

DOI: 10.24850/j-tyca-2026-02-06

Artículos

Dinámica del sistema solar y sus posibles efectos en eventos meteorológicos extremos en México

Dynamics of the Solar system and its possible effects on extreme weather events in Mexico

Daniel Mendoza-Cariño¹, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9807-5884>

Mayra Mendoza-Cariño², ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3253-9268>

Demetrio Salvador Fernández-Reynoso³, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1734-3152>

¹Colegio de Postgraduados, Postgrado de Hidrociencias, Estado de México, México, danielmendozac21@gmail.com

²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, mayra.mendoza@zaragoza.unam.mx

³Colegio de Postgraduados, Postgrado de Hidrociencias, Estado de México, México, demetrio@colpos.mx

Autor para correspondencia: Demetrio Salvador Fernández-Reynoso, demetrio@colpos.mx



Resumen

La rotación de la Tierra es inconstante, el eje de dirección y la velocidad cambian con el tiempo, por lo que la duración del día (LOD) experimenta cambios de milisegundos; dicha velocidad influye en el clima terrestre. El objetivo del presente estudio fue determinar la existencia de las relaciones entre LOD, las alineaciones planetarias (AP) y el clima terrestre. La hipótesis fue que la ocurrencia de AP en las que interviene la Tierra influye en el comportamiento de LOD, ocasionando variaciones en el clima terrestre a escalas anual y mensual. La metodología consistió en el tratamiento de datos de LOD, velocidad del viento (VV) y precipitación de México del periodo 2000-2015; se realizaron sumas acumuladas de 61 días para definir variaciones en LOD, VV, precipitación y fuerza de gravedad resultante; se hicieron promedios móviles de 7, 15 y 29 días para suavizar gráficamente los resultados, que se compararon con la VV de eventos tropicales a escala global, con las AP (determinadas con el *software CELESTIA*), y con la precipitación en la república mexicana (1962-2015). Los resultados indicaron correspondencias: recíprocas entre LOD y la VV en eventos tropicales a nivel global e interanual; inversa entre AP con LOD (escala interanual) y con VV (escala interanual); homólogas entre AP y VV (escala anual), y entre AP con la precipitación en México. Este trabajo contribuye a la generación del conocimiento de la ciencia y al entendimiento de factores astronómicos que operan sobre el clima terrestre.

Palabras clave: ciencias del espacio, climatología, geodinámica, gravitación, mecánica celeste, precipitación, zonas climáticas.

Abstract

The Earth's rotation is inconstant, the direction axis and speed change over time so the length of day (LOD) experiences changes of milliseconds; This speed influences the Earth's climate. The objective of the present study was to determine the existence of relationships between LOD, planetary alignments (PA) and the Earth's climate. The hypothesis was that the occurrence of PAs in which the Earth intervenes influences the behavior of LOD, causing variations in the Earth's climate on annual and monthly scales. The methodology consisted of the treatment of LOD, wind speed (WS) and precipitation data from Mexico from the period 2000-2015: accumulated sums of 61 days were made to define variations in LOD, WS, precipitation and resulting force of gravity; moving averages of 7, 15 and 29 days were made to graphically smooth the results. Those that were compared with the WS of tropical events on a global scale, with the PA (determined with the CELESTIA software), and with precipitation in the Mexican Republic (1962-2015). The results indicated correspondences: reciprocal between LOD and WS in tropical events at a global and interannual level; inverse between PA with LOD (interannual scale) and with WS (interannual scale); homologous between PA and WS (annual scale), and between PA with precipitation in Mexico. This work contributes to the generation of scientific knowledge and the understanding of astronomical factors that operate on the Earth's climate.

Keywords: Celestial mechanics, climatic zones, climatology, geodynamics, gravitation, precipitation, space sciences.

Recibido: 13/09/2024

Aceptado: 14/06/2025

Publicado *ahead of print*: 09/07/2025

Versión final: 01/03/2026

Introducción

La Tierra es un sistema dinámico conformado por el manto terrestre, los océanos y la atmósfera, con fases sólidas, líquidas y gaseosas, sujetas a movimientos convectivos que producen movimientos tectónicos, corrientes marinas y viento, respectivamente. Por otra parte, la Tierra experimenta fuerzas externas debidas a la atracción gravitacional del Sol, la Luna y los planetas del sistema solar (Gross, 2007).

La rotación de la Tierra es inconstante: el eje de dirección y la velocidad de rotación (VR) cambian con el tiempo (Martínez, Lorenzo, & Alvarez, 2017). La VR experimenta pequeños cambios en LOD, los cuales corresponden a variaciones de milisegundos (ms) y son mayores en el sentido del eje de rotación de la Tierra (movimiento polar) (Dickey, Marcus, Hide, Eubanks, & Boggs, 1994). Dichas fluctuaciones se han registrado a través de observaciones históricas de más de 2 500 años (Stephenson, 2003); destacan las investigaciones de Munk y Revelle (1952); Stephenson y Morrison (1984); Stephenson, Morrison y Smith (1995); Mörner (1991), y Runcorn (1991), entre otros. Desde 1780 se dispone de observaciones obtenidas de eclipses, que contribuyeron a determinar las fluctuaciones decenales en la VR terrestre. Al respecto, Stephenson y Morrison (1984), y Stephenson *et al.* (1995) analizaron datos históricos de casi 700 años a.C., mientras que Stephenson (1977)

detalló los eclipses históricos y analizó las variaciones de la rotación terrestre.

Los cambios en LOD afectan la VR de la Tierra y producen efectos entre el núcleo terrestre, la corteza, los océanos y la atmósfera (Hide & Dickey, 1991). Las variaciones en la VR (por cambios en LOD) se asocian con mareas, terremotos y eventos meteorológicos e hidrométricos extremos por variaciones en los movimientos de las masas de aire (Stephenson, 2003). Las fluctuaciones en la rotación de la Tierra generan movimientos atmosféricos como el fenómeno "El Niño" ocurrido en los años 1982-1983, que registró la mayor variabilidad interanual observada en la tasa de rotación de la Tierra, y anomalías en la tropósfera y estratósfera, como el debilitamiento generalizado de los vientos ecuatoriales del este y un fortalecimiento de las corrientes chorro subtropicales del oeste (Mesa, 2002). Durante el evento de El Niño de 1982 se produjo un incremento en LOD asociado con un aumento del nivel del mar en la zona ecuatorial (20 cm) y con la profundidad de la termoclina (Dickey *et al.*, 1994).

Entre las modificaciones en LOD hay fenómenos astronómicos, como la precesión orbital de la Luna (Li, Zong, & Zhang, 2011) y las AP; las mareas lunares y solares, a través de levantadas en los océanos y en el cuerpo sólido de la Tierra; y la marea atmosférica semidiurna, que es una contribución solar adicional (Stephenson, 2003).

Objetivos e hipótesis

La VR es uno de los múltiples factores que influyen en las características del clima en el planeta (Kurbasova, Korsakova, Rybalova, & Shlikar, 2011). Por ejemplo, el tirón gravitacional de Venus y Júpiter es capaz de cambiar el clima en la Tierra, pues alarga su órbita (Kent *et al.*, 2018).

Por lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue determinar si existe una relación entre la duración del día, las AP y el clima terrestre; ello, para contribuir al conocimiento de la ciencia. Los objetivos particulares fueron determinar las posibles relaciones entre:

1. LOD y el comportamiento de la velocidad del viento en eventos tropicales a escala global.
2. Las AP en las que interviene la Tierra y el comportamiento de la duración del día (LOD).
3. Las AP en las que interviene la Tierra con las variables meteorológicas, velocidad del viento en eventos tropicales a nivel global, y la precipitación en la república mexicana.

La hipótesis general fue que la ocurrencia de las AP en las que interviene la Tierra influye en el comportamiento de LOD, lo que, a su vez, ocasiona variaciones en el clima terrestre a escala anual y mensual. Las hipótesis particulares fueron:

1. Cuando ocurre AP con la Tierra, se desencadena una reacción energética a gran escala, que provoca el aumento de la velocidad del viento en eventos tropicales a nivel global.
2. Las AP en las que interviene la Tierra influyen en la duración del día (LOD).
3. La variación de LOD provoca fluctuaciones en la velocidad del viento durante eventos tropicales a nivel global.

Materiales y métodos

La metodología se dividió en dos etapas, según el tratamiento de datos: para la determinación a escala global de las relaciones entre LOD, VV, AP y fuerza resultante de gravedad (Figura 1); para el establecimiento a escala nacional de las relaciones entre precipitación, AP y eventos meteorológicos extremos.

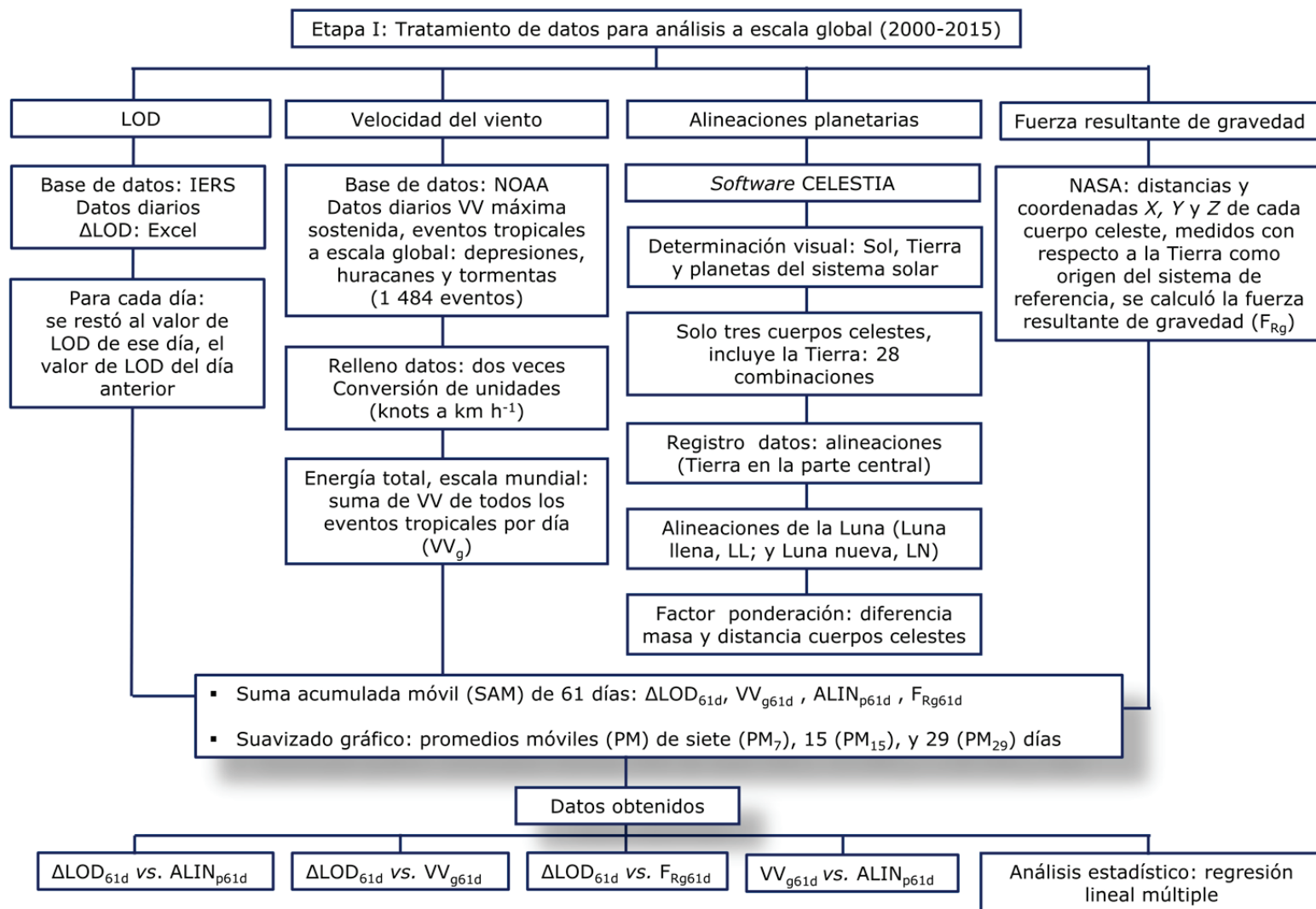


Figura 1. Etapa I de la metodología. IERS (2018), base de datos del *Earth rotation and reference systems*; Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA); VV, velocidad del viento. Variables: LOD, duración del día. En los siguientes casos, sumas acumuladas móviles de 61 días de: ALIN_p, alineaciones planetarias ponderadas por cada día del registro; ΔLOD_{61d}, duración del día; F_{Rg61d} fuerza resultante de gravedad; VV_{g61d}, velocidad máxima de viento sostenido global.

Etapa I

Tratamiento de datos: LOD

A partir de la base de datos del *International Earth Rotation and Reference Systems* (IERS) (IERS, 2018), se obtuvieron datos diarios de LOD (medidos en s) del periodo 2000-2015. A partir de estos registros se obtuvo ΔLOD para cada día del registro; se restó al valor de LOD de ese día aquel valor del día anterior. Para observar el comportamiento acumulado de ΔLOD , se realizó una suma acumulada móvil (SAM) de 61 días (ΔLOD_{61d}). Es decir, se sumaron los valores de ΔLOD de los 30 días previos al día central, el valor de éste y de los 30 días consecutivos (en total, 61 días).

A fin de suavizar gráficamente los datos de ΔLOD_{61d} , se utilizaron promedios móviles (PM) de 7 (PM_7), 15 (PM_{15}) y 29 (PM_{29}) días (en ese orden y un par de veces cada uno). El procedimiento de suavizado se aplicó en VV, AP y fuerza de gravedad resultante. En cada uno de esos casos, el PM consistió en promediar los valores de ΔLOD_{61d} de los días próximos al "día central", incluyendo el valor de éste. Es decir, en el PM_7 se consideraron los valores de ΔLOD_{61d} de los tres días previos al día central, de éste y de los tres días siguientes (en total, siete días); para el PM_{15} , se tomaron los valores de ΔLOD_{61d} de los siete días previos al día central, el valor de éste y de los siete días consecutivos (en total, 15 días), y así, sucesivamente. Los datos obtenidos de la secuencia de aplicaciones de los PM se compararon con las variables relacionadas con la VV de eventos tropicales y con las AP.

Tratamiento de datos: velocidad de viento

Con información de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) (NOAA, 2018), se obtuvieron los datos diarios de las VV máxima sostenida de diversos eventos tropicales (tormentas, depresiones y huracanes) a escala global del periodo 2000-2015, considerándose 1 484 eventos tropicales.

Debido a la falta de información de algunos días, el registro de éstos se complementó mediante un "relleno de datos", en el que se utilizaron los valores promedio de VV de un día antes y el posterior al día sin registro. En la ausencia de alguno de esos valores, se tomó el valor más cercano. El proceso se repitió dos veces, porque se detectó la falta de más de dos datos consecutivos. La conversión de unidades de la VV de knots a $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ se realizó con la Ecuación (1) (NOAA, 2007):

$$1 \text{ knot} = \frac{1.852 \text{ km}}{h} \quad (1)$$

Para estimar de la energía generada asociada con los eventos tropicales ocurridos a escala global por día, se sumaron los valores de VV de todos los eventos (velocidad máxima de viento sostenido global, VV_g). Con esta información se creó un registro de datos diarios, continuos y acumulados del periodo 2000-2015. De forma análoga a LOD, se realizaron las SAM_{61d} para VV_g , obteniéndose VV_{g61d} para cada día de registro. Con el fin de observar el comportamiento de los valores de VV_{g61d} y "suavizar" el comportamiento gráfico de los datos generados, se hicieron PM_7 , PM_{15} y PM_{29} ; estos PM permitieron establecer relaciones de VV con LOD y con las AP.

Tratamiento de datos: alineaciones planetarias

Con el *software CELESTIA 1.6.1* (Laurel, 2011) se determinaron visualmente las alineaciones entre el Sol, la Tierra y demás planetas del sistema solar, correspondientes al periodo 1962-2015. Las trayectorias de los planetas se observaron en escala real y en un rango de tiempo continuo. Así, se establecieron las AP para el periodo de tiempo señalado. En la determinación de las AP solo se consideraron tres cuerpos celestes, uno de los cuales fue la Tierra, por lo que se obtuvieron 28 posibles combinaciones (Tabla 1).

Tabla 1. Combinaciones de alineaciones planetarias en las que intervino la Tierra.

Cuerpos celestes en alineación con la Tierra ^p						
Sol	Mercurio	Venus	Marte	Júpiter	Saturno	Urano
S-Me	Me-V	V-Ma	Ma-J	J-Sa	Sa-U	U-N
S-V	Me-Ma	V-J	Ma-Sa	J-U	Sa-N	----
S-Ma	Me-J	V-Sa	Ma-U	J-N	----	----
S-J	Me-Sa	V-U	Ma-N	----	----	----
S-Sa	Me-U	V-N	----	----	----	----
S-U	Me-N	----	----	----	----	----
S-N	----	----	----	----	----	----

J = Júpiter
Ma = Marte
Me = Mercurio
N = Neptuno
S = Sol
Sa = Saturno
U = Urano
V = Venus.

^pNo indica el orden de los cuerpos celestes en las alineaciones

Gráficamente, se detectaron las AP con el programa *CELESTIA*: se consideró a la Tierra en posición central, un segundo cuerpo fijo y se buscó la alineación con un tercer cuerpo celeste. El segundo cuerpo varió de acuerdo con las combinaciones establecidas en la Tabla 1. A partir de lo anterior, se elaboró un registro de datos de todas las AP; se identificaron aquellas en las que la Tierra o el Sol se posicionaron en la parte central.

Como el programa *CELESTIA* utiliza una escala real de las distancias interplanetarias, se presentó una diferencia significativa en la proporción de tamaños y distancias entre los planetas del sistema solar y la Luna, lo que imposibilitó la observación de las alineaciones que la involucran. Por ello, se consideraron las alineaciones entre la Tierra, la Luna y el Sol. La información relacionada con las alineaciones de la Luna (Luna llena, LL. y Luna nueva, LN) se consultó de las efemérides lunares (Ideal, 2018). En total, se tomaron en cuenta 30 tipos de AP: las 28 combinaciones mencionadas en la Tabla 1 más LN y LL.

Luego se cuantificaron las AP que se produjeron por día para el periodo señalado, las cuales no necesariamente fueron colineales. Es decir, las líneas imaginarias que forman las alineaciones se pudieron cruzar en la Tierra o bien tenerla como vértice. Así, se presentaron casos en los que hasta cinco cuerpos celestes estuvieron alineados colinealmente con la Tierra. El registro de AP se comparó con las series de datos generadas de LOD y VV.

Las diferencias de masa y de distancia de los cuerpos involucrados entre los diversos tipos de AP podrían impactar en los valores de LOD y de VV registrados en la Tierra. Bajo la premisa "a mayor masa del cuerpo

celeste y menor distancia con respecto a la Tierra, mayor influencia en LOD y en VV", en este trabajo se propuso un factor de ponderación (FP) que resaltara la importancia de los cuerpos masivos y su cercanía con la Tierra, además de la posición central de la Tierra en las AP.

La posición central de la Tierra en las AP fue relevante, pues los cuerpos celestes ejercen una influencia "opuesta" sobre el cuerpo central en la alineación. Esto muestra un contraste importante en la correspondencia interplanetaria con respecto al resto de las AP. Ese aspecto se refleja en la variación del FP (al colocar signo negativo en la fórmula).

Con información de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (NASA, 2018), se consideraron los valores de masa de los cuerpos celestes (valores constantes) y sus coordenadas X , Y , Z con respecto a la Tierra (valores que cambian diariamente) para elaborar el FP. Las distancias diarias entre cada cuerpo celeste y la Tierra se calcularon con sus respectivas coordenadas X , Y , Z (la Tierra fue el sistema de referencia):

$$dist_{ni} = \sqrt{(X_{ni})^2 + (Y_{ni})^2 + (Z_{ni})^2} \quad (2)$$

Donde:

$dist_{ni}$ = distancia del cuerpo n a la Tierra, para el día i (km)

Con base en los valores de masa de los cuerpos celestes y sus distancias diarias con respecto a la Tierra, se construyó el FP para las AP:

$$= \left(\frac{m_1}{d_{1i}} \pm \frac{m_2}{d_{2i}} \right) \left(\frac{d_{máx_i}}{m_{total}} \right) \quad (3)$$

Donde:

m_1 y m_2 = masas de dos cuerpos celestes alineados con la Tierra (kg)

d_{1i} y d_{2i} = distancias de los cuerpos celestes a la Tierra para el día i de la alineación (km)

$d_{máx_i}$ = distancia máxima entre los tres cuerpos para el día i

$m_{total} = m_1 + m_2$

El signo (+) se usó cuando la Tierra estuvo en el extremo de la alineación. El signo (-), cuando estuvo al centro. A cada alineación se le asignó el valor absoluto de su respectivo FP. El signo final no se contempló, porque el sentido de la influencia resultante de las masas y de las distancias es relativo. La magnitud del FP fue relevante: representó la importancia del arreglo planetario en cada alineación. Es decir, en cada alineación se ponderó en términos de las masas de los planetas y de sus distancias.

Enseguida se sumaron las alineaciones ponderadas ($ALIN_p$) por cada día del registro; se realizó una SAM_{61d} para $ALIN_p$, lo que permitió obtener $ALIN_{p61d}$ para cada día del registro. Luego se suavizaron los datos de $ALIN_{p61d}$ mediante PM_7 , PM_{15} y PM_{29} . Estos datos constituyeron la fuente de información para comparar con las variables LOD y VV_g .

Tratamiento de datos: fuerza resultante de gravedad

A partir de datos de la NASA (2018) relacionados con las distancias y las coordenadas X , Y , Z de cada cuerpo celeste (medidas con respecto a la Tierra como origen del sistema de referencia), se calculó la fuerza resultante de gravedad (F_{Rg}). Para ello, se consideraron los vectores de fuerza de gravedad de cada cuerpo celeste con la Tierra (ocho planetas, el Sol y la Luna), para cada día del registro del periodo 2000-2015. Debido a las tres dimensiones del sistema, F_{Rg} para el día i se estimó con la Ecuación (4):

$$F_{Rg_i} = \sqrt{F_{X_i}^2 + F_{Y_i}^2 + F_{Z_i}^2} \quad (4)$$

F_{xi} , F_{yi} y F_{zi} son los componentes del vector F_{Rg} ; se definen como las sumatorias de las fuerzas de gravedad de cada cuerpo celeste n en el respectivo eje coordenado para el día i . Es decir:

$$F_{X_i} = \sum F_{X_{ni}} \quad (5)$$

$$F_{Y_i} = \sum F_{Y_{ni}} \quad (6)$$

$$F_{Z_i} = \sum F_{Z_{ni}} \quad (7)$$

Para cada componente de la fuerza de gravedad:

$$F_{X_{n_i}} = F_{xy_{n_i}} \cos \alpha_{n_i} \quad (8)$$

$$F_{Y_{n_i}} = F_{xy_{n_i}} \sin \alpha_{n_i} \quad (9)$$

$$F_{Z_{n_i}} = F_{G_{n_i}} \sin \varphi_{n_i} \quad (10)$$

Según la Figura 2, se observa que:

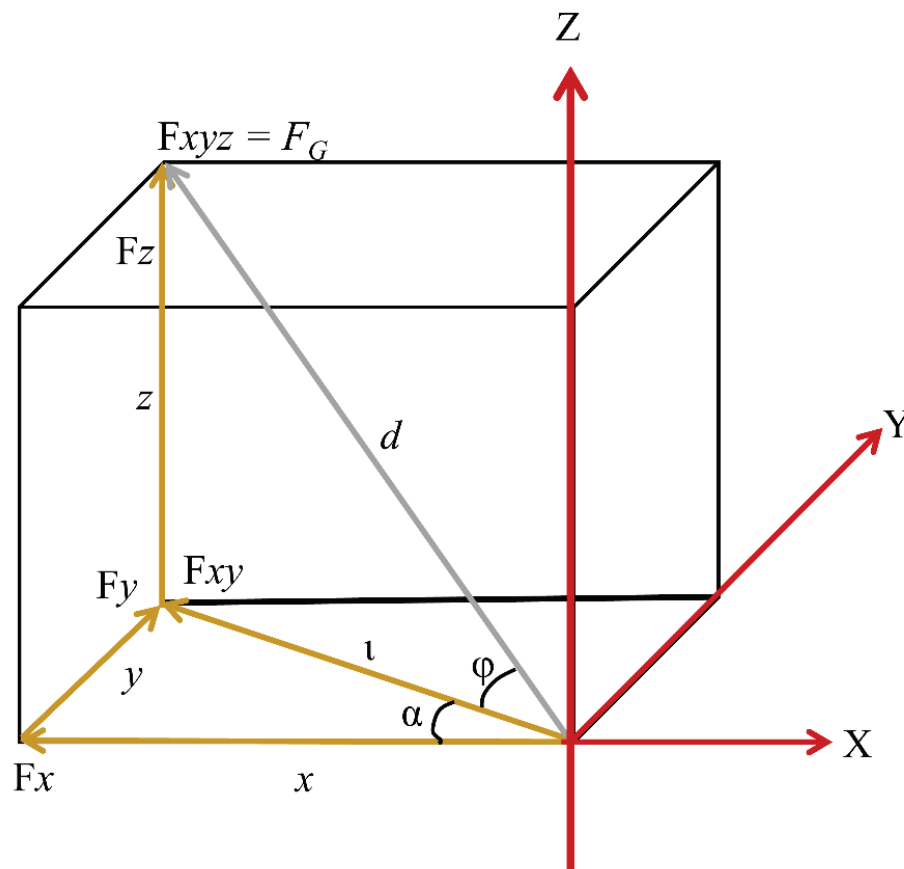


Figura 2. Componentes de la fuerza de gravedad.

$$F_{xy_{n_i}} = F_{G_{n_i}} \cos \varphi_{n_i} \quad (11)$$

Entonces, se describió en función de los ángulos:

$$F_{X_{n_i}} = (F_{G_{n_i}} \cos \varphi_{n_i}) \cos \alpha_{n_i} \quad (12)$$

$$F_{Y_{n_i}} = (F_{G_{n_i}} \cos \varphi_{n_i}) \sin \alpha_{n_i} \quad (13)$$

$$F_{Z_{n_i}} = F_{G_{n_i}} \sin \varphi_{n_i} \quad (14)$$

Donde:

$$\cos \varphi_{n_i} = \frac{l_{n_i}}{d_{n_i}} \quad (15)$$

$$\sin \varphi_{n_i} = \frac{z_{n_i}}{d_{n_i}} \quad (16)$$

$$\sin \alpha_{n_i} = \frac{y_{n_i}}{l_{n_i}} \quad (17)$$

$$\cos \alpha_{n_i} = \frac{x_{n_i}}{l_{n_i}} \quad (18)$$

La fuerza de gravedad entre el cuerpo n y la Tierra durante el día i se definió:

$$F_{G_{n_i}} = G \frac{m_T m_n}{dist_{n_i}^2} \quad (19)$$

Donde:

G = constante de gravitación universal ($G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

m_T = masa de la Tierra

m_n = masa del cuerpo celeste n (kg)

$dist_{ni}$ = distancia entre ambos cuerpos (km)

Se realizó una SAM_{61d} para F_{Rg} , lo que permitió obtener F_{Rg61d} para cada día del registro; se suavizaron los datos obtenidos mediante PM_7 , PM_{15} y PM_{29} . Estos datos constituyeron la fuente de datos a comparar con la variable LOD.

Para encontrar el coeficiente de determinación R^2 entre las bases de datos utilizadas del periodo 2000-2015, se hizo una regresión lineal múltiple en el programa Excel, versión 2013, con un nivel de confianza de 95 %. La VV_{g61d} fue la variable a explicar y $ALIN_{p61d}$, F_{Rg61d} y ΔLOD_{61d} , las variables explicativas:

$$VV_{g61d} = b_0 + b_1 ALIN_{p61d} + b_2 F_{Rg61d} + b_3 \Delta LOD_{61d} \quad (20)$$

Donde:

b_0 = coeficiente de intercepción

b_1 = coeficiente de la variable $ALIN_{p61d}$

b_2 = coeficiente de la variable F_{Rg61d}

b_3 = coeficiente de la variable ΔLOD_{61d}

Etapa II: tratamiento de datos para el análisis en México

A partir de las bases de datos de normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2018) se obtuvieron los registros de precipitación medio mensual de todas las estaciones climatológicas (EC) de la república mexicana del periodo 1962-2015. Al excluir las estaciones sin registros, solo se consideraron 4 388 EC. Con base en el posicionamiento geográfico de las EC y en la suma anual de los valores de precipitación, se construyó un mapa de isoyetas (interpolación IDW en *ArcGis* versión 10.4) de México: se reconocieron seis regiones (R) de análisis según la cantidad de lluvia acumulada anualmente ($P_{acum \cdot año}$); se eligieron 710 EC en total para el análisis: R1, 102 EC. R2, 95. R3, 8. R4, 280. R5, 100 y R6, 35. Los promedios de precipitación para cada día del periodo de estudio ($PP_{diaria-anual}$) se obtuvieron al incluir los datos de las EC de cada región. Como se consideraron los años bisiestos, se obtuvieron 366 datos de las precipitaciones diarias anuales ($P_{diaria-anual}$). A la base de datos de cada región se le aplicó un PM_7 .

En cada una de las seis bases de $P_{diaria-anual}$, se estimaron las diferencias de promedios ($Dif_{promedios}$) mediante la diferencia de $PP_{diaria-anual}$ y de ($P_{diaria-anual}$). Los valores obtenidos constituyeron una nueva base de datos en la que se identificaron los intervalos de días en los que la

precipitación fue mayor (datos con signo positivo) o menor (datos con signo negativo) con respecto a la $P_{\text{diaria-anual}}$ del periodo de estudio. Los intervalos de los días en los que la $\text{Dif}_{\text{promedios}}$ fue negativa o positiva, se registraron de forma alternada.

En el proceso se compararon las bases de datos de $\text{Dif}_{\text{promedios}}$ con aquella de AP (generada con el programa *CELESTIA*). Para ello, se efectuó la suma de AP por intervalos de tiempo (positivos y negativos). Es decir, se consideraron intervalos de tiempo alternados: en cada uno se realizó la suma de AP y la suma de $\text{Dif}_{\text{promedios}}$, según los signos y la temporada de estudio, las cuales se establecieron en rangos de tiempo generalizados, pues esos eventos generan cada año variaciones meteorológicas en el periodo de ocurrencia: temporada de huracanes del 16 de mayo al 15 de octubre; frentes fríos del 16 de octubre al 15 de febrero; incendios y vientos fuertes del 16 de febrero al 15 de mayo, y canícula del 10 de julio al 20 de agosto. Finalmente, se realizaron los análisis por temporadas con base en el signo de los valores de $\text{Dif}_{\text{promedios}}$ y de correlación para el periodo 1962-2015 (Figura 3).

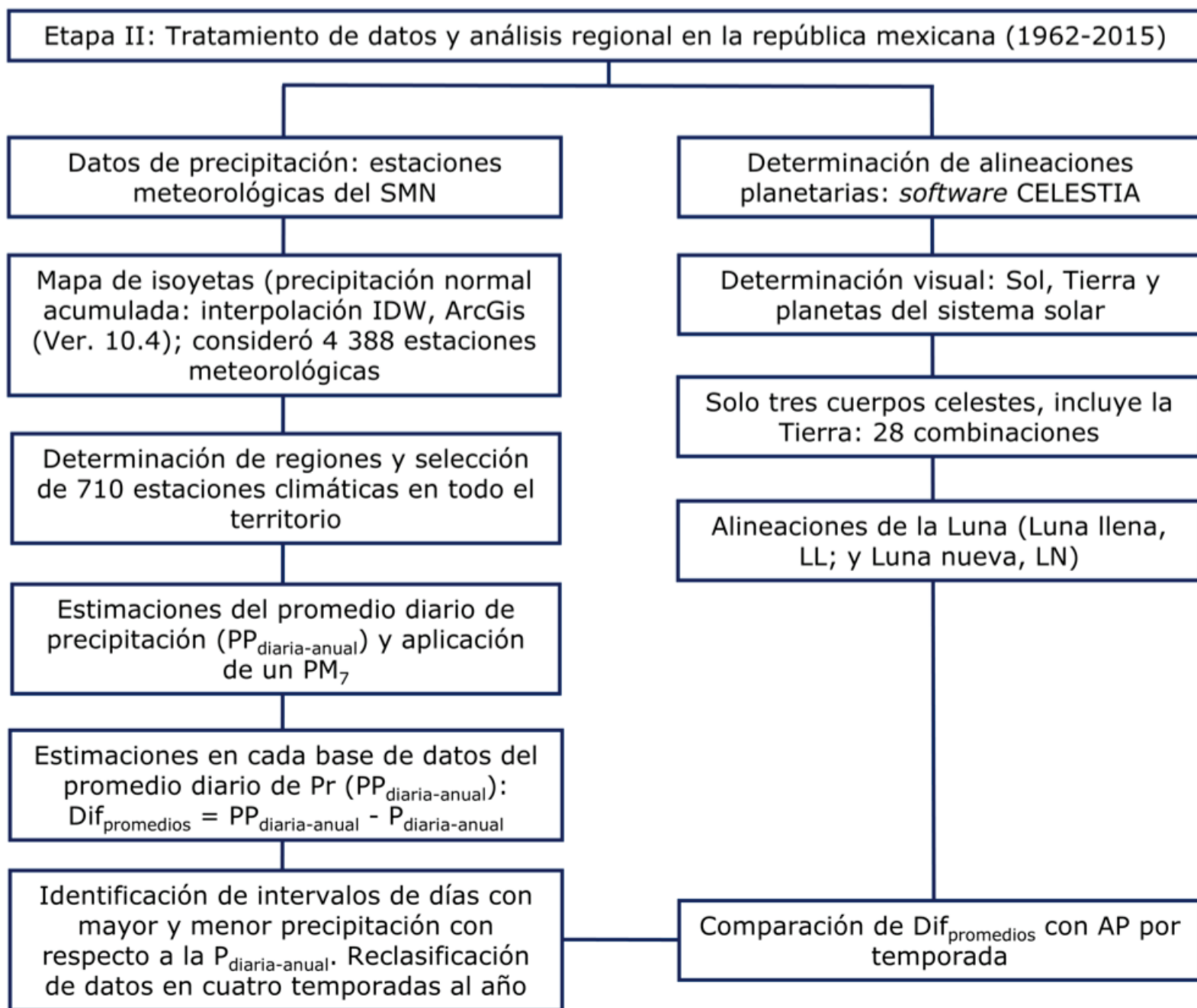


Figura 3. Etapa II de la metodología. AP = alineaciones planetarias; PM7 = promedio móvil de 7 días; $P_{diaria-anual}$ = precipitaciones diarias anuales; $PP_{diaria-anual}$ = promedios de precipitación diarios anuales; SMN = Sistema Meteorológico Nacional.

Resultados y discusión

Establecimiento de la correspondencia: duración del día y velocidad del viento (ΔLOD_{61d} suavizado- VV_{g61d} suavizado)

En la Figura 4 se muestran las fluctuaciones de ΔLOD_{61d} y de VV_{g61d} (previo tratamiento con PM) del periodo 2000-2015. Los valores extremos de ΔLOD_{61d} fueron los siguientes: +0.000989082 s del 5 de septiembre de 2011 y -0.001281387 s del 4 de junio de 2010. Los de VV_{g61d} : 120 717.41 km·h⁻¹ del 5 de septiembre de 2004 y 171 090.26588 km·h⁻¹ del 17 de abril de 2012. Ambas variables mostraron una relación similar: conforme aumentaron los valores de ΔLOD_{61d} , se registraron incrementos en VV_{g61d} ; cuando se presentaron descensos en los valores de ΔLOD_{61d} , disminuyeron los valores de VV_{g61d} ; mientras que todos los cambios en las dos variables se produjeron casi al mismo tiempo.

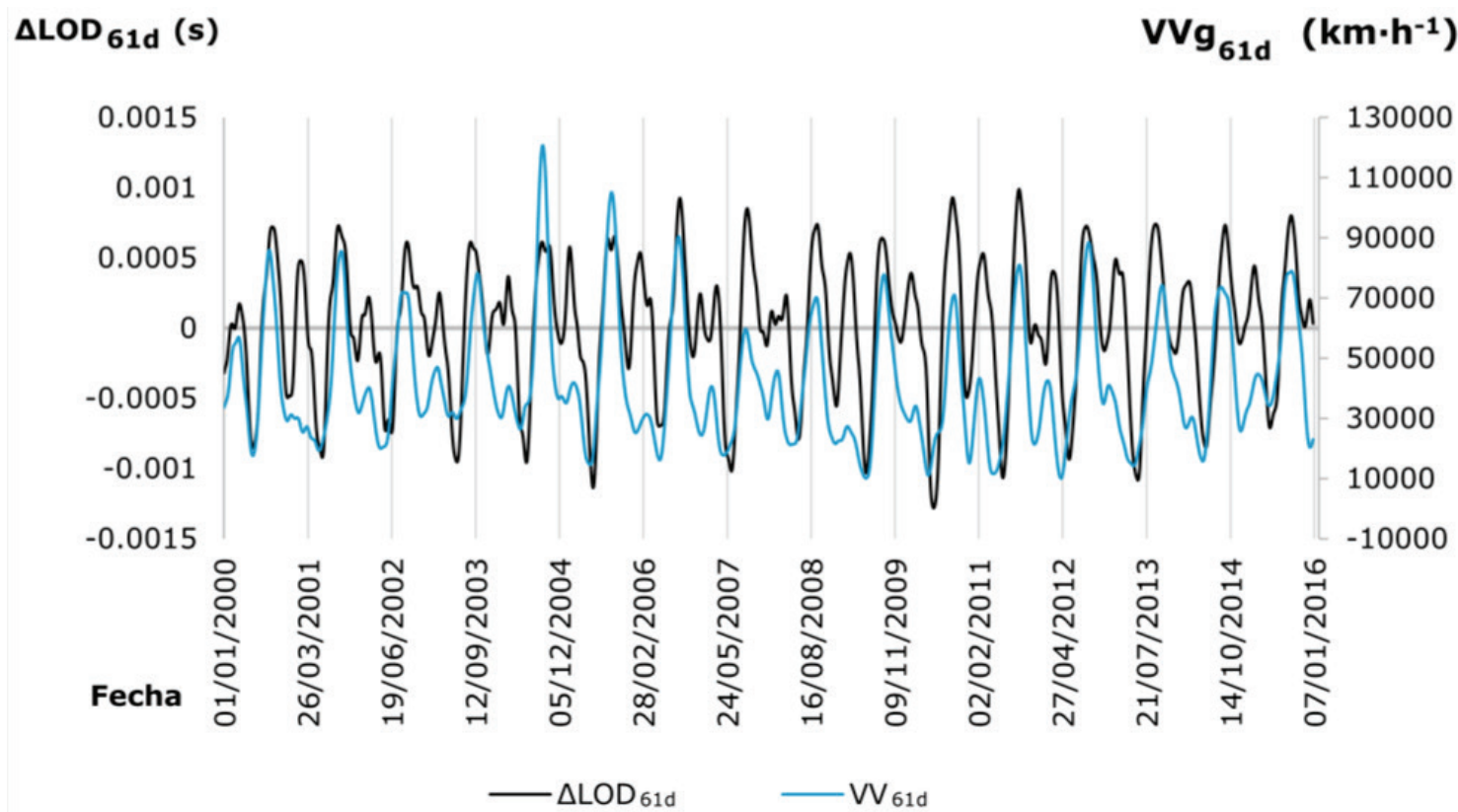


Figura 4. Comportamiento de ΔLOD_{61d} y VV_{g61d} , periodo 2000-2015.

Para el periodo de estudio se identificaron 16 ciclos anuales pareados entre ambas funciones. En los ciclos se registraron dos crestas por cada variable: una de mayor magnitud (cresta alta) que la otra (cresta baja). En cada año, las crestas bajas de la curva de VV_{g61d} ocurrieron entre febrero e inicios de marzo (de forma similar que la cresta baja de ΔLOD_{61d}); y las crestas altas, en los últimos días de agosto y los primeros días de septiembre (igual que la cresta alta de ΔLOD_{61d}).

La curva de VV_{g61d} de la Figura 4 muestra que los incrementos de las crestas altas de 2004 y 2005 fueron superiores en comparación con otros años. La curva de ΔLOD_{61d} reveló dos picos en las crestas altas de esos años, a diferencia de los demás años del registro: las crestas de

2004 no difieren significativamente entre sí, mientras que las relativas a 2005 mostraron el mismo comportamiento. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la fuerza e intensidad de los eventos climáticos de esos años es el reflejo de una intensificada variabilidad climática y de la presencia de un ciclo climático de larga duración, pues 2004 y 2005 mostraron una tendencia al incremento en la fuerza, concentración y número de eventos climáticos anómalos o por encima de las medias históricas (CEPAL, 2006). En 2004 se produjeron a escala mundial 93 eventos climáticos; y en 2005, 103, que implicaron una gran cantidad de materia y energía en movimiento a causa de la VV. De acuerdo con la CEPAL (2006), por primera vez en 154 años de registro de huracanes, en 2005 se tuvo el mayor número (13) y la afectación de múltiples eventos en México, islas del Caribe como Cuba, y la península de Yucatán.

Los picos detectados en las crestas altas de ΔLOD_{61d} de 2004 y 2005 se produjeron a finales de agosto, septiembre e inicio de octubre. En septiembre de 2004 se presentaron 18 ciclones tropicales: 12 fueron huracanes; seis con categoría cuatro, y dos con categoría cinco. En 2005 se registraron 24 ciclones: 16 se desarrollaron como huracanes; dos con categoría cinco, y cuatro con categoría cuatro, que se tipificaron como los eventos meteorológicos más peligrosos debido a la VV, la precipitación que descargaron y los daños que causaron (CEPAL, 2006).

Al comparar las crestas de cada ciclo anual de las variables ΔLOD_{61d} y VV_{g61d} para el periodo 2000-2015, se encontró que la magnitud de cambio en la primera cresta de la curva de ΔLOD_{61d} fue menor con respecto a la segunda cresta; el mismo comportamiento se observó en VV_{g61d} . Esto implicó que conforme menor magnitud de cambio en ΔLOD_{61d} , se presentó menor VV_{g61d} (primera mitad de cada ciclo anual) y

que a mayor magnitud de cambio en ΔLOD_{61d} , se generó mayor VV_{g61d} (segunda mitad de cada ciclo anual).

Mazzarella (2007) observó correspondencia entre las órbitas planetarias, LOD y el clima terrestre. Mientras que Scafetta (2010) encontró relaciones entre variaciones astronómicas, LOD y presión sobre el fondo del océano y oscilaciones climáticas. En tanto que Zotova, Bizouardc y Shum (2016) revelaron correlaciones estadísticas entre LOD y la temperatura ($r = 0.92 \pm 0.03$) en periodos de 60 años, y entre la oscilación de Chandler y los cambios en el nivel del mar ($r = 0.72 \pm 0.08$). Así, en dicha investigación se concluyó que:

1. LOD y la oscilación de Chandler se conectaron con fluctuaciones en la temperatura global y el nivel del mar.
2. Las variaciones en la rotación de la Tierra influyen en la circulación oceánica a través de la fuerza Coriolis, con efectos menores.

Por su parte, Kurbasova *et al.* (2011) encontraron para 2009-2010 correlaciones estadísticas entre los cambios de parámetros climáticos (presión atmosférica, radiación solar y temperatura) y LOD en Nikitski Garden, Ucrania, con periodos de 26.9, 13.8 y 9.1 días, lo que sugiere que las variaciones y su correlación con las oscilaciones en la VR de la Tierra se conectan con el mecanismo del efecto solar-lunar en la atmósfera.

Establecimiento de la correspondencia: duración del día y alineaciones planetarias (ΔLOD_{61d} suavizado - ALIN_{p61d} suavizado)

Para el periodo 2000-2015 se identificaron 16 ciclos anuales pareados. La curva de ΔLOD_{61d} muestra que cada ciclo se formó por dos crestas: la primera del año es baja; la segunda, alta (Figura 4). Esto significa que la primera cresta del año fue de magnitud de cambio menor en LOD con respecto a la segunda: la cresta baja se presentó entre enero y junio, con el pico entre febrero y marzo. La cresta alta ocurrió entre mayo-junio y diciembre-enero, con el pico entre el final de agosto e inicio de septiembre. En tanto, se contabilizaron 3 321 AP en total; el valor máximo de AP por día fue 80 y se presentó el 22 y el 23 de febrero de 2009; el valor menor fue seis y ocurrió en cada uno de los días del 23 al 26 de abril de 2004. La Figura 5 muestra el comportamiento de ALIN_{p61d} (previo tratamiento con PM).

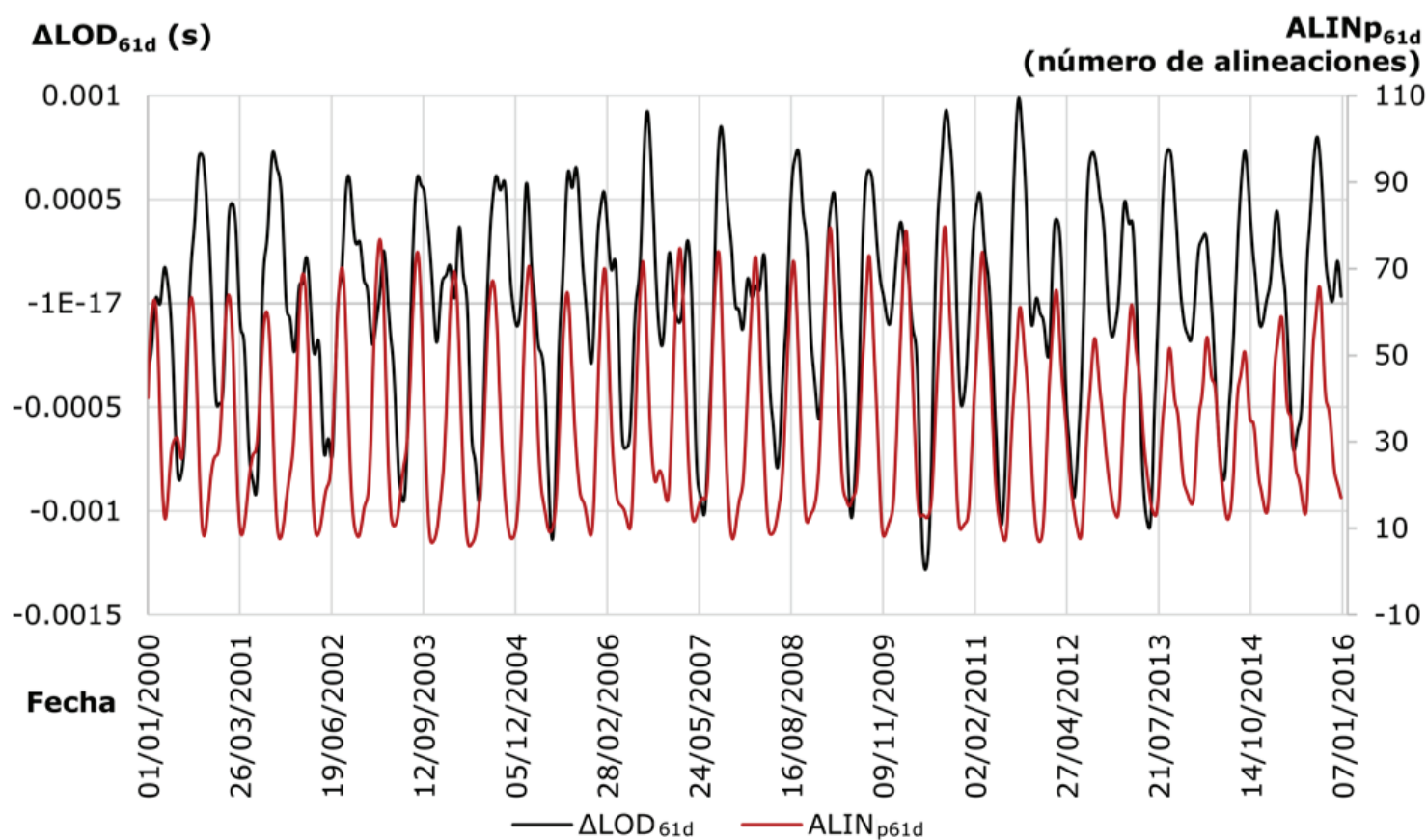


Figura 5. Comportamiento de ΔLOD_{61d} y de ALIN_{p61d} , periodo 2000-2015.

Al comparar ALIN_{p61d} con ΔLOD_{61d} , se notó que conforme se presentaron incrementos en los valores de ALIN_{p61d} , también se produjeron aumentos en los valores de ΔLOD_{61d} , y cuando se generaron disminuciones en los valores de ALIN_{p61d} , también en ΔLOD_{61d} ; las fluctuaciones de ambas variables ocurrieron, por lo general, en los mismos intervalos de tiempo.

La curva de ALIN_{p61d} presentó dos crestas por cada ciclo anual, cada una con su similar de la curva de ΔLOD_{61d} , aunque los periodos de inicio y término de cada cresta de ALIN_{p61d} no coincidieron con aquellos de

ΔLOD_{61d} , pues la primera cresta se presentó de marzo-abril a septiembre-octubre, y la segunda en los meses restantes, para cerrar el ciclo anual. Los picos de las crestas de la curva $ALIN_{p61d}$ se registraron en el intervalo de tiempo de las crestas de ΔLOD_{61d} . Excepto la primera cresta de los años 2003, 2007, 2008 y 2010, que mostraron diferencia con respecto a las crestas bajas de ΔLOD_{61d} , del periodo 2000-2005, los picos de las crestas de $ALIN_{p61d}$ se registraron en enero y julio de 2006-2010, en febrero y agosto de 2011-2015, en marzo y septiembre; esto mostró el desfase de un mes por quinquenio.

La primera cresta de $ALIN_{p61d}$ de cada año del registro mostró una magnitud similar que la segunda cresta en algunos años, como de 2001 a 2003. En la mayoría de los casos, la primera cresta del año fue superior que la segunda; esto indicó que el número de AP fue similar en ambas crestas o bien mayor en la primera cresta del año. Sin embargo, el número de AP disminuyó a partir de la segunda cresta de 2011.

Al contrastar las crestas de cada ciclo anual de las variables $ALIN_{p61d}$ y ΔLOD_{61d} del periodo 2000-2015 se encontró que:

1. La primera cresta de la curva de $ALIN_{p61d}$ reveló mayor número de AP en comparación con la segunda.
2. La magnitud de cambio de ΔLOD_{61d} fue menor en la primera cresta (primera mitad del año) con respecto a la segunda.

Lo anterior indicó una relación inversa: conforme aumentó el número de AP, se registró una magnitud de cambio menor en ΔLOD_{61d} (primera mitad de cada ciclo anual). Cuando se presentó un número menor de AP, se incrementó ΔLOD_{61d} (segunda mitad de cada ciclo anual).

Establecimiento de la correspondencia: alineaciones planetarias y velocidad del viento ($ALIN_{p61d}$ suavizado y VV_{g61d} suavizado)

La Figura 6 muestra las tendencias de $ALIN_{p61d}$ y VV_{g61d} para el periodo 2000-2015 (ambos, previo tratamiento con PM): dos crestas por ciclo anual para cada una de las variables. Cada cresta de la curva de $ALIN_{p61d}$, se acompañó por una cresta de la curva de VV_{g61d} . A escala anual, cada que se incrementaron los valores de $ALIN_{p61d}$ aumentaron los valores de VV_{g61d} . Cuando se registraron descensos en $ALIN_{p61d}$, también disminuyeron los valores de VV_{g61d} . Por lo tanto, la velocidad máxima de viento sostenido a escala global y anual aumentó con el número de AP. En una escala interanual, la primera cresta de la curva de $ALIN_{p61d}$ fue superior en la mayoría de los ciclos anuales con respecto a la segunda, las cuales se registraron en enero-febrero y julio-agosto.

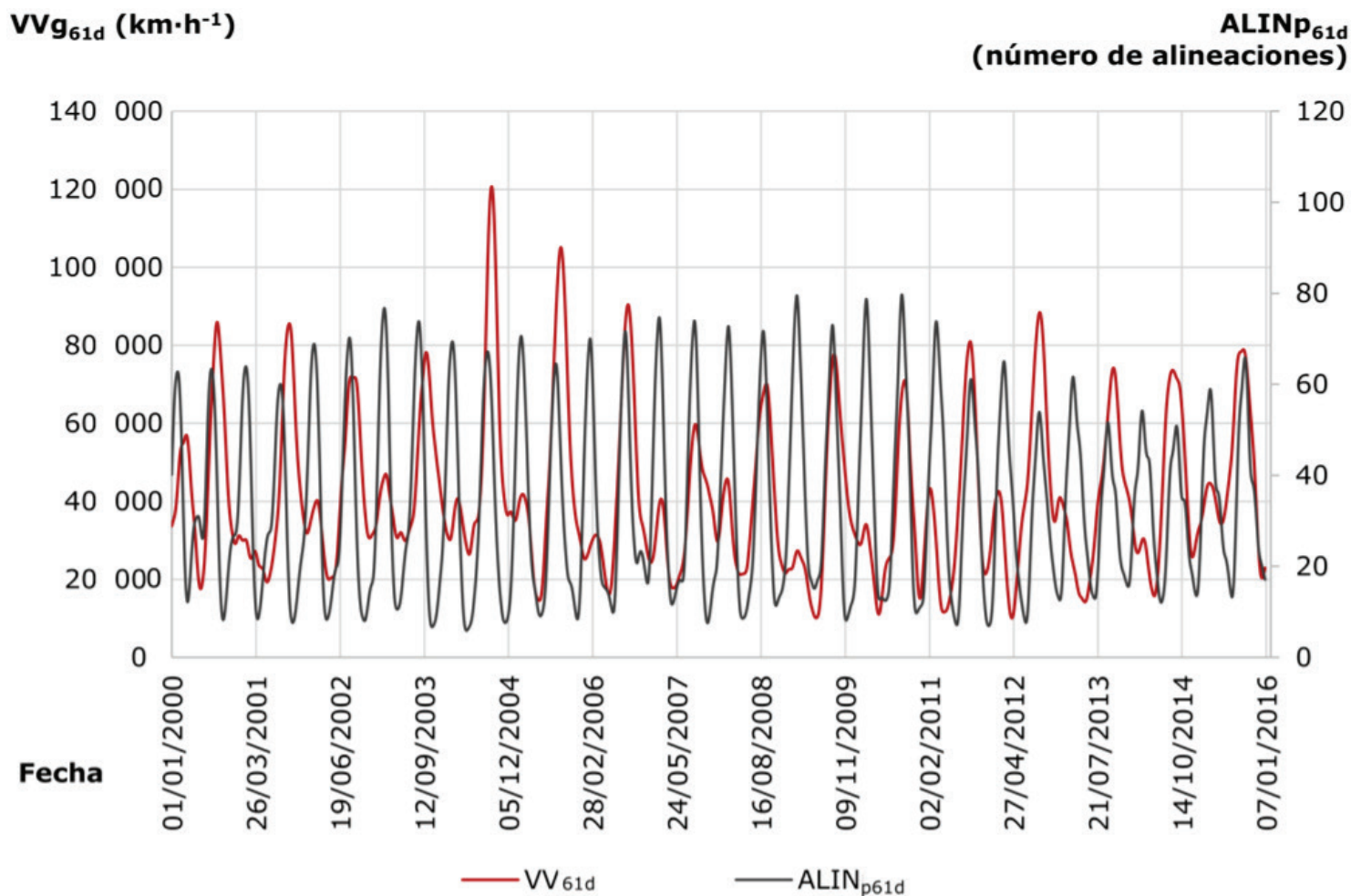


Figura 6. Comportamiento de VV_{g61d} y de $ALIN_{p61d}$, periodo 2000-2015.

En cada ciclo anual de la curva VV_{g61d} se observó una cresta baja y otra alta; la primera se registró en febrero-marzo; la segunda, en agosto-septiembre. Eso mostró que los picos de la curva de VV_{g61d} se presentaron, en promedio, un mes más tarde con respecto a la fecha en que se alcanzó el máximo número de AP.

Las segundas crestas de 2004 y 2005 indicaron que las VV superaron los valores registrados en otros años. Las velocidades máximas

se alcanzaron el 5 de septiembre de 2004 ($120\,717.41\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y el 10 de septiembre de 2005 ($105\,114.62139\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), cuando se detectaron 57 y 44 AP, respectivamente. A partir de 2011 disminuyó el número de AP; la cresta menor (2013) indicó valores de 50 AP por día.

Al comparar las crestas interanuales de $\text{ALIN}_{\text{p61d}}$ y VV_{g61d} , se notó que la primera cresta de la curva de $\text{ALIN}_{\text{p61d}}$ reveló un número mayor de AP en comparación con la segunda, y la VV_{g61d} fue menor en la primera cresta; conforme aumentó el número de AP se registró menor VV_{g61d} (primera mitad de cada ciclo anual). Cuando se presentó el menor número de AP, se incrementó VV_{g61d} (segunda mitad de cada ciclo anual). Los números bajos de AP se produjeron todo el año, principalmente en marzo, abril, septiembre y octubre de cada ciclo.

Establecimiento de la correspondencia: duración del día y fuerza resultante de gravedad ($\Delta\text{LOD}_{61\text{d}}$ suavizado- F_{Rg61d} suavizado)

La Figura 7 demuestra en la curva de F_{Rg61d} la existencia de ciclos anuales: las crestas se registraron en los primeros días de enero; los valles, al inicio de julio. Los valores de F_{Rg61d} oscilaron entre $2.09\text{E}+30$ y $2.23\text{E}+30$ newtons. Cada ciclo anual de F_{Rg61d} se vinculó con dos crestas de la curva de $\Delta\text{LOD}_{61\text{d}}$: los valles de ambas funciones se relacionaron con el desfase constante de un mes (inicio de junio para $\Delta\text{LOD}_{61\text{d}}$ y de julio para F_{Rg61d}). La cresta de F_{Rg61d} se registró en los primeros días de enero y coincidió con el valle alto que mostró la función de $\Delta\text{LOD}_{61\text{d}}$, el cual fluctuó desde el intermedio de diciembre hasta el inicio de enero.

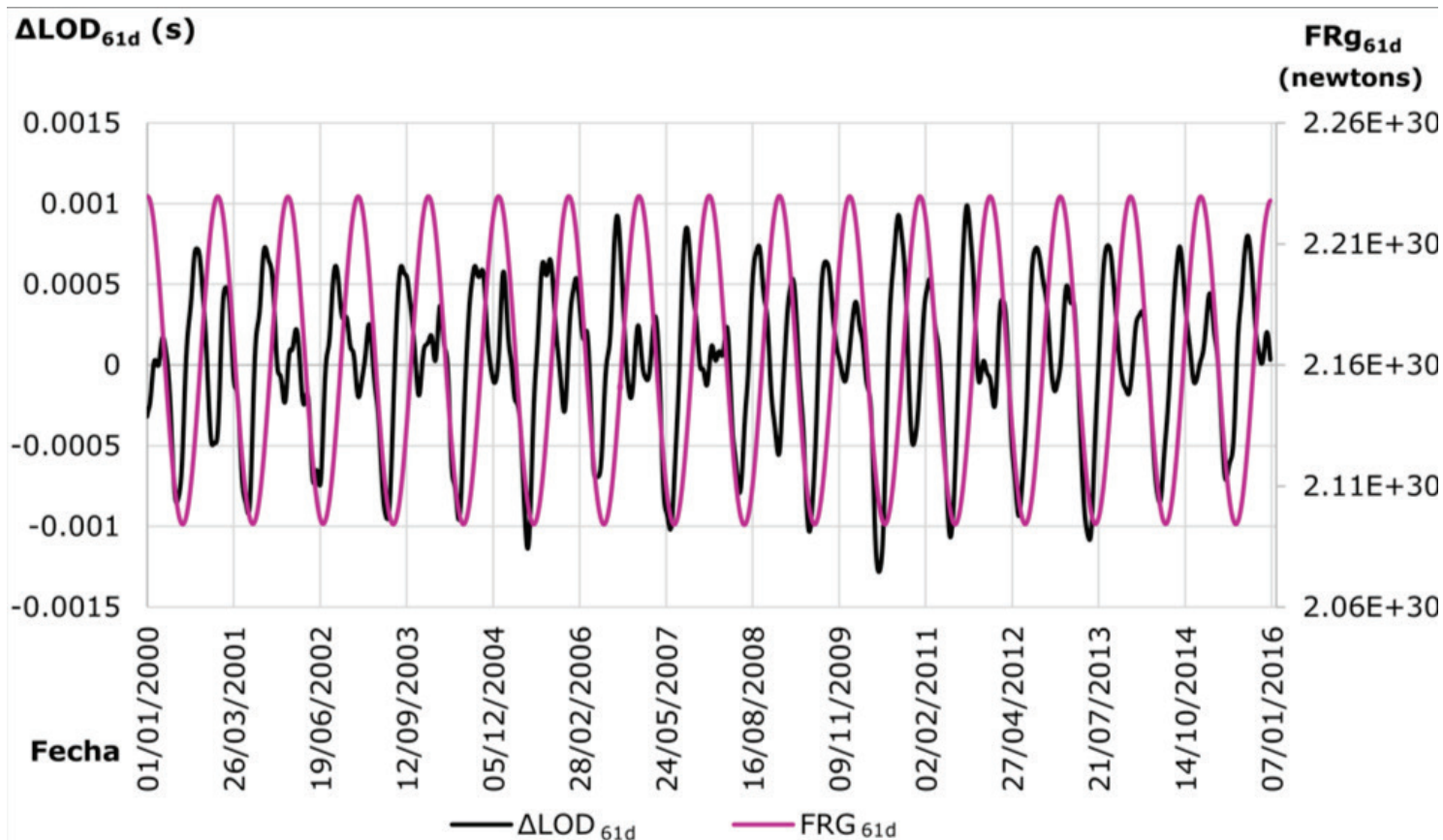


Figura 7. Comportamiento de ΔLOD_{61d} y F_{Rg61d} , periodo 2000-2015.

Debido a que la F_{Rg61d} denota la fuerza gravitacional resultante entre los cuerpos celestes y la Tierra, al analizar la Figura 6 se encontró que la curva señala ciclos anuales terrestres regulares, donde se aprecia el equilibrio que se presenta en la interacción de los planetas del sistema solar, como un sistema externo a la Tierra relacionado con la Tierra misma. Es decir, se observó el vínculo entre un sistema de fuerzas vectoriales externas a la Tierra (F_g) y la respuesta de esta (LOD), lo que permite inferir cierta influencia de los planetas del sistema solar en el complejo movimiento de la Tierra. El resultado de la regresión lineal múltiple señaló la Ecuación (21):

$$VV_{g61d} = (3.97E + 05) - (9.51E + 01)ALIN_{p61d} - (1.63E - 25)FR_{g61d} + (3.55E + 07)\Delta LOD_{61d} \quad (21)$$

El coeficiente de R^2 ajustado fue de 60 % (Tabla 2), lo que indicó que la variabilidad de VV_{g61d} en ese porcentaje se relacionó linealmente con las variables $ALIN_{p61d}$, ΔLOD_{61d} y FR_{g61d} .

Tabla 2. Datos obtenidos en el cálculo estadístico de la varianza en el programa Excel.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	1.44995E+12	4.83318E+11	2917.8	0.00E+00
Residuos	5840	9.6738E+11	165647285.5	----	----
Total	5843	2.41733E+12	----	----	----

Análisis regional de México: precipitación y alineaciones planetarias

En la Figura 8 se observan las seis regiones de México que presentaron la mayor cantidad de $P_{acum} \cdot \text{año}$ del periodo 1962-2015. La Figura 9 muestra el comportamiento de la $\Delta_{precipitación}$ y de la suma de AP para dichas regiones: A) región uno (R1): temporada de frente frío, del 16 de octubre al 15 de febrero; B) región uno (R1): temporada de incendios y vientos fuertes del 16 de febrero al 15 de mayo; C) región dos (R2): temporada de incendios y vientos fuertes del 16 de febrero al 15 de mayo; D) región tres (R3): temporada de canícula del 10 de julio al 20 de agosto; E) región cuatro (R4): temporada de incendios y vientos fuertes del 16 de febrero

al 15 de mayo; F) región cuatro (R4): temporada de canícula del 10 de julio al 20 de agosto; G) región cinco (R5): temporada de canícula del 10 de julio al 20 de agosto; H) región seis (R6): temporada de incendios y vientos fuertes del 16 de febrero al 15 de mayo.

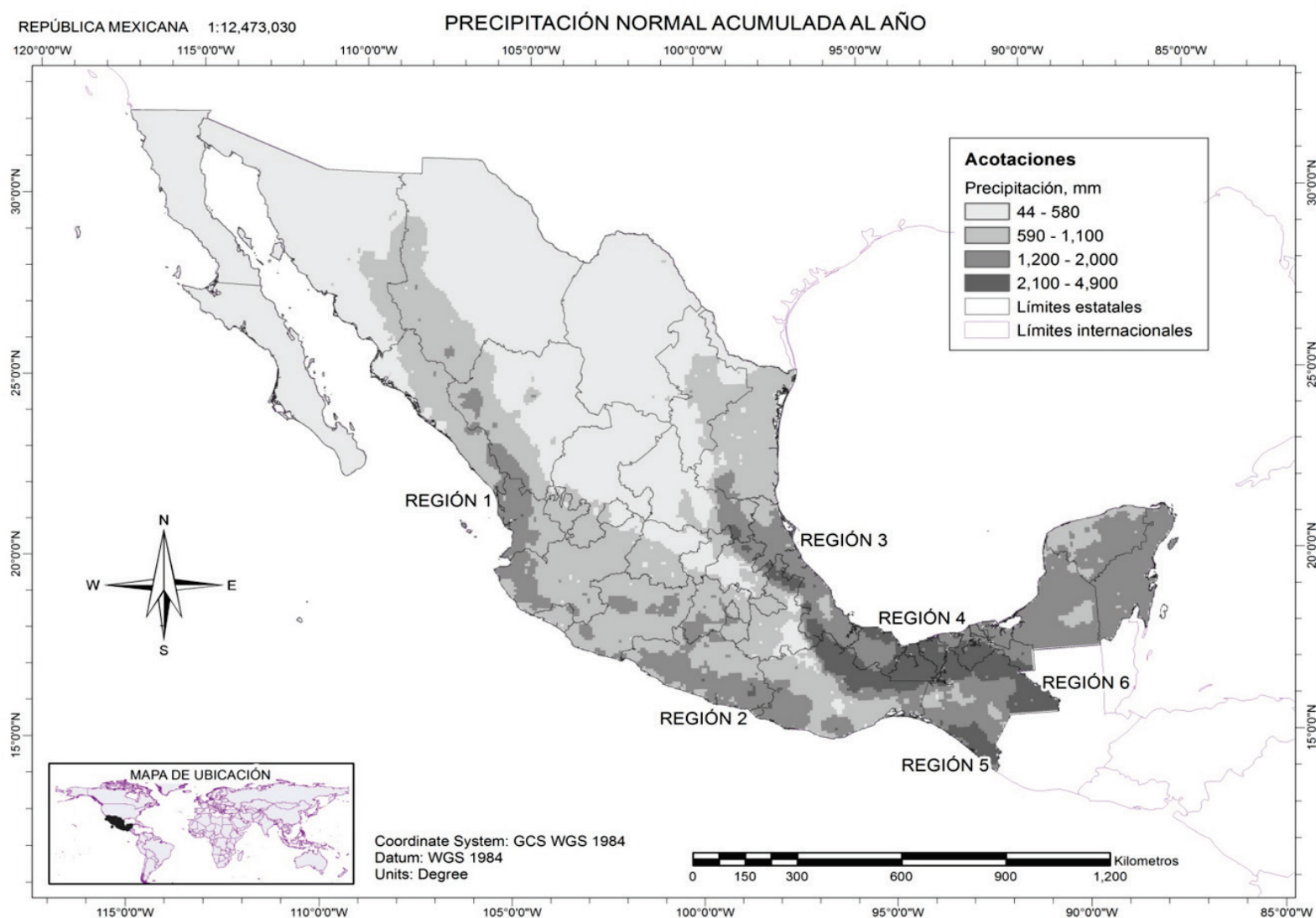


Figura 8. Regiones de la república mexicana con la mayor cantidad de precipitación acumulada anualmente (1962-2015).

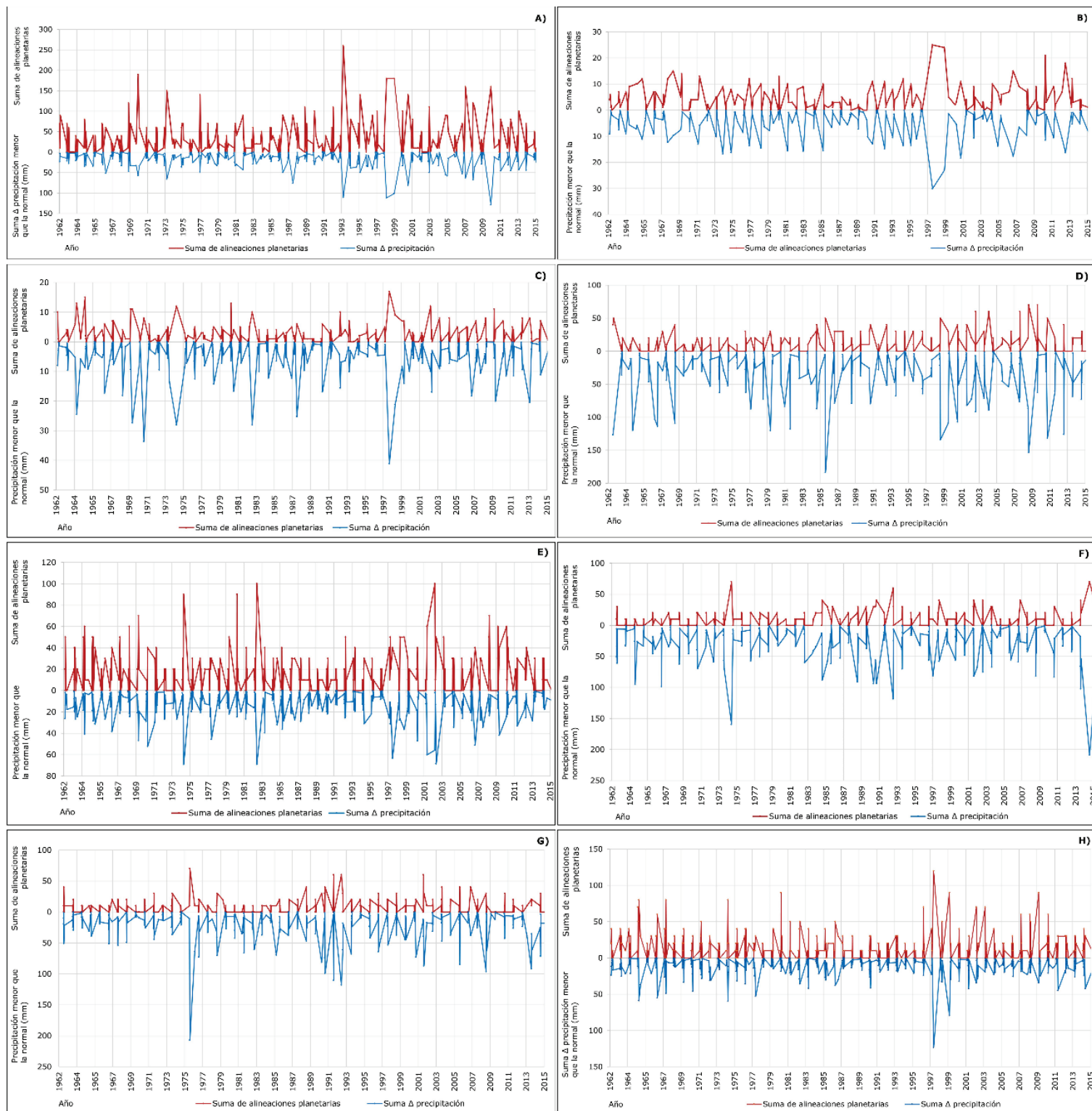


Figura 9. Diferencia de precipitación vs. número de alineaciones planetarias (1962-2015).



Al comparar la suma de $\Delta_{\text{precipitación}}$ con el número de AP, se obtuvieron los coeficientes de correlación R^2 (Tabla 3), considerando los intervalos en los que el $PP_{\text{diaria-anual}}$ fue menor que la $P_{\text{diaria-anual}}$ debido a que aquellos valores de $\Delta_{\text{precipitación}}$ que fueron positivos mostraron valores de R^2 menores con respecto a los primeros. Las correlaciones indicaron que conforme aumentó el número de AP, el valor de $\Delta_{\text{precipitación}}$ fue mayor.

Tabla 3. Correlaciones estadísticas entre la diferencia de precipitación diaria y el número de alineaciones planetarias (1962-2015).

Región	Estados que abarca	Temporada climática	Fecha de ocurrencia	Coeficiente R^2	Días con mayor Δ precipitación (mm)	Δ precipitación (mm)	AP
R1	Colima, Durango, sur de Sinaloa, oeste de Nayarit y Jalisco	Frentes fríos	Del 16 de octubre al 15 de febrero	0.86	9 de marzo de 1994 3 de febrero de 1999 12 de diciembre de 2010	-110 -111.7 -128.8	26 18 16
		Incendios y vientos fuertes	Del 16 de febrero al 15 de mayo	0.74	12 de julio de 1998 15 de noviembre de 1999	-30 -23	24 25
R2	Sur de Guerrero y suroeste de Oaxaca	Incendios y vientos fuertes	Del 16 de febrero al 15 de mayo	0.62	27 de febrero de 1971 25 de septiembre de 1998	-33.6 -41.1	8 17
R3	Sur de Tamaulipas, sureste de San Luis Potosí, noreste de Hidalgo, norte de Puebla y de Veracruz	Canícula	Del 10 de julio al 20 de agosto	0.72	4 de agosto de 1986 7 de agosto de 2009	-184 -153.7	5 7
R4	Norte de Oaxaca, noroeste de Chiapas, sur de Tabasco y Veracruz, y sureste de Puebla	Incendios y vientos fuertes	Del 16 de febrero al 15 de mayo	0.95	22 de abril de 1975 5 de junio de 1983 28 de abril de 2003	-69.3 -69.1 -68.6	9 10 10
		Canícula	Del 10 de julio al 20 de agosto	0.92	1 de julio de 1975 26 de julio de 2015	-159.8 -208.82	7 7
R5	Noreste de Oaxaca y sur de Chiapas	Canícula	Del 10 de julio al 20 de agosto	0.80	29 de julio de 1976 8 de julio de 1993	-207 -118	7 6
R6	Sureste de Chiapas	Incendios y vientos fuertes	Del 16 de febrero al 15 de mayo	0.76	14 de mayo de 1998 21 de febrero de 2000	-123.3 -79.4	12 9

AP = alineaciones planetarias.

La R1 y la R4 mostraron correlaciones para dos temporadas climáticas, las demás regiones solo para una temporada (Tabla 2). La R4 generó los valores de R^2 más altos (0.95 para incendios y vientos fuertes, y 0.92 para canícula), seguidos de la R1 (0.86 para frentes fríos) y la R5 (0.8 en canícula). El valor de R^2 más bajo fue para la R2 (0.62 en incendios y vientos fuertes).

En la Figura 8 se observó que los mayores valores derivados de la suma del número de AP se relacionaron con los mayores valores de la suma de $\Delta_{\text{precipitación}}$, mismos que fueron menores que la $P_{\text{diaria-anual}}$.

Eventos hidrometeorológicos extremos a escala global y alineaciones planetarias

En el periodo 1998-2015, en los días cercanos a la formación de AP, se produjeron huracanes en la Tierra (Tabla 4). En la Figura 10 se muestra la trayectoria de Dean a partir del 21 de agosto de 2007. En su desarrollo desde depresión tropical hasta huracán (categoría cinco en escala Saffir-Simpson), se presentaron nueve AP en las que participaron el Sol (cuatro AP), Mercurio (cuatro), Saturno y Venus (ambos, dos), Júpiter y Neptuno (ambos, una).

Tabla 4. Alineaciones planetarias identificadas durante la formación de huracanes en el mundo, 1998-2015.

Huracán	Países impactados en la trayectoria	Fecha	Velocidad del viento ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	Categoría	Alineaciones planetarias ^p	
Georges	Puerto Rico, Haití, República Dominicana, norte del Caribe	Sep 15, 1998	55.6	DT	SJ	----
		Sep 20, 1998	240.8	H-4	MeJ	----
		Sep 20, 1998	213	H-4	LN	----
		Sep 24, 1998	120.4	H-1	VJ	----
		Sep 25, 1998	148.2	H-1	SMe	----
Iván	EUA	Sep 13, 2004	259.3	H-5	MeU	----
		Sep 14, 2004	259.3	H-5	LN	----
		Sep 15, 2004	222.2	H-4	SMa	----
Wilma	México	Oct 17, 2005	82.1	TT	LL	----
		Oct 22, 2005	219	H-4	SJ	MeMa
Ileana	México	Aug 21, 2006	63.9	TT	MeSa	MeN
		Ag 23, 2006	146	H-1	LN	
		Ag 27, 2006	73	TT	VSa	VN
Dean	Belice, Jamaica y México	Ag 13, 2007	55.6	DT	SN	VSa
		Ag 14, 2007	55.6	DT	MeN	
		Ag 15, 2007	92.6	TT	SMe	
		Ag 17, 2007	148.2	H-1	SV	MeV
		Ag 18, 2007	231.5	H-4	MeSa	----
		Ag 21, 2007	268.5	H-5	SSa	----
		Ag 23, 2007	55.6	DT	MaJ	----

Huracán	Países impactados en la trayectoria	Fecha	Velocidad del viento (km·h ⁻¹)	Categoría	Alineaciones planetarias ^p	
Sinlaku	China y Taiwán	Sep 08, 2008	83.3	TT	MeMa	----
		Sep 12, 2008	213	H-4	SU	VMa
		Sep 14, 2008	166.7	H-2	MeV	LL
Sandy	Cuba, islas Bahamas, Jamaica, EUA	Oct 25, 2012	157.4	H-2	SSa	----
		Oct 28, 2012	120.4	H-1	MaJ	----
		Oct 30, 2012	129.6	TT	LL	----
Manuel	México	Sep 16, 2013	55.6	DT	MeU	----
		Sep 18, 2013	55.6	DT	VSa	----
		Sep 19, 2013	120.4	H-1	LL	----

DT = depresión tropical

H = huracán

TT = tormenta tropical

J = Júpiter

LN = Luna nueva

Ma = Marte

Me = Mercurio

N = Neptuno

S = Sol

Sa = Saturno

U = Urano

V = Venus

^pNo indica el orden de los cuerpos celestes en las alineaciones planetarias

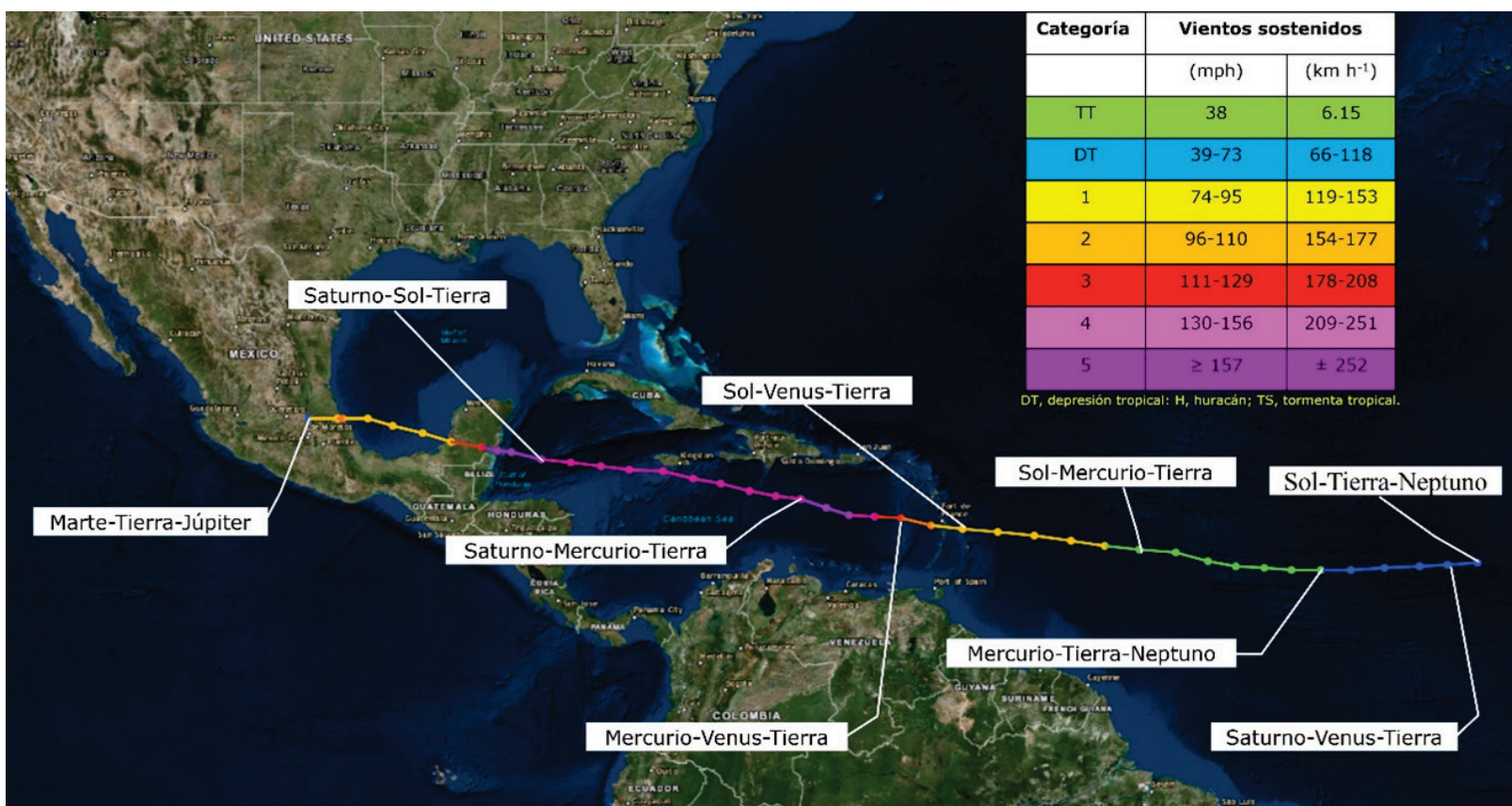


Figura 10. Trayectoria del huracán Dean (2007) y formación de alineaciones planetarias. Elaborado con información de la NOAA (2018) y de *CELESTIA* (Laurel, 2011).

El movimiento de los planetas influye en la Tierra través de (Scafetta, 2010; Fairbridge, 1984):

- I. Cambios en la velocidad y la tasa de rotación de la Tierra, lo que desencadena sismicidad y vulcanicidad.
- II. Modificaciones abruptas en el baricentro del Sol asociado con ciclos de manchas solares de 11 y 22 años.
- III. Variaciones del campo geomagnético terrestre por cambios en el viento solar.

IV. Los ciclos de mareas lunares y luni-solares, que generan modulación de mareas y corrientes oceánicas.

La Tierra y el sistema Tierra-Luna se afectan por las variables Sol-planetarias (Mörner, 2013), la gravedad solar-planetaria con el sistema Tierra-Luna y transferencia de momento angular a la cupla Tierra-Luna. Lo que visto desde una perspectiva global altera el ciclo hidrológico y las características de la lluvia.

Los resultados obtenidos en la presente investigación indicaron en el periodo 2000-2015, que las oscilaciones climáticas terrestres tuvieron una correspondencia astronómica, observada en ciclos anuales:

1. En la relación ΔLOD_{61d} - VV_{g61d} se detectaron magnitudes de cambio menores en ΔLOD_{61d} asociadas con las menores VV_{g61d} en la primera mitad del ciclo, y magnitudes de cambio mayores en ΔLOD_{61d} vinculadas con mayores VV_{g61d} en la segunda mitad del ciclo.

2. En ΔLOD_{61d} suavizado- ALIN_{p61d} suavizado se identificó una correspondencia inversa: conforme aumentó el número de AP, se registró una magnitud de cambio menor en ΔLOD_{61d} en la primera mitad del ciclo, mientras que, en la segunda mitad, al disminuir el número de AP, se incrementó ΔLOD_{61d} .

3. En ALIN_{p61d} suavizado- VV_{g61d} suavizado se presentó un comportamiento similar: al ascender los valores de ALIN_{p61d} , también aumentaron aquellos de VV_{g61d} ; cuando descendieron los valores de ALIN_{p61d} , también disminuyeron los relativos a VV_{g61d} (la velocidad máxima de viento sostenido a escala global y anual aumentó con el número de AP).

4. En ΔLOD_{61d} suavizado- F_{Rg61d} suavizado se detectaron dos crestas de ΔLOD_{61d} por una de F_{Rg61d} , los valles de ambas funciones se relacionaron con el desfase constante de un mes (junio para ΔLOD_{61d} , y

julio para F_{Rg61d}). Además de ello, se notó la coincidencia entre la formación de AP y de eventos hidrometeorológicos extremos.

Aunque los resultados anteriores permiten ver una correspondencia entre el arreglo planetario en el sistema solar en el periodo 2000-2015 y la formación de huracanes en la Tierra, son insuficientes para establecer generalizaciones; es pronto asegurar que cada que se produce un huracán se acompaña por al menos una AP. Si se considera que los eventos climáticos se generan a partir de la energía que resulta por la formación de AP y su incidencia en la Tierra, entonces cualquier evento climático con manifestación de energía podría presentarse: huracanes, erupciones volcánicas, cambios en la temperatura atmosférica y oceánica, e incluso auroras boreales y terremotos, entre otros. Por ello, y ante la falta de investigaciones que consideren las variables estimadas en este estudio, se reduce la posibilidad de comparar directamente este trabajo con otros, por lo que es necesario realizar un análisis mayor al respecto.

Diversas investigaciones demostraron que las oscilaciones climáticas se impulsan por múltiples mecanismos astronómicos externos a la Tierra (energía electromagnética y gravitacional, principalmente). Las modificaciones que se producen en LOD por las mareas lunares y solares levantadas en el cuerpo sólido de la Tierra, y en los océanos y aportes solares (marea atmosférica semidiurna), en conjunto generan un aumento constante en LOD de $2.3 \text{ ms siglo}^{-1}$ (Stephenson, 2003).

También se consideran fenómenos astronómicos como las AP, manchas solares, momento angular, la precesión orbital de la Luna (Li *et al.*, 2011) y variaciones de viento estratosférico (oscilación cuasi-bienal) y El Niño, que implican estados de energía en la Tierra (Fairbridge, 1984), y se distinguen por sincronizaciones entre las oscilaciones naturales del sistema solar y del clima terrestre, por ejemplo, las variaciones solares

con periodos de ~ 60 años (Veretenenko & Ogurtsov, 2019) que se manifiestan con anomalías de la temperatura global (Vasiliev & Dergachev, 2017), oscilaciones del nivel medio global del mar (Chambers, Merryfield, & Nerem, 2012), variaciones en la temperatura de la superficie marina en el Atlántico norte (la oscilación multidecadal del Atlántico) (Knudsen, Seidenkrantz, Jacobsen, & Kuijpers, 2011) y la oscilación del Atlántico norte (Mazzarella & Scafetta, 2012); mientras que los ciclos solares de ~ 11 años intensifican los ciclones de latitudes medias en los frentes polares (Veretenenko & Ogurtsov, 2016).

Según Charvátová (2009), y Wilson, Carter y Waite (2008), la variación solar se impulsa por los planetas a través de mareas y mecanismos de acoplamiento gravitacional de órbita-giro, donde el movimiento inercial del Sol en el centro de masa del sistema solar es el agente que describe el fenómeno. El Sol influye en el clima por medio de diversos mecanismos y retroalimentaciones, como es el caso de los patrones de marea solares, que se correlacionan con la ocurrencia de erupciones solares; mientras que la AP de Júpiter, la Tierra y Venus se sincroniza con el ciclo solar de Schwabe de 11 años (Hung, 2007).

Con una complejidad creciente, diversos ciclos interactúan con los de las emisiones solares. Los efectos más destacados son El Niño y ENOS (El Niño/Oscilación del Sur), probablemente forzado por las retroalimentaciones atmosféricas de la región de Indonesia/Nueva Guinea. El ENOS se produce de forma irregular en intervalos de 2 a 9 años, y revela forzamientos de potencial lunar y solar. Los forzamientos son en su mayoría fracciones de la serie de cuadratura planetaria de 4 448 años. Estos aparecen en el 154 th de la cuadratura de 69.50575 años, y tres veces en los forzamientos de 208.522 años, que son prominentes en el flujo de carbono 14 en los anillos de los árboles (Fairbridge, 2003).

Antico y Kröhling (2011) indicaron que la variabilidad de la descarga del río Paraná (América del sur) podría estar impulsada por el movimiento solar, forzamientos y oscilaciones climáticas internas. Aunque Scafetta (2010) comentó que esas relaciones se explican por una función física aún desconocida, que depende de las órbitas de los planetas y de sus posiciones.

Los efectos de las fuerzas gravitacionales que actúan en la Tierra cuando orbita el Sol son complejos. Las mareas que resultan del tirón combinado de la Luna y el Sol afectan el movimiento de los océanos e impactan físicamente los movimientos atmosféricos; dichas fuerzas ejercen un estrés en la corteza terrestre e influyen en la liberación de energía tectónica, especialmente en forma de actividad volcánica, y así modifican el clima. Los efectos orbitales de esos movimientos aceleran o ralentizan la VR de la Tierra, que inducen pequeños movimientos del Sol sobre el centro de masa del sistema solar, con un potencial de mínima influencia periódica sobre el clima terrestre (Burroughs, 2003).

Los efectos combinados de la Luna y el Sol se complican por la forma (elipse con el Sol en el centro) y el periodo de la órbita de la Tierra alrededor del Sol (365.25 días), y la órbita (elipse con la Tierra en el centro) de la Luna alrededor de la Tierra (periodo de 27.533 días, conocido como mes anómalo). Debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol, el tiempo en el que la Luna, la Tierra y el Sol se alinean por la LL es de 29.531 días (mes sinódico). Como la órbita de la Luna está en un ángulo de $5^{\circ} 9'$ con respecto al plano ecuatorial de la Tierra, los movimientos se realizan por encima y por debajo de este plano cada mes. Al cruzar el ecuador, cuando la declinación a la eclíptica es cero, la duración del ciclo entre los cruces ecuatoriales en la misma dirección es

de 27.332 días (mes de marea), por lo que 13 meses de marea abarcan 355 días (año de marea).

Aunque la Tierra y la Luna regresan a la misma posición después de un año, se requiere más tiempo para que ocurran repeticiones precisas de alineación. Esto pone de manifiesto el movimiento del perihelio de la Tierra (el punto en su órbita cuando está más cerca del Sol) y del perigeo de la Luna (el punto en su órbita cuando está más cerca de la Tierra). La distancia fluctuante entre estos tres cuerpos ejerce una influencia continua sobre las fuerzas de marea, por lo que las posiciones relativas del perihelio y el perigeo influyen en la periodicidad de plazos mayores sobre el clima (Burroughs, 2003).

Existen dos periodos de relevancia: el primero es de 8.85 años en el avance de la longitud del perigeo de la Luna y determina la alineación del perigeo con el perihelio de la Tierra; el segundo es de 18.61 años en la regresión de la longitud del nodo (línea que une los puntos en los que orbita la Luna), y define la exactitud de la alineación del perigeo de la Luna y el perihelio de la Tierra. La importancia de los periodos radica en que tienen valores que parecen estar relacionados con las periodicidades en las estadísticas meteorológicas y que estos movimientos pueden producir efectos físicos que podrían explicar las fluctuaciones observadas en el clima; el ciclo de 18.61 años es el de mayor estudio en torno a las mareas.

Lo anterior afecta la variación de la máxima declinación de la Luna desde la eclíptica. Debido a la inclinación del eje de la Tierra, el plano ecuatorial se encuentra en un ángulo de $23^{\circ} 27'$ de la eclíptica. Esto se combina con el ángulo de la órbita de la Luna con el plano ecuatorial, de modo que la máxima declinación hacia la eclíptica es $28^{\circ} 40'$ N y S. Pero este valor extremo ocurre solo cada 8.6 años. En el extremo opuesto, a

medio camino entre cuando la declinación máxima es la diferencia entre la inclinación del eje de la Tierra y el ángulo de la órbita de la Luna desde el plano ecuatorial, el valor varía solo entre $18^{\circ} 21'$ N y S. La importancia de esta variación es que cuando la declinación es mayor, las fuerzas de marea en latitudes altas son mayores. Los picos recientes en estas fuerzas se registraron en 1913, 1931, 1950, 1969 y mediados de 1988.

La importancia del ciclo de 8.85 años en la alineación del perigeo de la Luna y el perihelio de la Tierra radica en su conjunción con el ciclo de 18.61 años; las estimaciones del estrés de las mareas en altas latitudes desde el año 1100 demostraron que existe una resonancia de marea cada 179.3 años (Roosen *et al.*, 1976, en Burroughs, 2003).

Las tormentas en la Tierra predominan en dos categorías: las que se originan cerca del ecuador y las que se desarrollan en las latitudes subpolares. En la primera, la Luna juega un rol importante, ya que tiene un ciclo de declinación de 18.6134 años, que cambia la posición cenital de la Luna durante el hem ciclo (a casi 1 200 km de norte a sur sobre cada hemisferio), lo que acelera las corrientes geostróficas, como la corriente del Golfo y Kuo Shio. Una corriente del Golfo más fuerte calienta la corriente de Murmansk al norte de Rusia y retrocede el hielo marino polar creando una temporada extendida de aguas abiertas, lo que aumenta la nevada sobre Siberia y Asia central (Fairbridge, 2003).

Kent *et al.* (2018) señalaron otro proceso capaz de cambiar el clima: el tirón gravitacional de Venus y Júpiter, que alarga la órbita de la Tierra en 5 % cada 405 000 años. Por ello, el planeta pasa por una etapa media: a los 202 500 años del inicio del ciclo, en la que la órbita es casi circular; eso influye en la cantidad de luz solar que ha llegado al hemisferio norte y ha modulado el clima de la Tierra durante los últimos 205 millones de años.

Dichos autores indicaron que este efecto sobre la órbita es debido a Venus (por su cercanía con la Tierra) y Júpiter (presenta la mayor masa del sistema solar). Así, las órbitas de esos planetas hacen que cada varios cientos de miles de años, la posición de estos mundos "tire" de la Tierra en relación con el Sol, o bien que el efecto sea contrario. Al combinar ambos, los investigadores determinaron que el ciclo de 405 000 años potencia los efectos de otros ciclos planetarios que influyen en el clima.

El movimiento de la longitud se divide en dos clases: nutacional (incluye precesión) y polar. Las nutaciones son movimientos del eje de giro de la Tierra con respecto a un marco de referencia inercial. El polar es el movimiento de la Tierra sólida en relación con el eje de giro de la Tierra. La precesión es la nutación más grave, con un periodo de 26 000 años, causada por el torque gravitacional en el abombamiento ecuatorial de la Tierra desde el Sol, la Luna y los planetas, y tiene una amplitud angular de 23.5° , el ángulo entre el ecuador y el plano de la órbita de la Tierra (la eclíptica).

La inclinación de la órbita de la Luna con respecto al ecuador de la Tierra induce una nutación lunar en la Tierra. El Sol perturba la órbita lunar y hace que preceda (rote en el plano de la eclíptica) con un periodo de 18.6 años, con la nutación inducida que tiene el mismo periodo y una amplitud de nueve segundos de arco. También hay nutaciones con periodos de un año solar, un mes lunar y en los armónicos de las frecuencias dominantes, con nutaciones más pequeñas que ocurren en periodos de medio año solar y medio mes, y los armónicos de estos. El medio periodo es causado por el par que es simétrico sobre el plano ecuatorial. Las comparaciones con los datos meteorológicos sugieren que las variaciones rápidas del movimiento polar son parcialmente conducidas por cambios en la presión atmosférica superficial, modificadas por la

respuesta del nivel del mar a la carga atmosférica y por las variaciones del viento (Gross & Lindqwister, 1992).

Además de los efectos de las mareas del Sol, la Luna y la Tierra, existe la influencia de los otros planetas del sistema solar. Destacan los movimientos de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno, que tienen periodos orbitales de 11.86, 29.5, 84 y 165 años, respectivamente. Esos planetas, solos o en combinación, influyen en las fuerzas de marea en la Tierra. Aunque la influencia de la marea de los planetas sobre la atmósfera y los océanos de la Tierra es pequeña, en contraste con las variaciones de las fuerzas de marea debido a los movimientos de la Tierra y la Luna alrededor del Sol.

La alineación de Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno (sínodo) ocurre ± 179 años. Los movimientos de Mercurio, Venus, Tierra y Marte definen la época del año en que ocurre el sínodo. Investigaciones de Burroughs (2003) revelaron que, en China, después del año 1600 a. C, cuando el sínodo se produjo en la mitad del año de verano, las siguientes décadas tendieron a ofrecer veranos cálidos. Por el contrario, después de los sínodos de invierno hubo inviernos fríos más frecuentes. En tanto que cuando la agrupación de los planetas era más estrecha, los efectos tendían a ser más pronunciados.

La explicación física de estas observaciones parece ser la forma en que la configuración planetaria hace que la Tierra acelere o ralentice su órbita. Mientras que el periodo de la órbita de 365.24 días permanece inalterado, cuando la Tierra viaja hacia la agrupación de los planetas gigantes se acelera y cuando se aleja de ellos se ralentiza. Esto significa que pasa menos tiempo en la mitad de la órbita cuando está más cerca de la conjunción de los planetas y más tiempo en el lado más alejado del

Sol. Entonces, si el sínodo ocurre en la mitad del año de verano, este periodo se alargará ligeramente y viceversa.

Existe la teoría de que los movimientos planetarios causan el comportamiento cíclico de los números de manchas solares (Okal & Anderson, 1975, en Burroughs, 2003), pues los periodos de las órbitas de Júpiter, Urano y Neptuno coinciden con los ciclos de 11, 90 y 180 años. De particular interés son los efectos de los planetas en el movimiento del Sol alrededor del centro de la masa del sistema solar: los cálculos muestran que este movimiento complicado está dominado por las órbitas de Júpiter y Saturno y, en particular, el tiempo que tarda Júpiter en recorrer Saturno de 19.9 años; pero en los últimos 1 200 años, el periodo del movimiento del Sol varió entre 15 y 26 años. Otro ciclo importante es el de 177.9 años, que coincide con las 15 órbitas de Júpiter y seis de Saturno. La consecuencia del movimiento del Sol es afectar su achatamiento, diámetro y VR, lo que influye en el mecanismo de la mancha solar.

Stephenson *et al.* (1995) estudiaron los datos de eclipses de la Europa medieval, la antigua Babilonia, la China antigua y medieval, y el mundo árabe medieval. Los investigadores encontraron que la tasa media de aumento en LOD es de $1.7 \text{ ms siglo}^{-1}$, y que la existencia de variaciones cuasi-periódicas de origen no mareal tienen una amplitud equivalente a 3 ms y periodicidad de 1 500 años.

Según Fairbridge (1984), el ciclo de Schwabe tiene baja influencia en la temperatura terrestre y se puede restringir a ciertas regiones geográficas, mientras que modula el nivel del mar costero, lo que se observa en las variaciones del LOD conducidas por los vientos zonales.

Fairbridge (2003) señaló que, históricamente, la temperatura del Ártico tiene un papel similar en los ciclos de declinación de la Luna y de manchas solares (11/12 años), en proporción de 3:5; pero en latitudes altas, el doble ciclo de manchas solares o inversión solar magnética (22.24 años) es significativo, con una razón de 6:10 y periodicidad de 16-111 años. También indicó un vínculo con los ciclos planetarios en una figura de triple relación: 317.749 años (siete vueltas de Urano-Saturno/16 vueltas de Saturno-Júpiter/17 ciclos de declinación lunar). Esto se confirmó con los registros de tormentas en forma geomórfica, físicamente una "escalera" de 184 líneas de playa levantadas isostáticamente en la bahía de Hudson (Fairbridge & Hillaire-Marcel, 1977), que datan de más de 8 000 años, lo cual se replicó en otras partes del Ártico e indica una periodicidad promedio de 45 años, con modulaciones secundarias a los 111, 317 años e intervalos más largos.

Fairbridge (2003) comentó que el agua trae un pulso frío con cada marea ascendente a la atmósfera inferior, una secuencia de entrada tan fría que corresponde a los ciclos de la marea, que se modulan en diversos intervalos de tiempo: quincenal, estacional (con los monzones), anual, con los periodos perigeo/perihelio (cuatro y ocho años) y con la declinación (18.6 años). Esto produce una resonancia de 16:15 entre el periodo lunar de 18.6 años y el latido de Saturno-Júpiter. Aún más, hay ciclos lunares de amplificación a los 31, 62, 93, 111, 186 y 558 años.

Las relaciones entre otros eventos naturales en la Tierra y las AP también se han documentado. Es el caso de los terremotos que se registraron en diciembre de 2004: el día 24 bajo el océano Austral (al sureste de Hobart), y el 26 bajo el océano Índico, con magnitudes de 8.1 y 9.3 en la escala de Richter, respectivamente. El segundo terremoto ocasionó un devastador tsunami en Asia. Los movimientos tectónicos se

produjeron por la combinación de varios factores externos a la Tierra (Dickman, 2006): la separación angular de los planetas con respecto a un círculo en el plano en el que orbitan (eclíptica) y centrado en el Sol. Dickman (2006) concluyó que las AP tuvieron un impacto en la abundancia de manchas solares con una respuesta detectable de la Tierra, pues se registraron 47 manchas solares el día 23, mismas que disminuyeron a 11 para el día 27, y aumentaron a 60 para el día 31.

Los factores anteriores han repercutido en los cambios climáticos del pasado. Existe evidencia de que los periodos glaciares ocurridos en ciclos regulares durante los últimos tres millones de años se vinculan con variaciones regulares de la órbita terrestre alrededor del Sol, lo que coincide con los ciclos de Milankovitch (Solomon *et al.*, 2007). Esos ciclos consisten en pequeñas variaciones de la órbita terrestre, por lo que producen cambios apreciables en la distribución y abundancia de la energía solar que llega a la superficie terrestre. Según la teoría de Milankovitch, la Tierra está actualmente en el máximo de un ciclo de calentamiento de 21 000 años, que acabó con el último periodo glacial. Por tanto, dentro de milenios comenzarían los efectos del enfriamiento natural del clima.

Por su parte, Scafetta y Willson (2013), y Tan y Cheng (2012) concluyeron que el Sol, la heliosfera y la magnetosfera terrestre están parcialmente modulados por fuerzas gravitacionales y magnéticas planetarias sincronizadas con oscilaciones planetarias.

Conclusiones

En el presente estudio se lograron los objetivos propuestos, pues se encontraron tendencias entre la longitud del día, las alineaciones planetarias y el clima terrestre para el periodo 2000-2015:

1. La correspondencia entre ΔLOD y el comportamiento de la velocidad del viento en eventos tropicales a nivel global se determinó como recíproca, ya que cuando se presentó magnitud menor de cambio en las variaciones de ΔLOD , se registró menor velocidad del viento (primera mitad de cada ciclo anual); y cuando ocurrió la magnitud de cambio mayor en ΔLOD , también fue mayor la velocidad del viento (segunda mitad de cada ciclo anual).

2. La relación entre las alineaciones planetarias en las que interviene la Tierra y ΔLOD se estableció como inversa a escala interanual, pues conforme aumentó el número de alineaciones, se registró magnitud de cambio menor en ΔLOD (primera mitad de cada ciclo anual); cuando se presentó un menor número de alineaciones, se incrementaron las variaciones de ΔLOD (segunda mitad de cada ciclo anual).

3. El vínculo entre las alineaciones planetarias en las que interviene la Tierra y la velocidad del viento en eventos tropicales indicó que, a escalas anual y global, la velocidad máxima de viento sostenido aumentó con el número de alineaciones planetarias. En escala interanual, la relación fue inversa: al aumentar el número de alineaciones planetarias, disminuyó la velocidad del viento (primera mitad de cada ciclo anual); cuando decreció el número de alineaciones planetarias, se incrementó la velocidad del viento (segunda mitad de cada ciclo anual). La relación entre las alineaciones planetarias en las que interviene la Tierra y la precipitación en la república mexicana se determinó como

homóloga: con el incremento del número de alineaciones planetaria se registraron los mayores valores de lluvia.

Por lo anterior, se estima que la relación entre el clima espacial y el clima terrestre se define por la influencia de la energía solar en el sistema planetario. Es decir, energía externa (eléctrica, de gravedad y magnética) que influye en la energía interna de la Tierra.

Recomendaciones

De manera particular, se recomienda el uso de métodos matemáticos o modelos especializados en el análisis de series de datos con comportamiento temporal, para determinar la frecuencia de las funciones y definir las variables dominantes en el clima espacial. De manera general, se propone: 1) generar mayor conocimiento en el tema, que permita su uso como herramienta de predicción de eventos meteorológicos extraordinarios; 2) formalizar una ciencia de estudio de las fuerzas astronómicas operantes sobre el clima terrestre; 3) fomentar la investigación para definir las posibles relaciones de variables diversas del clima terrestre según el campo de estudio, como la astrofísica, biología, climatología, fisicoquímica de la atmósfera, geología, meteorología, oceanografía, paleomagnetismo, sismicidad y vulcanología, entre otros), que se pudieran afectar por el clima espacial.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca de estudios de postgrado del primer autor. Al Sistema Meteorológico Nacional, por la proporción de datos utilizados para este trabajo.

Referencias

- Antico, A., & Kröhling, D. M. (2011). Solar motion and discharge of Paraná River, South America: Evidence for a link. *Geophysical Research Letters*, 38, L19401. <https://doi.org/10.1029/2011GL048851>
- Burroughs, W. J. (2003). Extraterrestrial influences. In: *Weather cycles: Real or imaginay?* (pp. 173-210). Cambridge, UK: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511841088.007>
- CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2006). *Los efectos de los desastres en 2004 y 2005: la necesidad de adaptación de largo plazo*. México, DF, México: Sede Subregional de la CEPAL en México.
- Chambers, D. P., Merryfield, M. A., & Nerem, R. S. (2012). Is there a 60-year oscillation in global mean sea-level? *Geophysics Research Letters*, 39, L18607. <https://doi.org/10.1029/2012GL052885>
- Charvátová, I. (2009). Long-term predictive assessments of solar and geomagnetic activities made on the basis of the close similarity between the solar inertial motions in the intervals 1840-1905 and 1980-2045. *New Astronomy*, 14(1), 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2008.04.005>
- Dickey, J. O., Marcus, S. L., Hide, R., Eubanks, T., & Boggs, D. (1994). Angular momentum exchange among the Solid Earth, atmosphere, and oceans: A case study of the 1982-1983 El Niño event. *Journal of Geophysical Research*, 99, 23921-23937. <https://doi.org/10.1029/94JB01249>

- Dickman, K. W. (2006). Short and longer-term planetary effects on Sun and Earth. *Energy & Environment*, 17, 63-73. <https://doi.org/10.1260/095830506776318705>
- Fairbridge, R. W., & Hillaire-Marcel, C. (1977). An 8,000-yr palaeoclimatic record of the 'Double-Hale' 45-yr Solar cycle. *Nature*, 268, 413-416. <https://doi.org/10.1038/268413a0>
- Fairbridge, R. W. (1984). Planetary periodicities and terrestrial climate stress. In: Mörrner, N. A., & Karlén, W. (eds.). *Climatic changes on a yearly to millennial basis* (pp. 509-520). Boston, USA: Reidel Publ. Co. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7692-5_49
- Fairbridge, R. W. (2003). Climate and keplerian planetary dynamics, the "Solar Jerk", the King-Hele Cycle, and the challenge to climate science. *21st Century Science and Technology*, 16(1), 23-29.
- Gross, R. S., & Lindqwister, U. J. (1992). Atmospheric excitation of polar motion during the GIG'91 measurement campaign. *Geophysical Research Letters*, 19, 849-852. <https://doi.org/10.1029/92GL00935>
- Gross, R. S. (2007). Earth rotation variations – long period. In: Shubert, G. (ed.). *Treatise on geophysics* (239-294). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044452748-6.00057-2>
- Hide, R., & Dickey, J. O. (1991). Earth's variable rotation. *Science*, 253, 629-637. <https://doi.org/10.1126/science.253.5020.629>
- Hung, C. C. (2007). *Apparent relations between Solar activity and Solar tides caused by the planets* (report NASA/TM-2007-214817). Cleveland, USA: NASA Glenn Research Center Cleveland.

- Ideal. (2018). *Calendario lunar*. Recuperado de <https://calendarios.ideal.es/calendario-Lunar/fases-Lunares/2000>
- IERS, International Earth Rotation and Reference Systems. (2018). *20 C04 time series*. Recuperado de http://hpiers.obspm.fr/eoppc/eop/eopc04/eopc04_IAU2000.62-now
- Kent, D. V., Olsen, P. E., Rasmussen, C., Lepre, C., Mundil, R., Irmis, R. B., Gehrels, G. E., Giesler, D., Geissman, J. W., & Parker, W. G. (2018). Empirical evidence for stability of the 405-kiloyear Jupiter–Venus eccentricity cycle over hundreds of millions of years. *PNAS*, 115(24), 6153-6158. <https://doi.org/10.1073/pnas.1800891115>
- Knudsen, M. F., Seidenkrantz, M. S., Jacobsen, B. H., & Kuijpers, A. (2011). Tracking the Atlantic Multidecadal Oscillation through the last 8,000 years. *Nature Communication*, 2, 1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms1186>
- Kurbasova, G. S., Korsakova, S. P., Rybalova, M. N., & Shlikar, G. N. (2011). Correlations of changes in the Earth's rotational velocity and some climate characteristics: Spectral estimation in two channel auto-regression models. *Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory*, 107, 90-97. <https://doi.org/10.3103/S0190271711010116>
- Laurel, C. (2011). *Software CELESTIA (1.6.1)*. Recuperado de <https://celestia.es/>

- Li, G., Zong, H., & Zhang, Q. (2011). 27.3-day and average 13.6-day periodic oscillations in the Earth's rotation rate and atmospheric pressure fields due to celestial gravitation forcing. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28, 45-58. <https://doi.org/10.1007/s00376-010-0011-6>
- Martínez, M., Lorenzo, E., & Alvarez, A. (2017). Los ciclos de Milankovitch: origen, reconocimiento, aplicaciones en cicloestratigrafía y el estudio de sistemas petroleros. *Revista Científica y Tecnológica*, 4(3), 56-65. <https://doi.org/10.26423/rctu.v4i3.281>
- Mazzarella, A. (2007). The 60-year solar modulation of global air temperature: The Earth's rotation and atmospheric circulation connection. *Theoretical and Applied Climatology*, 88, 193-199. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0219-z>
- Mazzarella, A., & Scafetta, N. (2012). Evidences for a quasi 60-year North Atlantic Oscillation since 1700 and its meaning for global climate change. *Theoretical and Applied Climatology*, 107, 599-609. <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0499-4>
- Mesa, O. (2002). ENSO, rotación terrestre, volcanes y sismicidad. *Dyna*, 136, 41-61.
- Mörner, N. A. (1991). Earth's rotation and magnetism: Some new data and aspects. In: Flodmark, S. (ed). *New approaches in geomagnetism and Earth's rotation* (131-138). Washington, DC, USA: World Scientific Publishing Company.
- Mörner, N. A. (2013). Solar wind, Earth's rotation and changes in terrestrial climate. *Physical Review & Research International*, 3(2), 117-136.

- Munk, W., & Revelle, R. (1952). On the geophysical interpretation of the irregularities in the rotation of the Earth. *Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 6(6), 331-347. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1952.tb03022.x>
- NASA, National Aeronautics and Space Administration. (2018). *Solar system dynamics*. Recuperado de <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. (2007). *Weather Prediction Center. Meteorological Conversions and Calculations*. Recuperado de <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/windspeed.shtml>
- NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. (2018). *Historical hurricane tracks*. Recuperado de <https://coast.noaa.gov/hurricanes/>
- Runcorn, S. K. (1991). Geomagnetism and Earth's rotation. In: Flodmark S. (ed.). *New approaches in geomagnetism and Earth's rotation* (117-130). Washington, DC, USA: World Scientific Publishing Company.
- Scafetta, N. (2010). Empirical evidence for a celestial origin of the climate oscillations and its implications. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 72(13), 951-970. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2010.04.015>
- Scafetta, N., & Willson, R. C. (2013). Planetary harmonics in the historical Hungarian aurora record (1523-1960). *Planetary and Space Science*, 78, 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2013.01.005>

- SMN, Servicio Meteorológico Nacional. (2018). *Información climatológica*. Recuperado de <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., & Miller, H. L. (eds.). (2007). *Climate change 2007: The physical science basis*. Cambridge, UK, New York, USA: Cambridge University Press.
- Stephenson, F. R. (1997). *Historical Eclipses and Earth's Rotation*. N. Y: Cammbridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511525186>
- Stephenson, F. R. (2003). Historical eclipses and Earth's rotation. *Astronomy & Geophysics*, 44(2), 2.22-2.27. <https://doi.org/10.1046/j.1468-4004.2003.44222.x>
- Stephenson, F. R., & Morrison, L. V. (1984). Long-term changes in the rotation of the Earth: 700 B.C. to A.D. 1980. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 313(1524), 47-70. <https://doi.org/10.1098/rsta.1984.0082>
- Stephenson, F. R., Morrison, L. V., & Smith, L. V. (1995). Long-term fluctuations in the Earth's rotation: 700 B.C. to A.D. 1990. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 351(1695), 165-202. <https://doi.org/10.1098/rsta.1995.0028>
- Tan, B., & Cheng, Z. (2012). The mid-term and long-term solar quasi-periodic cycles and the possible relationship with planetary motions. *Astrophysics and Space Science*, 343, 511-521. <https://doi.org/10.1007/s10509-012-1272-6>

- Vasiliev, S. S., & Dergachev, V. A. (2017). Comparison of cyclic changes in the solar wind fluxes and the global temperature of the Earth. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 81, 249-251. <https://doi.org/10.3103/S1062873817020447>
- Veretenenko, S., & Ogurtsov, M. (2016). Cloud cover anomalies at middle latitudes: Links to troposphere dynamics and solar variability. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 149, 207-218. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2016.04.003>
- Veretenenko, S., & Ogurtsov, M. (2019). Manifestation and possible reasons of ~60-year oscillations in solar-atmospheric links. *Advances in Space Research*, 64(1), 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.03.022>
- Wilson, I. R., Carter, B. D., & Waite, I. (2008). Does a spin-orbit coupling between the Sun and the Jovian Planets govern the solar cycle? *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 25(2), 85-93. <https://doi.org/10.1071/AS06018>
- Zotova, L., Bizouard, C., & Shum, K. C. (2016). A possible interrelation between Earth rotation and climatic variability at decadal timescale. *Geodesy and Geodynamics*, 7(3), 216-222. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.05.005>