 (C)	1.61 (C)		
RS	0.98 (1/α - C)	1.32 (C)	2.64 (1/α)	

Tabla 27. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones DíaEpi-MS, DíaEpi-SF, DíaEpi-RCG, DíaEpi-GLEs, DíaEpi-Índice Dst, DíaEpi-Índice aa, DíaEpi-Índice Kp y DíaEpi-RS obtenidos con la WTC.

Grupo 2. Se conformó por los pares DíaEpi-ICMEs DP y DíaEpi-ICMEs Tot. Los espectros mostraron dos periodicidades con potencias muy altas. La primera más ancha alrededor de 1.6 años y la segunda menos ancha alrededor de 3.5 años (Figura 54).

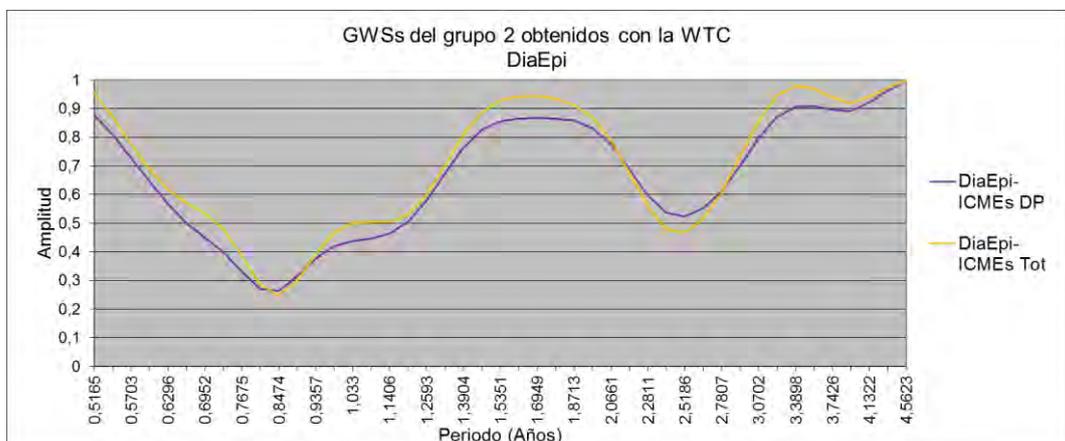


Figura 54. GWSs resultantes de los análisis wavelet de coherencia de las combinaciones DíaEpi-ICMEs DP y DíaEpi-ICMEs Tot

En los esquemas, las periodicidades observadas en los GWSs corresponden a las de 1.69 años para ambos pares, de 3.56 años para DiaEpi-ICMEs DP y de 3.39 años para DiaEpi-ICMEs Tot; todas con altos niveles de potencia y amplia distribución. En los esquemas también se observa la periodicidad de 1.08 años en el par DiaEpi-ICMEs Tot; esta periodicidad no es muy clara en el GWS debido a que presenta potencias medias y bajas con muy poca distribución (Tabla 28).

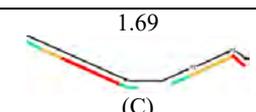
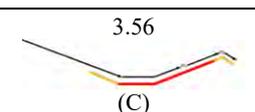
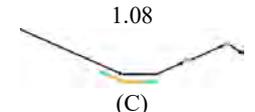
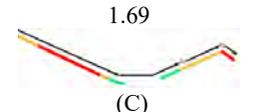
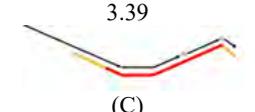
ANÁLISIS WTC / GRUPO 2	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
ICMEs DP	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>1.69 (C)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3.56 (C)</p> </div> </div>
ICMEs Tot	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>1.08 (C)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>1.69 (C)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3.39 (C)</p> </div> </div>

Tabla 28. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en los WPSs de las combinaciones DiaEpi-ICMEs DP y DiaEpi-ICMEs Tot obtenidos con la WTC.

Grupo 3. Se conformó por el par DiaEpi-ICMEs NM. En este espectro se identificaron los mayores niveles de potencia global en las periodicidades ~ 1.1 , ~ 2 y ~ 3.5 años. La periodicidad con mayor potencia fue la de ~ 2 años, seguida de la de ~ 3.5 años y por último la de ~ 1.1 años (Figura 55).

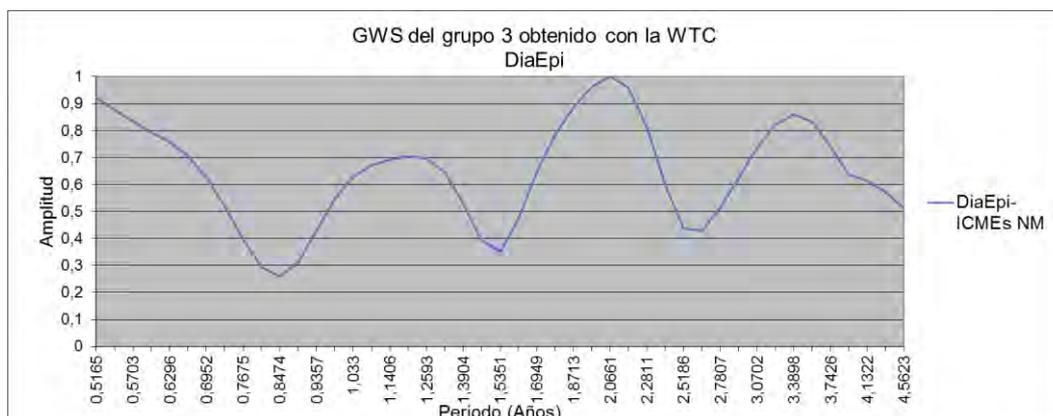


Figura 55. GWS resultante del análisis wavelet de coherencia de la combinación DiaEpi-NM.

En los esquemas las periodicidades antes descritas corresponden a las de 1.19, 2.06 y 3.39 años. Todas ellas con los tres niveles de potencia. La periodicidad de 2.06 años, identificada como la de mayor potencia global en el GWS, se distribuye en todo el periodo estudiado (Tabla 29).

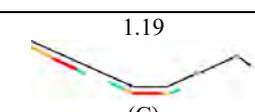
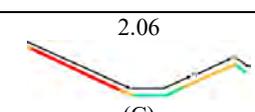
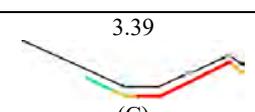
ANÁLISIS WTC / GRUPO 3	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
ICMEs NM	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>1.19 (C)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>2.06 (C)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3.39 (C)</p> </div> </div>

Tabla 29. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación DiaEpi-ICMEs NM obtenido con la WTC.

Grupo 4. Se conformó por el par DiaEpi-ICMEs Rot. El GWS muestra un pico máximo de potencia ~ 1.8 años y un pico con poca potencia ~ 1 año. Además, se observa que la potencia tiende a incrementar a partir de los 2.5 años (Figura 56).

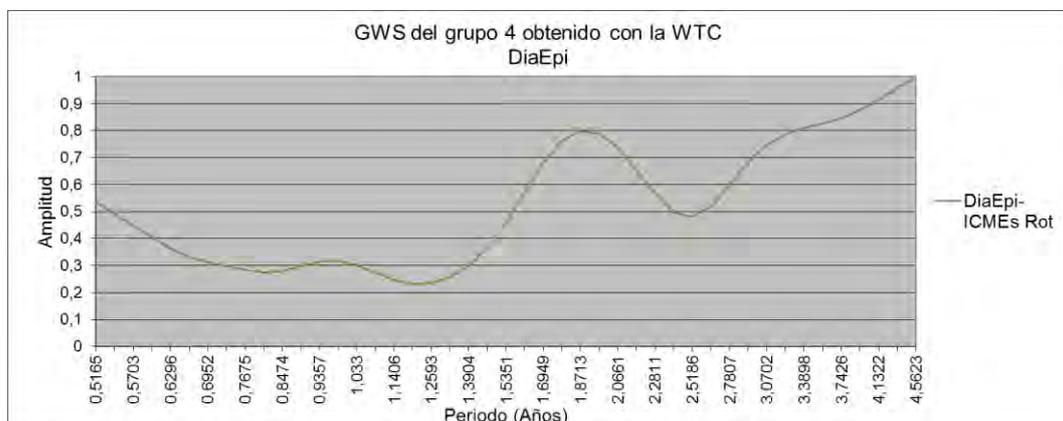


Figura 56. GWS resultante del análisis wavelet de coherencia de la combinación DiaEpi-Rot.

En los esquemas, se observa que la periodicidad de 1.87 años tiene la potencia global más alta y que se distribuye en todo el periodo de estudio. La periodicidad con menor potencia global corresponde a la de 0.98 años y se distribuye solo en la parte de la fase descendente del ciclo solar 23 (Tabla 30).

ANÁLISIS WTC / GRUPO 4	
Número de DiaEpi	
Parámetro	Periodicidades
ICMEs Rot	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>0.98</p> <p>(C)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>1.87</p> <p>(1/α - C)</p> </div> </div>

Tabla 30. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación DiaEpi-ICMEs Rot obtenido con la WTC.

Grupo 5. Se conformó por el par DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot. En este espectro se identificaron tres periodicidades con alta potencia: la primera ~ 1.3 años, la segunda ~ 1.9 años y la tercera ~ 3.3 años. También se pudo observar que la primera periodicidad tiene un ancho mucho mayor que las otras dos y que el nivel de potencia global decrece conforme aumenta la periodicidad (Figura 57).

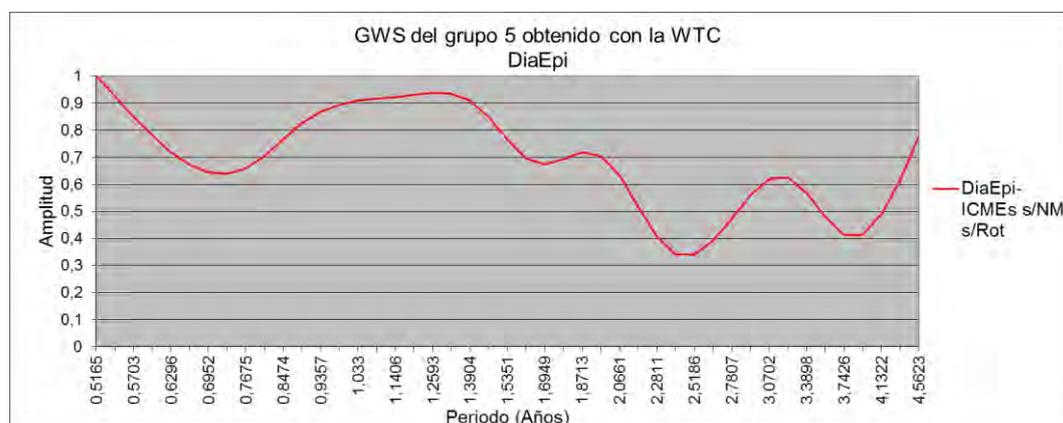


Figura 57. GWS resultante del análisis wavelet de coherencia de la combinación DiaEpi-s/NM s/Rot.

En los esquemas, la periodicidad de ~3.3 años no se tomó en cuenta, lo cual se debió a que ésta solo se encontraba fuera del cono de influencia. En cuanto a las otras periodicidades se observó que la primera corresponde a 1.25 años y la segunda a 1.87 años. Además de que sus distribuciones son principalmente en la fase descendente del ciclo solar 23 (Tabla 31).

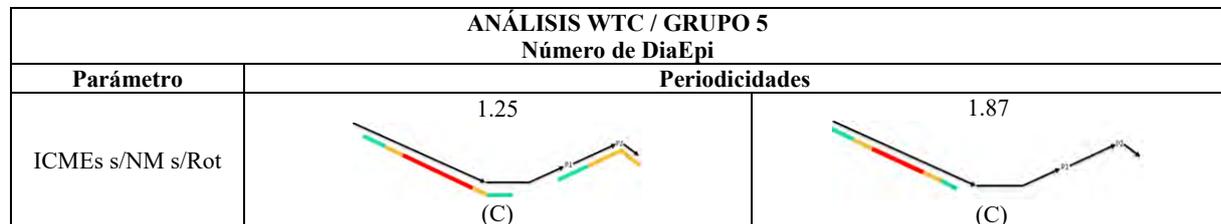


Tabla 31. Distribuciones y niveles de potencia de las periodicidades observadas en el WPS de la combinación DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot obtenido con la WTC.

5.4 Análisis wavelet de la enfermedad control, Diabetes. Se analizaron con la CWT dos marcadores de la Diabetes: número de consultas de pacientes con Diabetes (ConDia) y número de diagnósticos de egreso por Diabetes (DiaDia), con el objetivo de tener una enfermedad control con diferente cuadro clínico, que pudiera ser contrastada con la Epilepsia y que asegurara que los resultados obtenidos en esta investigación corresponden únicamente a la Epilepsia.

Las periodicidades obtenidas con la CWT para ConDia fueron de 0.61, 1.03, 1.64, 2.18 y 3.28 años y para DiaDia de 0.92, 2.31, 3.09 y 4.37 años. Al comparar estas periodicidades con las obtenidas para la Epilepsia se observó que existen periodicidades similares en el marcador número de consultas (0.6, 1.0 y 1.64 años), por lo que se intuyó que podría haber algo en común entre ellas. Por el contrario, las periodicidades del marcador número de diagnósticos fueron diferentes, lo que señalaba comportamientos desiguales en las series de tiempo (Tabla 32).

ANÁLISIS CWT				
Periodicidades	ConDia	DiaDia	ConEpi	DiaEpi
Corto Plazo (≤ 1 año)	0.61	0.92	0.68	0.57
	1.03		1.09	1.09
Mediano Plazo (1 - 2 años)	1.64	2.31	1.64	
	2.18			
Cuasi-trienales (3 - 4 años)	3.28	3.09		4.13
		4.37		

Tabla 32. Periodicidades intrínsecas de los marcadores de la Diabetes y de la Epilepsia obtenidas con la CWT.

Para aclarar lo anterior se realizaron análisis wavelet con la XWT y con la WTC a los siguientes pares:

ConEpi-DiaEpi, ConDia-DiaDia, ConEpi-ConDia y DiaEpi-DiaDia. Las periodicidades resultantes con la XWT fueron: *ConEpi-DiaEpi*__1.16 y 4.13 años; *ConDia-DiaDia*__2.18 y 3.28 años; *ConEpi-ConDia*__1.54 y 3.09 años; *DiaEpi-DiaDia*__4.13 años. Las periodicidades resultantes con la WTC fueron: *ConEpi-DiaEpi*__1.08 y 2.17 años; *ConDia-DiaDia*__1.03, 2.17 y 3.07 años; *ConEpi-ConDia*__0.93 y 1.53 años; *DiaEpi-DiaDia*__1.87 años (Tabla 33).

Estos resultados señalaron que las periodicidades comunes del marcador número de consultas (ConEpi-ConDia) fueron de 0.93, 1.5 y 3.09 años, por lo tanto, solo las periodicidades de ~1 y ~1.6 años observadas en la Tabla 32 para estos elementos eran en realidad comunes entre las enfermedades. Además se observó que para este marcador existe también en común la periodicidad de ~3 años. Las periodicidades de este marcador fueron relacionadas principalmente con el funcionamiento

administrativo del Hospital General de México, es decir, con la actividad de días hábiles y días de descanso obligatorio otorgados por la Ley Federal del Trabajo, ya que las consultas de pacientes obedecen a la determinación de estos días.

En cuanto al marcador número de diagnósticos de egreso (DiaEpi-DiaDia) las periodicidades comunes encontradas fueron de 1.87 y 4.13 años, esto indicó que de las periodicidades observadas en la Tabla 32 para estos elementos la única periodicidad común era la de ~4 años. Para este marcador las periodicidades encontradas fueron relacionadas directamente con el comportamiento de las enfermedades, debido a que los datos de las series de tiempo se relacionaban con casos de emergencias las cuales son atendidas por igual los 365 días del año.

En relación a las periodicidades comunes de cada enfermedad, se encontraron para la Epilepsia (ConEpi-DiaEpi) las de ~1, 1.16, 2.1 y 4.13 años y para la Diabetes (par ConDia-DiaDia) las de ~1, 2.1, 3.07 y 3.28 años. De primera instancia se podría pensar que ambas enfermedades se comportan de manera similar dado que presentaron periodicidades parecidas o iguales (~1 y 2.1 años). Sin embargo, es importante recordar que estos pares tienen en común al marcador número de consultas, el cual puede estar influyendo en los resultados remarcando periodicidades que corresponden al marcador y no directamente a las enfermedades. Los resultados con la XWT y la WTC del par ConEpi-ConDia (Tabla 33) aclaran parte de esta

suposición, ya que la periodicidad de 0.93 años del marcador número de consultas es muy similar a la de ~1 año observada para ambas enfermedades. Por

Periodicidades	ConEpi-ConDia		DiaEpi-DiaDia		ConEpi-DiaEpi		ConDia-DiaDia	
	XWT	WTC	XWT	WTC	XWT	WTC	XWT	WTC
Corto Plazo (≤ 1 año)		0.93				1.08		1.03
Mediano Plazo (1 - 2 años)	1.54	1.53		1.87	1.16	2.17	2.18	2.17
Cuasi-trienales (3 - 4 años)	3.09		4.13		4.13		3.28	3.07

Tabla 33. Periodicidades resultantes de los análisis wavelet con la XWT y la WTC entre la Diabetes y la Epilepsia.

otro lado, el GWS del análisis con la XWT del par DiaEpi-DiaDia (no incluido en esta tesis) aclara la presencia de la periodicidad de 2.1 años, ya que en él se observa una periodicidad de ~2 años, la cual fue omitida de los resultados significativos debido a que no sobrepasaba el 95% del nivel confianza. Por lo tanto, la periodicidad de 2.1 años en ambas enfermedades, puede ser resultado de la influencia de este marcador.

De acuerdo a estos análisis se concluyó que las periodicidades intrínsecas de la Epilepsia son únicamente de 1.16 y 4.13 años y de la Diabetes únicamente de 3.07 y 3.28 años. Por lo tanto, es posible utilizar a la Diabetes como enfermedad control para este estudio, ya que al compararla con los fenómenos del Clima Espacial nos dará resultados específicos para ésta (debido a sus periodicidades intrínsecas particulares) y que serán diferentes a los obtenidos con la Epilepsia.

5.4.1 Análisis wavelet entre la Diabetes y los fenómenos del Clima Espacial. Se realizaron análisis con la XWT y con la WTC entre pares construidos con los marcadores de la Diabetes y cada uno de los

marcadores de los fenómenos del Clima Espacial, con la finalidad de comparar y corroborar que los resultados obtenidos en esta investigación correspondieran solo a la Epilepsia. Las periodicidades más significativas de cada una de las combinaciones se encuentran en los ANEXOS I (XWT) y II (WTC).

Los resultados mostraron que diez pares construidos entre ConEpi y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial comparten periodicidades con diez pares construidos entre ConDia y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial. Los pares y las periodicidades compartidas fueron: *ConEpi-MS* y *ConDia-MS*__0.76 años; *ConEpi-RS* y *ConDia-RS*__0.98 años; *ConEpi-ICMEs DP* y *ConDia-ICMEs DP*__2.18 años; *ConEpi-ICMEs Tot* y *ConDia-ICMEs Tot*__0.98 y 2.18 años; *ConEpi-ICMEs NM* y *ConDia-ICMEs NM*__1.09 y 2.06 años; *ConEpi-ICMEs Rot* y *ConDia-ICMEs Rot*__0.93 y 1.53 años; *ConEpi-RCG* y *ConDia-RCG*__1.69 años; *ConEpi-GLEs* y *ConDia-GLEs*__1.46 años; *ConEpi-Índice Dst* y *ConDia-Índice Dst*__1.54 años; *ConEpi-Índice aa* y *ConDia-Índice aa*__1.61 años. La mayoría de las periodicidades que coinciden en estos pares se observan similares a las encontradas en los análisis con la XWT y la WTC del marcador número de consultas de ambas enfermedades (0.93, 1.5 y 3.09 años), por lo que estas coincidencias se pueden atribuir al efecto de este marcador y no al hecho de que las enfermedades se comporten de la misma manera frente a los fenómenos del Clima Espacial.

Los resultados mostraron también que tres pares construidos entre DiaEpi y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial compartían periodicidades con tres pares construidos entre DiaDia y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial. Los pares y las periodicidades compartidas fueron: *DiaEpi-MS* y *DiaDia-MS*__4.37 años; *DiaEpi-RCG* y *DiaDia-RCG*__4.37 años; *DiaEpi-Índice Dst* y *DiaDia-Índice Dst*__1.09 y 4.37 años. La periodicidad más representativa en estos casos es la de 4.37 años, la cual es similar a la encontrada en los análisis con la XWT y la WTC del marcador número de diagnósticos de ambas enfermedades (~4 años), por lo que se piensa que las coincidencias pueden haber sido generadas por el efecto del marcador.

Las periodicidades que se observaron compartidas entre las enfermedades y que no fueron justificables por efectos de los marcadores **Consultas** y **Diagnósticos**, fueron descartadas como coincidencias, ya que al realizar un análisis detallado de sus niveles y distribuciones de potencia, se observó que solo dos de las diez periodicidades compartidas entre ConEpi y ConDia tenían similitud, mientras las otras eran totalmente diferentes. Por lo tanto, solo estos dos casos (Índice Dst y GLEs) pueden ser tomados en cuenta como coincidencias reales entre las enfermedades. En el caso de las coincidencias encontradas entre DiaEpi y DiaDia las tres presentaron ~80% de similitud en sus niveles de potencia y distribuciones, por lo que en este marcador estas coincidencias fueron consideradas como significativas.

Finalmente, las seis periodicidades significativas compartidas entre las enfermedades pudieron ser justificadas, debido a que existen estudios biomédicos que han mostrado cierta relación entre la Epilepsia y la Diabetes tipo 1. Esta relación se ha considerado bidireccional y se ha atribuido a factores de riesgo compartidos como: anomalías metabólicas, enfermedad cerebrovascular y factores genéticos y autoinmunes (Sander *et al.*, 2016); y dado que para este estudio no se discriminó entre tipos de Diabetes, es probable que esta relación se esté reflejando en la presencia de periodicidades comunes.

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Periodicidades obtenidas a través de la CWT. Los resultados de los análisis con la CWT mostraron que las periodicidades intrínsecas más representativas de los marcadores utilizados en esta investigación fueron: ConEpi = 0.68, 1.09 y 1.64 años; DiaEpi = 0.57, 1.09 y 4.13 años; MS = 2.31 y 4.13 años; SF = 0.61, 1.09, 2.31 y 3.9 años; ICMEs DP = 1.30, 2.31 y 3.47 años; ICMEs Tot = 1.30, 2.31 y 3.47 años; ICMEs NM = 0.73, 1.16 y 1.84 años; ICMEs Rot = 0.54, 1.09, 2.18 y 3.9 años; ICMEs s/NM s/Rot = 0.61 y 1.30 años; RCG = 0.61, 1.54, 2.75 y 4.37 años; GLEs = 1.37 años; índice Dst = 0.65, 1.64 y 4.37 años; índice aa = 1.09, 1.64 y 4.13 años; índice Kp = 1.03 y 4.13 años; y RS = 0.68, 1.84 y 2.75 años.

De acuerdo a los grupos generados con los resultados de los GWSs se pudo señalar de manera preliminar que ConEpi no estaba relacionado con ningún marcador de los fenómenos del Clima Espacial, ya que fue el único miembro de su grupo. En el caso de DiaEpi se observó preliminarmente que podía estar relacionado con las MS, los RCG, la RS y los índices Dst y aa, ya que los GWSs de estos marcadores eran similares. Respecto a esto, cabe mencionar que al analizar los esquemas de las distribuciones y los niveles de potencia de cada periodicidad de este grupo, la RS poseía periodicidades con poca potencia y distribuciones muy pequeñas, además de que solo una de las tres periodicidades que presentaba era cercana a las que presentaban los otros miembros del grupo; por lo tanto, se pudo intuir que este marcador no era tan similar a DiaEpi (Tabla 34). Finalmente, es importante recalcar que las similitudes encontradas con la CWT no son un indicador fehaciente de que dos o más parámetros estén relacionados, ya que aunque las periodicidades sean iguales, su distribución y niveles de potencia pueden ser totalmente diferentes.

Grupos CWT	
Grupo	Marcador
1	DiaEpi
	MS
	RCG
	Índice Dst
	Índice aa
2	ConEpi
3	SF
4	Índice Kp
5	ICMEs DP
	ICMEs Tot
	ICMEs Rot
6	ICMEs NM
7	ICMEs s/NM s/Rot
	GLEs

Tabla 34. Grupos obtenidos con los GWSs de los análisis con la CWT.

6.2 Periodicidades obtenidas a través de la XWT y de la WTC. Los resultados de los análisis con la XWT y con la WTC mostraron que sí existen periodicidades en común entre los 13 marcadores de los fenómenos del Clima Espacial analizados y ConEpi. Las periodicidades más representativas de los pares, después de descartar periodicidades con poca significancia y de agrupar periodicidades muy cercanas, fueron: *ConEpi-MS*__1.46 años; *ConEpi-SF*__0.98, 2.39 y 4.13 años; *ConEpi-ICMEs DP*__1.03, 1.64, 2.18 y 3.9 años; *ConEpi-ICMEs Tot*__0.98, 1.64, 2.18 y 3.09 años; *ConEpi-ICMEs NM*__1.08, 1.73 y 2.06 años; *ConEpi-ICMEs Rot*__0.93, 1.64, 2.06, 2.28 y 4.13 años; *ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot*__1.54 y 1.61 años; *ConEpi-RCG*__1.03, 1.69 y 2.78 años; *ConEpi-GLEs*__0.93, 1.46, 1.61 y 3.22 años; *ConEpi-Índice Dst*__1.14, 1.54 y 2.51 años; *ConEpi-Índice aa*__1.08, 1.61 y 4.37 años; *ConEpi-Índice Kp*__0.98, 1.09, 1.53, 2.64 y 4.37 años; *ConEpi-RS*__1.78 años.

Los grupos formados con los GWSs producto de la XWT mostraron que el comportamiento de los pares ConEpi-ICMEs DP y ConEpi-ICMEs Tot fue muy similar. Lo anterior se atribuyó a que las series de tiempo de ambos marcadores son muy similares, ya que las ICMEs Tot señalan en un día específico la presencia del evento, mientras que las ICMEs DP señalan los días alrededor de este evento en los que se observó todavía perturbación en la magnetosfera, aumentando solo un poco cada valor de la serie de tiempo de las ICMEs Tot.

Otro grupo similar fue el de los pares ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot y ConEpi-GLEs. La similitud se atribuyó a la presencia de la periodicidad intrínseca de ~1.35 años de ambos parámetros.

En los grupos también se observó que los pares ConEpi-Índices Dst, aa y Kp y ConEpi-MS tenían la misma tendencia. Esto era esperado en el caso de los Índices, ya que los tres miden perturbaciones en el campo magnético terrestre, por lo que se espera que tengan congruencia entre sí. En el caso de las MS, esta similitud fue resultado de su periodicidad intrínseca de 4.13 años, muy similar a la de ~4 encontrada en los tres índices.

Por último, la similitud del grupo formado por ConEpi-RCG y ConEpi-RS se atribuyó a la presencia en ambos casos de periodicidades intrínsecas cercanas a 1.73 años (1.54 años para RCG y 1.84 años para RS) y 2.9 años (2.75 años en ambos casos).

Pares realizados con las ConEpi			
Grupos XWT		Grupos WTC	
Grupo	Marcador	Grupo	Marcador
1	SF	1	MS
2	ICMEs DP ICMEs Tot	2	SF ICMEs Rot
3	ICMEs NM	3	ICMEs DP ICMEs Tot ICMEs s/NM s/Rot
4	ICMEs Rot	4	ICMEs NM
5	ICMEs s/NM s/Rot GLEs	5	Índice Dst Índice aa Índice Kp RCG RS
6	Índice Dst Índice aa Índice Kp MS	6	GLEs
7	RCG RS		

Tabla 35. Grupos obtenidos con los GWSs de los análisis wavelet cruzados y de coherencia de los pares formados con ConEpi.

Los grupos formados con los GWSs producto de la WTC mostraron que el comportamiento de los pares ConEpi-SF y ConEpi-ICMEs Rot fue similar. Esto se atribuyó a la presencia de periodicidades intrínsecas ~1 año y ~2.3 años en ambos marcadores. Para SF de 1.09 y 2.31 años y para ICMEs Rot de 1.09 y 2.18 años.

ICMEs DP, ICMEs Tot y ICMEs s/NM s/Rot formaron otro grupo. La similitud entre los dos primeros pares se atribuye nuevamente a la similitud de las series de tiempo. En el caso ICMEs s/NM s/Rot se piensa que debe tener potencias similares a estos marcadores, además de la intrínseca de 1.30 años, pero con menor potencia, y que solo salieron a relucir al realizar los análisis con la WTC.

El último grupo similar estuvo formado por los pares entre ConEpi-Índices Dst, aa y Kp, ConEpi-RCG y ConEpi-RS. La similitud entre los índices por un lado y entre RCG y RS ha sido justificada anteriormente, sin embargo, la similitud conjunta se atribuye solo a la presencia de 3 picos en los GWSs. Finalmente, también se observó que los marcadores que permanecieron juntos en ambos análisis fueron ICMEs DP y ICMEs Tot, los índices Dst, aa y Kp y, aunque se unieron a otro grupo, RCG y RS; mientras que ICMEs NM permaneció solo en ambos análisis (Tabla 35).

Los resultados de los análisis con la XWT y con la WTC mostraron que solo existen periodicidades en común entre 12 de los 13 marcadores de los fenómenos del Clima Espacial analizados y DiaEpi. Las periodicidades más representativas de los pares, después de descartar periodicidades con poca significancia y de agrupar periodicidades muy cercanas, fueron: *DiaEpi-MS*__0.84, 1.69 y 4.37 años; *DiaEpi-SF*__0.93, 1.39, 1.78 y 3.7 años; *DiaEpi-ICMEs DP*__1.69 y ~3.6 años; *DiaEpi-ICMEs Tot*__1.69 y ~3.4 años; *DiaEpi-ICMEs NM*__1.19, 2.06 y ~3.4 años; *DiaEpi-ICMEs Rot*__1.87 y 3.9 años; *DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot*__1.25, 1.87 y 3.47 años; *DiaEpi-RCG*__0.93, 1.69 y 4.37 años; *DiaEpi-GLEs*__~1, 1.46 y 1.78 años; *DiaEpi-Índice Dst*__~1, 1.61, 2.17 y 4.37 años; *DiaEpi-Índice aa*__1.39 y 4.13 años; *DiaEpi-Índice Kp*__0.98, 1.61 y 4.13 años.

Los grupos formados con los GWSs producto de la XWT mostraron que el comportamiento de los pares *DiaEpi-MS*, *DiaEpi-RCG* y *DiaEpi-Índices Dst*, *aa* y *Kp* tenía la misma tendencia, lo cual se atribuyó a que todos estos marcadores presentaban intrínsecamente una periodicidad de ~4.2 años.

El otro grupo de marcadores similares formado en este análisis englobó a los pares *ConEpi-SF*, *ConEpi-ICMEs DP*, *Tot* y *Rot*. Esta similitud se atribuyó a que todos estos marcadores presentaron una periodicidad intrínseca de ~3.5 años.

Los grupos formados con los GWSs producto de la WTC mostraron que los pares formados entre *DiaEpi* y *MS*, *SF*, *RCG*, *GLEs*, índices *Dst*, *aa* y *Kp* y *RS* tenían comportamientos similares, lo cual se atribuyó a que estos marcadores (excepto los *GLEs*) presentaron periodicidades intrínsecas similares. En el caso de los *GLEs*, la similitud pudo deberse a que este marcador tenía periodicidades similares no observadas con la CWT, y que solo salieron a relucir con el análisis de la WTC.

Pares realizados con los DiaEpi			
Grupos XWT		Grupos WTC	
Grupo	Marcador	Grupo	Marcador
1	MS RCG Índice Dst Índice aa Índice Kp	1	MS SF RCG GLEs Índice Dst Índice aa Índice Kp RS
2	SF ICMEs DP ICMEs Tot ICMEs Rot	2	ICMEs DP ICMEs Tot
3	ICMEs NM	3	ICMEs NM
4	ICMEs s/NM s/Rot	4	ICMEs Rot
5	GLEs	5	ICMEs s/NM s/Rot

Tabla 36. Grupos obtenidos con los GWSs de los análisis wavelet cruzados y de coherencia de los pares formados con *DiaEpi*.

Otros marcadores que mostraron similar comportamiento fueron las *ICMEs DP* y las *ICMEs Tot*, lo cual se esperaba nuevamente debido a la similitud de sus series de tiempo.

Finalmente, también se observó que los marcadores que siempre permanecieron juntos fueron *MS*, *RCG* e índices *Dst*, *aa* y *Kp*, y *ICMEs DP* y *ICMEs Tot*; mientras que los marcadores que permanecieron solos fueron las *ICMEs NM* y las *ICMEs s/NM s/Rot* (Tabla 36).

6.3 Periodicidades más representativas entre la Epilepsia y los fenómenos del Clima Espacial. Las principales periodicidades comunes entre *ConEpi* y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial obtenidas en esta investigación fueron (Tabla 37):

Fenómenos del Clima Espacial	Periodicidades en común con ConEpi (años)	Distribuciones de las potencias más representativas	Tipo de relación
MS	1.46	Alrededor del mínimo solar 24 y mínimo solar 24	C
SF	0.98	Fase descendente ciclo 23, mínimo solar 24 y ~P2	C
	2.39	Fase descendente 23	C
	4.13	Ambos ciclos	C
ICMEs DP	1.03	Fase descendente ciclo 23 y mínimo solar 24	C
	<u>1.64</u>	Alrededor del mínimo solar 24 y mínimo solar 24	C
	2.18	Fase descendente ciclo 23 y fase ascendente ciclo 24	C
	3.9	Ambos ciclos	C
ICMEs Tot	0.98	Fase descendente ciclo 23 y mínimo solar 24	C
	<u>1.64</u>	Alrededor mínimo solar 24 y mínimo solar 24	C
	2.18	Fase descendente ciclo 23 y fase ascendente ciclo 24	C
	3.09	Mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	α
ICMEs NM	1.08	Poco antes del inicio del mínimo solar 24 y mínimo solar 24	C
	<u>1.73</u>	Mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	C - α
	2.06	Casi ambos ciclos	C - α
ICMEs Rot	0.93	Fase descendente ciclo 23 y ~P2	C
	<u>1.64</u>	Fase ascendente ciclo 24	C
	2.06	Ambos ciclos	C - $1/\alpha$
	2.28	Fase descendente ciclo 23	C
	4.13	Ambos ciclos	C - $1/\alpha$
ICMEs s/NM s/Rot	1.54	Casi ambos ciclos	C
	<u>1.61</u>	Poco antes del inicio del mínimo solar 24 y mínimo solar 24	C
RCG	1.03	Fase ascendente y descendente ciclo 24	C
	<u>1.69</u>	Mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	$1/\alpha$
	2.78	Ambos ciclos	C - α
GLEs	0.93	Fase descendente ciclo 23 y fase ascendente ciclo 24	C - $1/\alpha$
	1.46	Fase descendente ciclo 23 y ~P1	C
	<u>1.61</u>	Fase ascendente y descendente ciclo 24	C
	3.22	Ambos ciclos	C - α
Índice Dst	1.14	Casi ambos ciclos	C
	1.54	Fase descendente ciclo 23	C
	2.51	Fase descendente ciclo 23	$1/\alpha$
Índice aa	1.08	Casi ambos ciclos	C
	<u>1.61</u>	Ambos ciclos	C
	4.37	Ambos ciclos	C - α
Índice Kp	0.98	Fase descendente ciclo 23, mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	C
	1.09	Mínimo solar 24	C
	1.53	Fase descendente ciclo 23 e inicio de mínimo solar 24	C
	2.64	Fase descendente ciclo 23 e inicio de mínimo solar 24	$1/\alpha$
	4.37	Ambos ciclos	C - α
RS	<u>1.78</u>	Mínimo solar 24, fase ascendente y descendente ciclo 24	C

Tabla 37. Periodicidades en común más representativas entre los fenómenos del Clima Espacial y el número de ConEpi. C= compleja, α = en fase, $1/\alpha$ = en antifase.

De acuerdo a lo anterior, los fenómenos del Clima Espacial que fueron significativamente relacionados con ConEpi durante casi todo o durante todo el periodo estudiado (2002-2014) fueron: con relaciones complejas __SF, ICMEs DP y ICMEs s/NM s/Rot; con relaciones complejas y en fase __ICMEs NM, GLEs e Índice aa; con relaciones complejas y en antifase __ICMEs Rot e Índice Dst; con relaciones complejas, en antifase y en fase __RCG e Índice Kp.

Es importante mencionar que las periodicidades de 0.93, 1.53, 1.54 y 3.09 años fueron obtenidas al realizar los análisis wavelet cruzados y de coherencia del par ConEpi-ConDia, por lo que éstas periodicidades pueden estar mostrando la relación entre la serie de tiempo implícita en este marcador y los fenómenos del Clima Espacial, y no la relación directa con la Epilepsia.

Las principales periodicidades comunes entre DiaEpi y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial obtenidas en esta investigación fueron (Tabla 38):

Fenómenos del Clima Espacial	Periodicidades en común con DiaEpi (años)	Distribuciones de las potencias más representativas	Tipo de relación
MS	0.84	Fase descendente ciclo 23	C
	<u>1.69</u>	Fase ascendente ciclo 24	C
	4.37	Fase descendente ciclo 23 y mínimo solar 24	C
SF	0.93	Fase descendente ciclo 23	$\alpha - C$
	1.39	Fase descendente ciclo 23	$1/\alpha$
	<u>1.78</u>	Fase descendente ciclo 23	$1/\alpha$
	3.7	Ambos ciclos	C
ICMEs DP	<u>1.69</u>	Ambas fases descendentes ciclos 23 y 24	C
	~3.6	Casi ambos ciclos	C
ICMEs Tot	<u>1.69</u>	Ambas fases descendentes ciclos 23 y 24	C
	~3.4	Casi ambos ciclos	C
ICMEs NM	1.19	Fase descendente ciclo 23 y mínimo solar 24	C
	2.06	Ambos ciclos	C
	~3.4	Mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	C
ICMEs Rot	<u>1.87</u>	Ambos ciclos	$1/\alpha - C$
	3.9	Ambos ciclos	C
ICMEs s/NM s/Rot	1.25	Fase descendente ciclo 23 y ~P2	C
	<u>1.87</u>	Fase descendente ciclo 23	C
	3.47	Mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	C
RCG	0.93	Fase descendente ciclo 23, mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	$1/\alpha - C$
	<u>1.69</u>	Fase descendente ciclo 23	α
	4.37	Fase descendente ciclo 23 y mínimo solar 24	C
GLEs	~1	Fase descendente ciclo 23	$\alpha - 1/\alpha - C$
	1.46	Fase descendente ciclo 23	C
	<u>1.78</u>	Fase descendente ciclo 23 e inicio del mínimo solar 24	C
Índice Dst	~1	Fase descendente ciclo 23 y mínimo solar 24	C - $1/\alpha$
	<u>1.61</u>	Fase descendente ciclo 23	C
	2.17	Fase descendente ciclo 23	C
	4.37	Ambos ciclos	C
Índice aa	1.39	Fase descendente ciclo 23 y mínimo solar 24	C - α
	4.13	Ambos ciclos	$1/\alpha - C$
Índice Kp	0.98	Mínimo solar 24 y fase ascendente ciclo 24	C
	<u>1.61</u>	Fase descendente ciclo 23	C
	4.13	Ambos ciclos	$1/\alpha - C$

Tabla 38. Periodicidades en común más representativas entre los fenómenos del Clima Espacial y el número de DiaEpi. C= compleja, α = en fase, $1/\alpha$ = en antifase.

De acuerdo a lo anterior, los fenómenos del Clima Espacial que fueron significativamente relacionados con DiaEpi durante casi todo o durante todo el periodo estudiado (2002-2014) fueron: con relaciones en fase, complejas y en antifase __SF; con relaciones complejas __ICMEs DP, ICMEs Tot y ICMEs NM; con relaciones en antifase y complejas __ICMEs Rot e Índice Dst; con relaciones en antifase, en fase y complejas __Índice aa; con relaciones complejas y en antifase __Índice Kp.

Es importante mencionar que las periodicidades de 1.87 y 4.37 años fueron obtenidas también al realizar los análisis wavelet cruzados y de coherencia entre DiaDia y los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial, sin embargo, estas coincidencias se atribuyen a la posible relación existente entre las enfermedades descrita anteriormente.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones. Los resultados de esta investigación mostraron que:

- El marcador que más se relaciona con el comportamiento específico de la Epilepsia, es el número de diagnósticos de egreso, ya que el marcador número de consultas, puede estar afectado por una serie de tiempo implícita relacionada con el funcionamiento administrativo del hospital.
- Existen periodicidades significativas en común entre 12 marcadores de fenómenos del Clima Espacial y el marcador número de diagnósticos de egreso de la Epilepsia. La RS fue el fenómeno que no presentó relación. Estas periodicidades abarcaron entre 0.84 y 4.37 años y son consideradas en la actividad solar como Cuasi Bienales, relacionadas directamente con el funcionamiento del dínamo solar.
- Las periodicidades encontradas en esta comparación <1 año, entre 1 y 2 años y de 2.17 años, se distribuyeron principalmente en la fase descendente del ciclo solar 23. La periodicidad de 2.06 años abarcó ambos ciclos solares. Las periodicidades de ~3.5 años se observaron principalmente en el mínimo solar del ciclo 24 y en la fase ascendente del mismo ciclo, sin embargo, algunas veces abarcan parte del ciclo solar 23. Las periodicidades de ~4 años se observaron en su mayoría abarcando ambos ciclos.
- Los marcadores de los fenómenos del Clima Espacial que se relacionaron con la Epilepsia con periodicidades que abarcaron todo el periodo estudiado y que se consideraron como las más representativas en esta investigación fueron: SF, ICMEs DP, ICMEs Tot, ICMEs NM, ICMEs Rot, Índice Dst, Índice aa e Índice Kp. Las relaciones de estos marcadores con la Epilepsia fueron complejas, o bien, variaron entre estar en antifase y ser complejas, contrario a lo que se estableció en la hipótesis. Estos resultados se muestran congruentes ya que estos fenómenos están relacionados entre sí: Las ICMEs están casi siempre correlacionadas con SF muy fuertes y con grandes cantidades de energía (Gleber, 2017); las ICMEs, particularmente las que son rápidas y las que presentan rotaciones, son la principal causa de la mayoría de las perturbaciones en el campo geomagnético (Moldwin, 2008; Meyer, 2007); y las modificaciones en el campo geomagnético son registradas a través de los Índices Dst, aa y Kp.
- Dadas las características de la Epilepsia de presentarse como un incremento espontáneo y anormal de la actividad eléctrica neuronal, causado por descargas anormales sincrónicas y excesivas (Escobar, 2008; Fisher y Frost, 1991; Najm *et al.* 2001; ILAE, 1981; Martínez, 2008), y de acuerdo a todos los estudios señalados en los antecedentes de esta investigación, así como la información reportada en el capítulo II, es posible que las variaciones en el campo geomagnético y sus fenómenos asociados, puedan ser un factor externo que provoque en personas con Epilepsia algún tipo de reacción (crisis epiléptica); posiblemente por efectos de resonancia (reforzamiento de una oscilación al someter el sistema a oscilaciones de una frecuencia determinada) o interferencia (perturbación que puede interrumpir, degradar o limitar el rendimiento del sistema) entre los campos geoelectromagnéticos y

bioelectromagnéticos; los cuales podrían estar provocando mal funcionamiento molecular o fisiológico en el cerebro humano.

➤ Los resultados obtenidos en esta investigación son consistentes con otros estudios que han mostrado que existe una relación entre las perturbaciones geomagnéticas y la Epilepsia (Frey, 1994; Cherry, 2002; Belisheva *et al.*, 1995; Rajaram y Mitra, 1981; Stoupel *et al.*, 1991; Persinger y Psych, 1995; Sandyk y Anninos, 1992a y b; Sandyk, 1992; Bureau y Persinger, 1995; Mikulecky *et al.*, 1996; Karlov *et al.*, 1996; Selitskii *et al.*, 1999), y proporcionan una evidencia más de los efectos de fuentes externas sobre esta enfermedad.

➤ Los resultados de esta investigación pueden ser parte de trabajos futuros más detallados sobre los efectos del Clima Espacial sobre el funcionamiento cerebral humano, los cuales podrán contribuir en las consideraciones de viajes espaciales tripulados, ya sea por turismo o por investigación, dado que los futuros viajeros podrían ser también susceptibles a nivel cerebral al Clima Espacial fuera de la Tierra.

7.2 Reflexiones

Uno de los datos resultantes más interesantes de esta investigación fue la presencia constante en los resultados finales de la periodicidad de ~ 1.7 años, la cual ha sido anteriormente reportada en estudios de MS (Chowdhury *et al.*, 2010), SF (Velasco *et al.*, 2017), RCG (Pérez-Peraza y Juárez-Zuñiga 2015), GLEs (Velasco *et al.*, 2017) y algunos índices geomagnéticos (Mursula y Zieger, 2000); y además en el estudio de Soon *et al.* (2018) para la variabilidad cromosférica y fotométrica de la estrella HD 30495 y en el estudio de Kato *et al.* (2003) para rayos cósmicos en la Heliosfera externa.

Durante este estudio, esta periodicidad se observó por primera vez en los análisis wavelet continuos de ConEpi, ICMEs NM, índice Dst, índice aa y RS. Posteriormente, se observó en los pares ConEpi-ICMEs DP, ConEpi-ICMEs Tot, ConEpi-ICMEs NM, ConEpi-ICMEs Rot, ConEpi-ICMEs s/NM s/Rot, ConEpi-RCG, ConEpi-GLEs, ConEpi-Índice aa y ConEpi-RS; y en los pares DiaEpi-MS, DiaEpi-SF, DiaEpi-ICMEs DP, DiaEpi-ICMEs Tot, DiaEpi-ICMEs Rot, DiaEpi-ICMEs s/NM s/Rot, DiaEpi-RCG, DiaEpi-GLEs, DiaEpi-Índice Dst y DiaEpi-Índice Kp; analizados con las Transformadas Wavelet Cruzada y de Coherencia. Y finalmente fue observada al realizar los análisis wavelet de coherencia entre DiaEpi y DiaDia, por lo que se consideró representativa también en parámetros biológicos.

La presencia de esta periodicidad en muchos de los resultados obtenidos nos hace reflexionar sobre su importancia, tanto en parámetros biológicos como en parámetros relacionados con la actividad solar y en fenómenos generados en cuerpos celestes fuera del sistema solar; por lo que se ha llegado a considerar que esta periodicidad podría tener una importancia a nivel universal. Se deja abierto este campo de estudio para futuras investigaciones.

ANEXO I

ANÁLISIS XWT													
Fenómenos de Clima Espacial													
Datos	Manchas Solares	Ráfagas Solares	ICMEs DP	ICMEs Tot	ICMEs NIM	ICMEs Rot	ICMEs s/NM s/Rot	Rayos Cósmicos	GLEs	Índice Dst	Índice aa	Índice Kp	Radiación Solar
Consultas Epilepsia	1.09±0.3			1.09±0.18								1.09±0.3	
	2.45±0.4	1.16±0.15	1.64±0.3	1.64±0.3	1.73±0.3	1.64±0.2	1.54±0.3	1.16±0.1	1.46±0.3	1.16±0.13	1.16±0.13		1.73±0.4
	4.13±0.6	2.18±0.5	2.18±0.5	2.18±0.5		2.06±0.3		1.73±0.2					
Consultas Diabetes													
	2.31±0.25	1.54±0.25	2.18±0.34	2.18±0.23	1.95±0.4	1.54±0.19	1.46±0.25	1.54±0.16	1.46±0.25	1.54±0.3	1.54±0.3		
	3.68±0.4	3.47±0.4	3.47±0.4	3.47±0.4	3.47±0.3	3.47±0.3		3.68±0.45		3.68±0.4	3.68±0.4	3.68±0.45	3.68±0.5
Diagnóstico de Egreso Epilepsia													
	4.37±0.7	3.68±0.5	3.68±0.5	3.68±0.5	3.68±0.4	3.9±0.6	3.47±0.5	4.37±0.6		4.37±0.6	4.13±0.6	4.13±0.6	
Diagnóstico de Egreso Diabetes													
	4.37±1.0	3.47±0.5	3.28±0.55	3.28±0.6	3.47±0.45	4.13±1.0	3.09±0.4	4.37±0.5		4.37±0.4	4.37±0.69	4.37±0.9	

Tabla del ANEXO I. Resumen de las periodicidades más destacadas de cada uno de los GWSs obtenidos mediante la XWT para cada una de las combinaciones realizadas entre los marcadores de la Epilepsia y la Diabetes y los fenómenos del Clima Espacial.

ANEXO II

ANÁLISIS WTC													
Fenómenos de Clima Espacial													
Datos	Manchas Solares	Ráfagas Solares	ICMEs DP	ICMEs Tot	ICMEs NM	ICMEs Rot	ICMEs s/NM s/Rot	Rayos Cósmicos	GLEs	Índice Dst	Índice aa	Índice Kp	Radiación Solar
Consultas Epilepsia	0.76±0.28	0.98±0.25	1.03±0.23	0.98±0.2	1.08±0.24	0.93±0.25	1.08±0.25	1.03±0.22	0.73±0.13 0.93±0.26	1.14±0.7 2.51±0.4	1.08±0.2	0.98±0.2	0.57±0.05 0.62±0.18 1.08±0.2
	1.46±0.38 2.51±0.6	2.39±0.4	1.61±0.25 2.17±0.47	1.61±0.3 2.17±0.4	2.06±0.4	1.53±0.2 2.28±0.36	1.61±0.26	1.69±0.48 2.78±0.4	1.61±0.4	1.14±0.7 2.51±0.4	1.61±1.0	1.53±0.35 2.64±0.3	1.78±0.4 2.78±0.4
									3.22±1.0				
Consultas Diabetes	0.76±0.15 0.93±0.4	0.98±0.2	0.98±0.15	0.98±0.27	1.03±0.36	0.93±0.26	0.98±0.13	0.93±0.26	0.98±0.25	0.98±0.2	0.98±0.2	0.93±0.3	0.93±0.2
	2.17±1.0	1.69±0.37 2.28±0.4 2.78±1.7	1.53±0.35 2.28±0.24	1.53±0.4 2.28±0.36	2.06±0.35	1.53±0.25 2.17±0.2	1.69±0.6	1.69±0.38	1.53±0.6	1.53±0.3	1.61±0.35	1.69±0.5	1.46±0.26
			3.56±0.6	3.56±0.6	3.39±1.1	3.22±1.3	3.56±0.6						2.06±1.0
Egresos Epilepsia	0.84±0.3	0.93±0.2		1.08±0.23		0.96±0.2		0.93±0.3	0.93±0.46	0.98±0.17 1.03±0.22		0.98±0.25	0.96±0.29
	1.39±0.25 1.69±0.6	1.39±0.25 1.78±0.6	1.69±0.6	1.69±0.7	1.19±0.34 2.06±0.4	1.87±0.4	1.25±0.5 1.87±0.5	1.69±0.2	1.78±0.5	1.61±0.5 2.17±0.75	1.39±0.65	1.61±0.5	1.32±0.37 2.64±0.6
		3.74±1.0	3.56±1.0	3.39±0.75	3.39±0.7								
Egresos Diabetes	0.89±0.2	1.08±0.4	0.93±0.4	0.84±0.6	0.57±0.03 0.62±0.15 0.89±0.6	1.03±0.3	0.84±0.17	1.03±0.41	1.03±0.41	1.19±0.43	1.19±0.27	1.08±0.3	0.89±0.19
	1.14±0.25 2.06±0.6	2.17±0.64	1.53±0.34 1.96±0.5	1.61±0.08 2.06±0.4	1.78±0.4 2.92±0.2	2.06±0.34	1.32±0.3 1.39±0.4 2.06±0.46	1.19±0.38 2.64±0.85	1.53±0.44 2.92±0.85		2.51±0.5	1.25±0.25 2.51±0.6	1.53±0.4 2.51±1.0
	3.56±0.8	3.22±0.45	3.22±0.7	3.22±0.7	3.07±0.5								

Tabla del ANEXO II. Resumen de las periodicidades más destacadas de cada uno de los GWSs obtenidos mediante la WTC para cada una de las combinaciones realizadas entre los marcadores de la Epilepsia y la Diabetes y los fenómenos del Clima Espacial.

LITERATURA CITADA

- Adamec, R. y C. Stark-Adamec. (1983). Limbic kindling and animal behavior-implications for human psychopathology associated with complex partial seizures. *Biological Psychiatry*, 18(2):269-93.
- Alonso, M., Delgado, A., Tulio, M., Ochoa, A., Jara, A. y A. Rasmussen. (2008). Genética de las Epilepsias. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Antón-Tay, F. (1974). Melatonin: effects on brain function. *Advances in Biochemical Psychopharmacology*, 11(0):315-24.
- Antón-Tay, F., Díaz, J. y A. Fernández-Guardiola. (1971). On the effect of melatonin upon human brain. Its possible therapeutic implications. *Life Sciences*, 10(15):841-850.
- Armon, C., Radtke, R., Friedman, A. y D. Dawson. (1996). Predictors of outcome of epilepsy surgery: multivariate analysis with validation. *Epilepsia*, 37(9):814-21.
- Batchelor, L., Nance, J. y B. Short. (1997). An interdisciplinary team approach to implementing the ketogenic diet for the treatment of seizures. *Pediatric Nursing*, 23(5):465-71.
- Belisheva, N., Popov, A., Petukhova, N., Pavlova, L., Osipov, K., Tkachenko, S. y T. Baranova. (1995). Qualitative and quantitative assessment of exposure to geomagnetic field variations on the functional status of the human brain. *Biofizika*, 40(5):1005-12.
- Bell, G. y J. Sander. (2002). The epidemiology of epilepsy: the size of the problem. *Seizure*, 11(A):306-14.
- Burch, J. (2001). The fury of space storms. *Scientific American*, 284(4):86-94.
- Bureau, Y. y M. Persinger. (1995). Decreased latencies for limbic seizures induced in rats by lithium-pilocarpine occur when daily average geomagnetic activity exceeds 20 nanoTesla. *Neuroscience Letters*, 192(2):142-4.
- Caldecott-Hazard, S., Ackermann, R. y J. Engel. (1984). Opioid involvement in postictal and interictal changes in behavior. En: Fariello, R., Morselli, P., Lloyd, K., Quesney, L. y J. Engel (eds.). *Neurotransmitters, Seizures and Epilepsy II*. Raven Press, N. Y. Pp. 305-14.
- Calderón, R. (2008). Epilepsia mioclónica juvenil. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Camfield, C., Camfield, P. y P. Veugelers. (2002). Death in children with epilepsy: a population-based study. *Lancet*, 359(9321):1891-5.
- Chapman, A. (2000). Glutamate and Epilepsy. *The Journal of Nutrition*, 130(4):1043S-1045S.
- Charvátová, I. (2007). The prominent 1.6-year periodicity in solar motion due to the inner planets. *Annales Geophysicae*, 25(5):1227-1232.
- Cherry, N. (2002). Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar/Geomagnetic Activity. *Natural Hazards*, 26(3):279-331.
- Chowdhury, P., Khan, M. y P. Ray. (2010). Evaluation of the intermediate-term periodicities in solar and cosmic ray activities during cycle 23. *Astrophysics and Space Science*, 326(2):191-201.
- Clarke, E. y M. Clilverd. (2007). Is there a need to revise the aa index? Poster presented at XXIV IUGG. General Assembly, Perugia, Italy. IAGA Session: ASV039. Poster: 11946.
- Committee on Peaceful Uses of Outer Space Scientific and Technical Subcommittee. Working report of expert group C: Space Weather. Fifty-first session, Vienna. 10-12 February 2014. Long-term sustainability of outer space activities.

- Cordero, M., Lara, A., Maravilla, M., Mendoza, B., Valdés, J. y V. Velasco. (2013). *Introducción a la Física Espacial*. UNAM, México. Pp. 318.
- Crawford, P., West, C., Chadwick, D. y M. Shaw. (1986). Arteriovenous malformations of the brain: natural history in unoperated patients. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 49(1):1-10.
- Crooker, N., Joselyn, J. y J. Feynman. (1997). *Coronal Mass Ejections*. Geophysical Monograph Series, 99. American Geophysical Union. Washington DC.
- Daglis, I. (2001). *Space Storms and Space Weather Hazards*. NATO Science Series II: Mathematics, Physics and Chemistry - Vol. 38. Kluwer Academic Publishers. Pp. 482.
- De la Court, A., Breteler, M., Meinardi, H., Hauser, W. y A. Hofman. (1996). Prevalence of epilepsy in the elderly: the Rotterdam Study. *Epilepsia*, 37(2):141-7.
- Devinsky, O. (1998). Nonepileptic psychogenic seizures: quagmires of pathophysiology, diagnosis, and treatment. *Epilepsia*, 39(5):458-62.
- Dichter, M. (1997). Overview: The neurobiology of epilepsy. En: *Epilepsy: A comprehensive textbook*. Engel, J. y T. Pedley (eds.). Lippincott Williams and Wilkins. Pp. 2976.
- Dodson, W., DeLorenzo, R., Pedley, T., Shinnar, S., Treiman, D. y B. Wannamaker. (1993). Treatment of convulsive status epilepticus. Recommendations of the Epilepsy Foundation of America Working Group on Status Epilepticus. *JAMA*, 270(7):854-9.
- Engel, J. (1989). *Seizures and Epilepsy*. F.A. Davis Company. Philadelphia, U.S.A. Pp. 536.
- Engel, J. (1995). Concepts of epilepsy. *Epilepsia*, 36(S1):S23-9.
- Engel, J. y L. Rocha. (1992). Interictal behavioral disturbances: a search for molecular substrates. *Epilepsy research. Supplement*, 9:341-350.
- Engel, J., Bandler, R., Griffith, N. y S. Caldecott-Hazard. (1991). Neurobiological evidence for epilepsy-induced interictal disturbances. *Advances in Neurology*, 55:97-111.
- Engelborghs, S., D'Hooge, R. y P. De Deyn. (2000). Pathophysiology of epilepsy. *Acta Neurologica Belgica*, 100(4):201-13.
- Erlich, S. y M. Apuzzo. (1985). The pineal gland: anatomy, physiology, and clinical significance. *Journal of Neurosurgery*, 63(3):321-41.
- Escobar, A. (2008). Prólogo. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Feindel, W., Leblanc, R. y J. Villemure. (1996). History of the surgical treatment of epilepsy. En: *A history of neurosurgery*. Greenblatt, S., Dagi, T. y N. Epstein (eds.). American Association of Neurological Surgeons, Park Ridge, III, Chapter 23. Pp. 465-488.
- Fisher, R. y J. Frost. (1991). Epilepsy. *Journal of Nuclear Medicine*, 32:651-659.
- Foley, P., Cairncross, K. y A. Foldes. (1986). Pineal indoles: significance and measurement. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 10:273-285.
- Foufoula-Georgiou, E. y P. Kumar. (1994). *Wavelets in Geophysics*. Academic Press. U.S.A. Pp. 373.
- Frey, A. (1994). On the nature of electromagnetic field interactions with biological systems. *Landes*. Pp. 211.
- García, F., Millán, R. y Y. Peñaloza. (2008). Epidemiología clínica de la epilepsia. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.

- García, G. (2008). Manejo general de las crisis epilépticas. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- García, P. (1997). La epilepsia como problema de salud pública. En: *Epilepsia: Aspectos neurobiológicos, médicos y sociales*. Fera, A. (ed.). Ediciones del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. México.
- Garg, R. (1999). HIV infection and seizures. *Postgraduate Medical Journal*, 75(885):387-390.
- Gastaut, H. (1983). Classification of status epilepticus. En: *Status epilepticus: mechanisms of brain damage and treatment*. Delgado-Escueta, A., Wasterlain, C., Treiman, D. y R. Porter (eds.). NY: Raven Press. Pp.15-35.
- Gibberd, F. y M. Bateson (1974). Sleep epilepsy: its pattern and prognosis. *British Medical Journal*, 2:403-405.
- Gleber, M. (2017). CME Week: The Difference Between Flares and CMEs. NASA's Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Md. En línea: <https://www.nasa.gov/content/goddard/the-difference-between-flares-and-cmes>.
- Grinsted, A., Moore, J. y S. Jevrejeva. (2004). Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11:561-566.
- Hauser, W. y D. Hesdorffer. (1990). Incidence and prevalence. En: *Epilepsy: frequency, causes and consequences*. Hauser, W y D. Hesdorffer (eds.). Demos Medical Pub. New York, U.S.A. Pp. 1-51.
- Hildick-Smith, M. (1994). Late-onset epilepsy. *British Journal of Clinical Practice*, 48(2):87-90.
- Holschneider, M. (1995). *Wavelets: An Analysis Tool*. Oxford University Press, New York. Pp. 423.
- Hufnagel, A., Zentner, J., Fernandez, G., Wolf, H., Schramm, J. y C. Elger. (1997). Multiple subpial transection for control of epileptic seizures: effectiveness and safety. *Epilepsia*, 38(6):678-88.
- ILAE. (1981). Commission on Classification and Terminology of the ILAE. Proposal for revised clinical and electroencephalographic classification of epileptic seizures. *Epilepsia*, 22:489-501.
- ILAE. (1989). Commission on Classification and Terminology of the ILAE. Proposal for revised clinical and electroencephalographic classification of epileptic seizures. *Epilepsia*, 30:389-99.
- Irigoyen, M. (2008). Epilepsia del lóbulo temporal. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Jansen, F., Pirjola, R. y R. Favre. (2000). *Space Weather, Hazard to the Earth?* Swiss Re Publishing, Swiss Reinsurance Company, Zurich, Switzerland, Pp. 40.
- Janz, D. (1974). Epilepsy and the sleeping-waking cycle. En: *The Epilepsies: Handbook of Clinical Neurology*. Vinken, P. y G. Bruyn (eds.). Amsterdam: North-Holland Publishing. Pp. 457-490.
- Jenkins, G. y D. Watts. (1968). *Spectral Analysis and Its Applications*. Holden-Day, San Francisco. Pp. 525.
- Jevrejeva, S., Moore, J. y A. Grinsted. (2003). Influence of the Arctic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: The wavelet approach. *Journal of Geophysical Research*, 108(D21):4677.
- Johnston, M. (1996). Developmental aspects of epileptogenesis. *Epilepsia*. 37(S1):S2-9.
- Joya, L. (2008). Las repercusiones emocionales de la epilepsia. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Karlov, V., Selitskii, G. y N. Sorokina. (1996). The action of a magnetic field on the bioelectrical activity of the brain in healthy subjects and epilepsy patients. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii Imeni S.S. Korsakova*, 96:54-58.
- Kato, C., Munakata, K., Yasue, S., Inoue, K. y F. McDonald. (2003). A ~1.7-year quasi-periodicity in cosmic ray intensity variation observed in the outer heliosphere. *Journal of Geophysical Research*, 108(A10):1367.

- Kinsman, S., Vining, E., Quaskey, S., Mellits, D. y J. Freeman. (1992). Efficacy of the ketogenic diet for intractable seizure disorders: review of 58 cases. *Epilepsia*, 33(6):1132-6.
- Langdon-Down, M. y W. Brain. (1929). Time of day in relation to convulsions in epilepsy. *Lancet*, 213(5516):1029-1032.
- Liu, P. (1994). Wavelet spectrum analysis and ocean wind waves. *Wavelet Analysis and Its Applications*, 4:151.
- Llinás, R. y D. Paré. (1991). Of dreaming and wakefulness. *Neuroscience*, 44(3):521-535.
- Lothman, E. (1990). The biochemical basis and pathophysiology of status epilepticus. *Neurology*, 40:13-23.
- Lothman, E., Bertram, E. y J. Stringer. (1991). Functional anatomy of hippocampal seizures. *Progress in Neurobiology*, 37(1):1-82.
- Lowenstein, D., Bleck, T. y R. Macdonald. (1999). It's time to revise the definition of Status Epilepticus. *Epilepsia*, 40(1):120-2.
- Malkin, Z. y N. Miller. (2010). Chandler wobble: two more large phase jumps revealed. *Earth, Planets and Space*, 62(12):943-947.
- Marczynsky, T., Yamaguchi, N., Ling, G., y L. Grodzinska. (1964). Sleep induced by the administration of melatonin (5-methoxy-N-acetyltryptamine) to the hypothalamus in unrestrained cats. *Experientia*, 20(8):435-437.
- Martínez, H. (2008). Aspectos psiquiátricos en epilepsia. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Mayaud, P. (1972). The aa indices: A100-year series characterizing the magnetic activity. *Journal of Geophysical Research*, 77(34):6870-6874.
- Meyer, N. (2007). *Basics of Solar Wind*. Cambridge University Press, New York. Pp. 309-311, 479.
- Mikulecky, M., Moravcikova, C. y S. Czanner. (1996). Lunisolar tidal waves, geomagnetic activity and epilepsy in the light of multivariate coherence. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 29(8):1069-1072.
- Mody, I. (1993). The molecular basis of kindling. *Brain Pathology*, 3(4):395-403.
- Moldwin, M. (2008). *An introduction to Space Weather*. Cambridge University Press. Pp. 41-42.
- Moreno, A. (2008). Epilepsia y funciones cerebrales superiores. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. Méx. Pp. 661.
- Morgan, C. y M. Kerr. (2002). Epilepsy and mortality: a record linkage study in a U.K. population. *Epilepsia*, 43(10):1251-5.
- Morrell, F., Whisler, W. y T. Bleck. (1989). Multiple subpial transection: a new approach to the surgical treatment of focal epilepsy. *Journal of Neurosurgery*, 70(2):231-9.
- Muñoz, C., Taboada, J. y J. Balderrama. (2008). Neuroimagen en epilepsia. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Mursula, K. y B. Zieger. (2000). The 1.3-year variation in solar wind speed and geomagnetic activity. *Advances in Space Research*, 25(9):1939-1942.
- Najm, I., Ying, Z. y D. Janigro. (2001). Mechanisms of epileptogenesis. *Neurologic clinics*, 19(2):237-50.
- Newmark, M. y J. Penry. (1980). *Genetics of epilepsy: A Review*. Raven Press, New York. Pp. 1-19.
- Nilsson, L., Ahlbom, A., Farahmand, B., Asberg, M. y T. Tomson. (2002). Risk factors for suicide in epilepsy: a case control study. *Epilepsia*, 43(6):644-51.
- Núñez, L. (2008a). Introducción. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.

- Núñez, L. (2008b). Clasificación de las crisis epilépticas y de las epilepsias. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Núñez, L. (2008c) *Epilepsia y sociedad. Su repercusión en la calidad de vida*. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Olsen, R. y M. Avoli. (1997). GABA and epileptogenesis. *Epilepsia*, 38(4):399-407.
- Otaola, J., Mendoza, B. y R. Pérez. (2003). *El Sol y la Tierra. Una relación tormentosa. La ciencia para todos/114*. Fondo de Cultura Económica. Pp. 119.
- Pazo, J. (1979). Effects of melatonin on spontaneous and evoked neuronal activity in the mesencephalic reticular formation. *Brain Research Bulletin*, 4(6):725-730.
- Pellock, J. (1993). Seizures and epilepsy in infancy and childhood. *Neurologic Clinics*, 11(4):755-76.
- Pérez-Peraza, J. y A. Juárez-Zuñiga. (2015). Prognosis of GLEs of Relativistic Solar Protons. *Astrophysical Journal*, 803:27.
- Pérez-Peraza, J., Velasco, V., Zapotitla, J., Vashenyuk, E. y L. Miroshnichenko. (2009). Pulses with Modulation Analysis of Ground Level Proton Events. *Proceedings of the 31st ICRC*. Pp. 1-4.
- Persinger, M. y C. Psych. (1995). Sudden unexpected death in epileptics following sudden, intense, increases in geomagnetic activity: prevalence of effect and potential mechanisms. *International Journal of Biometeorology*, 38(4):180-187.
- Plascencia, N. (2008a). Estado epiléptico. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Plascencia, N. (2008b). *Epilepsia del lóbulo frontal y otras epilepsias focales extratemporales*. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México.
- Quiñones, S. (2008). Nuevos fármacos antiepilépticos. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Rafnsson, V., Olafsson, E., Hauser, W. y G. Gudmundsson. (2001). Cause-specific mortality in adults with unprovoked seizures. A population-based incidence cohort study. *Neuroepidemiology*, 20:232-6.
- Rajaram, M. y S. Mitra (1981). Correlation between convulsive seizure and geomagnetic activity. *Neuroscience Letters*, 24(2):187-191.
- Rajna, P. y C. Lona. (1989). Sensory stimulation for inhibition of epileptic seizures. *Epilepsia*, 30(2):168-74.
- Renfroe, J. y J. Wheless. (2002). Earlier use of adjunctive vagus nerve stimulation therapy for refractory epilepsy. *Neurology*, 59(6 S4):S26-30.
- Reppert, S. y D. Klein. (1980). Mammalian pineal gland: basic and clinical aspects. En: Motta, M. (ed.). *The endocrine function of the brain*. Raven Press, New York. Pp. 327-371.
- Romanelli, M., Morris, J., Ashkin, K. y L. Coben. (1990). Advanced Alzheimer's disease is a risk factor for late-onset seizures. *Archives of Neurology*, 47(8):847-50.
- Rosen, J. y R. Berman. (1985). Prolonged postictal depression in amygdala-kindled rats by the adenosine analog, L-phenylisopropyladenosine. *Experimental Neurology*, 90(3):549-57.
- Rosenstein, R., Estévez, A. y D. Cardinali. (1989). Time-dependent effect of melatonin on glutamic acid decarboxylase activity and CI influx in rat hypothalamus. *Journal of Neuroendocrinology*, 1(6):443-447.
- Rufo-Campos, M. (2002). Melatonin and epilepsy. *Revista de Neurología*, 35(S1): S51-8.

- Russell, C., Luhmann, J. y R. Strangeway. (2016). *Space Physics. An Introduction*. Chapter 5. The Solar Wind and heliosphere. Cambridge University Press. U.K. Pp. 145-193.
- Sander, J. y S. Shorvon. (1996). Epidemiology of the epilepsies. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 61(5):433-43.
- Sander, J., Novy, J. y M. Keezer. (2016). The intriguing relationship between epilepsy and type 1 diabetes mellitus. *Diabetología*, 59(7):1569-1570.
- Sandyk, R. (1992). Alpha rhythm and the pineal gland. *International Journal of Neuroscience*, 63(3-4):221-227.
- Sandyk, R. y P. Anninos. (1992a). Attenuation of epilepsy with application of external magnetic fields: a case report. *International Journal of Neuroscience*, 66(1-2):75-85.
- Sandyk, R. y P. Anninos. (1992b). Magnetic fields alter the circadian periodicity of seizures. *International Journal of Neuroscience*, 63(3-4): 265-274.
- Sauri, S. (2008). Fármacos tradicionales en Epilepsia. En: *Epilepsia. Una perspectiva Clínica*. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 521-542.
- Schold, C., Yarnell, P. y M. Earnest. (1977). Origin of seizures in elderly patients. *JAMA*, 238(11): 1177-1178.
- Selitskii, G., Karlov, V. y N. Sorokina. (1999). The influence of hypogeomagnetic field on bioelectric activity of the brain in epilepsy. *Zhurnal Nevrologii i Psikhatrii Imeni S.S. Korsakova*, 99(4):48-50.
- Shackleton, D., Westendorp, R., Kasteleijn-Nolst, D., de Craen, A. y J. Vandenbroucke. (2002). Survival of patients with epilepsy: an estimate of the mortality risk. *Epilepsia*, 43(4):445-450.
- Shaw, Sir N. (1928). *Manual of Meteorology*. Vol. II. Comparative Meteorology. The University Press. Cambridge, England. Pp. 445.
- Shea, M. y D. Smart. (1993). History of Energetic Solar Protons for the Past Three Solar Cycles Including Cycle 22 Update. En: *Biological Effects and Physics of Solar and Galactic Cosmic Radiation*. Part B. Swenberg, C., Horneck, G. y E. Stassinopoulos (eds.). Springer USA. Pp. 352.
- Sheng, Y. (1996). Wavelet transform. En: *The Transforms and Applications Handbook*. Poularikas, A. (ed.). CRC Press, Boca Raton, FL.
- Sirven, J. (1998). Epilepsy in older adults: causes, consequences and treatment. *Journal of the American Geriatrics Society*, 46(10):1291-301.
- Sizonenko, P., Moore, D., Paunier, L., Beaumanoir, A. y A. Nahory. (1979). Melatonin secretion in relation to sleep in epileptics. *Progress in Brain Research*, 52:549-551.
- Soon, W., Velasco, V., Baliunas, S., Egeland, R. y G. Henry. (2018). Co-variations of chromospheric and photometric variability of the Young Sun analog HD 30495: Evidence for and interpretation of mid-term periodicities.
- Sperling, M. (2001). Sudden Unexplained Death in Epilepsy. *Epilepsy Currents*, 1(1):21-23.
- Spratling, W. (1904). *Epilepsy and its treatment*. Saunders Company, Philadelphia.
- Stevens, J. (1982). Sleep is for seizures: a new interpretation of the role of phasic events in sleep and wakefulness. En: *Sleep and epilepsy*. Sternman, M., Shouse, M. y P. Passount (eds.). Academic Press, New York, Pp. 249-264.
- Stoupe, E., Martfel, J. y Z. Rotenberg. (1991). Admissions of patients with epileptic seizures (E) and dizziness (D) related to geomagnetic and solar activity levels: differences in female and male patients. *Medical Hypotheses*, 36(4):384-388.

- Suástegui, R. (2008). Crisis de inicio tardío. En: Epilepsia. Una perspectiva Clínica. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- SWPC (2011). NOAA / Space Weather Prediction Center. The K-index. Descargado de <https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/images/u2/TheK-index.pdf>.
- Thomas, R. (1997). Seizures and epilepsy in the elderly. Archives of Internal Medicine, 157:605-17.
- Torrence, C. y G. Compo. (1998). A Practical Guide to Wavelet Analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 79(1):61-78.
- Torrence, C. y P. Webster. (1999). Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system. Journal of Climate, 12(8):2679-2690.
- Towne, A., Waterhouse, E., Boggs, J., Garnett, L., Brown, A., Smith, J. y R. DeLorenzo. (2000). Prevalence of nonconvulsive status epilepticus in comatose patients. Neurology. 54(2):340-5.
- Urbanska, E., Czuczwar, S., Kleinrok, Z. y W. Turski. (1998). Excitatory amino acids in epilepsy. Restorative Neurology and Neuroscience, 13(1-2):25-39.
- Velasco, V., Pérez, J., Soon, W. y J. Márquez. (2017). The quasi-biennial oscillation of 1.7 years in ground level enhancement events. New Astronomy, 60:7-13.
- Venta, J. (2008). Crisis neonatales. En: Epilepsia. Una perspectiva Clínica. Núñez, L., Plascencia, N. y J. Malagón (eds.). Editorial PRADO S.A. de C.V. México, D.F. Pp. 661.
- Vourlidis, A., Subramanian, P., Dere, K. y R. Howard. (2000). Large-angle spectrometric coronagraph measurements of the energetics of coronal mass ejections. Astrophysical Journal, 534:456-467.
- Wilson, B., Leung, F., Buschbom, R., Stevens, R., Anderson L. y R. Reiter. (1988). Electric fields, the pineal gland and cancer. En: The Pineal Gland and Cancer. Gupta, D., Attanasio, A. y R. Reiter (eds.). Brain Research Promotion, London/Tübingen.
- Yagi, K. (1995). Surgery for intractable epilepsy: selection and presurgical evaluation. Rinsho Shinkeigaku, 35(12):1356-60.

FUENTES DE IMÁGENES

- Figura 1, modificada de <http://m.palacios.en.eresmas.net/Hertzprung-Russell.html>.
- Figura 2, modificada de <https://listas.20minutos.es/lista/tormentas-solares-251704/>
- Figura 3A, obtenida de <http://www.jivamedia.com/SolarEclipse2001/solar-eclipse-2001.html>. Figura 3B, obtenida de <http://dailysolar.weebly.com/total-solar-eclipse-2008.html>.
- Figura 4A y 4B, obtenidas de <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/understanding-the-magnetic-sun>.
- Figura 5, modificada de Hinode Image of Sunspot/NASA, https://www.nasa.gov/centers/marshall/history/hinode_140923.html.
- Figura 6, modificada de <https://xochipilli.blog/category/comunidad-arco-iris/page/22/>.
- Figura 7, modificada de M6.1-Class Solar Flare on Dec. 4, 2014. Crédito: NASA/SDO. Obtenida de <https://www.nasa.gov/content/goddard/m6.1-class-solar-flare-on-dec-4-2014>.
- Figura 8, modificada de What is a coronal mass ejection or CME? Crédito: SOHO ESA & NASA. Obtenida de <https://www.nasa.gov/content/goddard/what-is-a-coronal-mass-ejection>.
- Figura 9, modificada de Campo Magnético del Sol. Crédito: Steve Suess (NASA/MSFC). Obtenida de http://www.spaceweather.com/glossary/imf_spanish.html.

- Figura 10, obtenida de Miserlou de Wikipedia en inglés - <http://helios.gsfc.nasa.gov/solarmag.html>.
- Figura 11, modificada de Heliospheric-current-sheet.gif. Crédito: NASA. Obtenida de https://es.wikipedia.org/wiki/Espiral_de_Parker#/media/File:Heliospheric-current-sheet.gif.
- Figura 12, obtenida y modificada de Zurbuchen, T. y I. Richardson (2006). Space Sci. Rev. 123, 31. Crédito: Zurbuchen and Richardson, 2006.
- Figura 13, obtenida y modificada de Russell, C., Luhmann, J. y R. Strangeway. (2016). Space Physics. An Introduction. Chapter 5. The Solar Wind and heliosphere. Cambridge University Press. Reino Unido. Pp. 159. Crédito: Pino y Gosling, 1999.
- Figura 14, obtenida en línea de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/126/htm/sec_2.htm. Crédito: Bravo, S. (1997). Plasmas en todas partes. Fondo del Cultura Económica. D.F. México.
- Figura 15, modificada de Moldwin, M. (2008). An introduction to Space Weather. Cambridge University Press. Pp. 55.
- Figura 16, modificada de Moldwin, M. (2008). An introduction to Space Weather. Cambridge University Press. Pp. 59.
- Figura 17, obtenida de Sugiura, M. y T. Kamei. (1991). IAGA Bulletin No. 40. Equatorial Dst Index (1957-1986). International Union of Geodesy and Geophysics Association of Geomagnetism and Aeronomy. ISGI Publications Office, Francia; y de http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/200209/index.html.
- Figura 18, obtenida de <https://www.swpc.noaa.gov/products/planetary-k-index>. Créditos: NOAA/ SWPC Boulder, CO USA.
- Figura 19, obtenida de Clarke, E. y M. Clilverd. (2007). Is there a need to revise the aa index?. Poster presented at XXIV IUGG. General Assembly, Perugia, Italy. IAGA Session: ASV039. Poster: 11946; y de Mayaud, P. (1972). The aa índices: A100-year series characterizing the magnetic activity. J. Geophys. Res., 77:6870-6874; http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/data/magnetic_indices/aa_index.html.
- Figura 20, obtenida y modificada de Meyer, N. (2007). Basics of Solar Wind. Cambridge University Press, New York. U.S.A. Pp. 388.
- Figura 21, modificada de Representation of the East (EEJ) and West (WEJ) auroral electrojet, INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: <http://roma2.rm.ingv.it>. Accessed on 21st October 2014.
- Figura 22, obtenida de Astronomy Picture of the day en <https://apod.nasa.gov/apod/ap060814.html>. Crédito: Simon Swordy (U. Chicago), NASA.
- Figura 23, obtenida de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_spectrum_en.svg. Créditos: Wikimedia Commons.
- Figura 24, obtenida de <https://www.epilepsy.com/learn/triggers-seizures>. Epilepsy Foundation.
- Figura 25, obtenida de <https://www.psicoadictiva.com/blog/la-epilepsia-signos-sintomas/>. Créditos: La Epilpsia, Signos y Síntomas.