

Servicio de Clima Espacial en México



Ernesto Aguilar Rodríguez



DIRECTORIO

Gobierno del Estado

Salvador Jara Guerrero
Gobernador del Estado de Michoacán

José Carlos Rodríguez Pueblita
Secretario de Finanzas y Administración

Javier Ocampo García
Secretario de Seguridad Pública

Carlos Pfister Huerta Cañedo
Secretario de Desarrollo Económico

Roberto Enrique Monroy García
Secretario de Turismo

Jaime Rodríguez López
Secretario de Desarrollo Rural

Jaime Camacho Moreno
Secretario de Comunicaciones y Obras Públicas

Mauro Ramón Ballesteros Figueroa
Secretario de Urbanismo y Medio Ambiente

Armando Sepúlveda López
Secretario de Educación

Marco Antonio Aguilar Cortés
Secretario de Cultura

Carlos Esteban Aranza Donis
Secretario de Salud

Rodrigo Iván Maldonado López
Secretario de Política Social

Juan Zacarías Paz
Secretario de Pueblos Indígenas

Samantha Flores Adame
Secretaria de la Mujer

Luis Carlos Chávez Santacruz
Secretario del Migrante

Francisco Xavier Lara Medina
Secretario de los Jóvenes

José Martín Godoy Castro
Procurador General de Justicia

Alexandro López Cárdenas
Coordinador de Planeación para el Desarrollo

Gabriel Joaquín Montiel Aguilar
Coordinador de Contraloría

Georgina Morales Gutiérrez
Coordinador General de Comunicación Social



DIRECTORIO CECTI

Esther García Garibay

Directora General

Alejandro Martínez Fuentes

Subdirector de Fomento y Planeación

Rubén Salazar Jasso

Subdirector de Vinculación y Desarrollo Tecnológico

Lilia Vázquez Diego

Subdirectora de Difusión

Servicio de Clima Espacial en México

Cuadernos de Divulgación Científica y Tecnológica del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán

C+Tec. Innovación es solución a mi alcance

Serie 2014, cuaderno número 5

Ernesto Aguilar Rodríguez

Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán,
Universidad Nacional Autónoma de México

Primera edición, diciembre 2014

D.R. Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán

Calzada Juárez No. 1446, Col. Villa Universidad

C.P. 58060, Morelia, Michoacán, México

cecti.michoacan.gob.mx

ISBN de la serie: en trámite

ISBN del cuaderno: en trámite

Coordinación General:

Esther García Garibay

Directora General del Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología
e Innovación de Michoacán

Ernesto Aguilar Rodríguez

Instituto de Geofísica, Unidad Michoacán,
Universidad Nacional Autónoma de México

Edición:

Lilia Vázquez Diego

Adrián Orozco Gutiérrez

Diseño editorial, diseño gráfico y formación:

María Bernardette Arroyo Gaona

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no representan necesariamente la opinión del CECTI. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando se cite la fuente de referencia.



Servicio meteorológico y servicio de clima espacial

En la actualidad resulta bastante común consultar el pronóstico del tiempo cuando vamos a realizar un viaje de descanso, negocios, o bien, cuando vamos a realizar una actividad al aire libre. Para ello, basta con visitar algunos portales de internet cuya finalidad es mostrar al público en general las condiciones climatológicas en tiempo real, así como también las predicciones para los días subsecuentes. En México, el Servicio Meteorológico Nacional es un organismo público que se encarga de proporcionar la información sobre el estado del tiempo que prevalece o afecta el territorio nacional. Para poder proporcionar este servicio se requiere de una gran infraestructura, por ejemplo, las estaciones meteorológicas, cuyas funciones son las de observación y transmisión de la información de las condiciones atmosféricas en tiempo real. También se requieren radares meteorológicos para la observación de sistemas nubosos, y estaciones terrenas de recepción de imágenes de satélites meteorológicos.

Como podemos ver, dar un servicio como el meteorológico no sólo requiere de una gran infraestructura desplegada a lo largo y ancho del territorio nacional, sino también la capacidad de dar información meteorológica en tiempo real y de predecir las condiciones del estado del clima con algunos días de anticipación. En este sentido, lo que un servicio de clima espacial en México nos puede brindar no está tan alejado de lo que nos brinda un servicio como el meteorológico. Para poder definir el clima espacial y, por consiguiente, la manera en la que podemos medirlo o predecirlo, será necesario conocer y entender primero algunos conceptos básicos que son de gran utilidad.

Uno de los objetivos de este trabajo es que el lector entienda la importancia de monitorear continuamente el clima espacial y los esfuerzos que en nuestro país se han hecho para conformar formalmente un servicio de clima espacial. Debido a que el clima espacial es un fenómeno



Fuente: <http://www.123rf.com>

global, no estamos solos en este esfuerzo. Existen en la actualidad organizaciones que coordinan, a nivel mundial, los esfuerzos que muchos países hacen para estudiar, comprender, prevenir y alertar a la población sobre los efectos que el clima espacial tiene sobre nuestro planeta.

El Sol, encargado de definir el clima espacial en nuestro planeta

Vayamos por partes. Si hablamos de clima espacial hay una gran cantidad de preguntas que nos podríamos hacer para tratar de entender este concepto; por ejemplo, ¿cuál es el espacio donde este clima existe?, ¿quién es el encargado de que las condiciones de este espacio varíen de forma tal que tengamos que definir un clima espacial?, ¿qué parámetros físicos se miden?, ¿cómo los medimos?, ¿cómo nos afectan las condiciones del clima espacial?, ¿es posible hacer predicciones de las condiciones que el clima espacial tendrá con cierto grado de anticipación? Para lograr dar respuesta a estas preguntas, lo primero que debemos saber es que nuestro Sol es el encargado de definir todo lo que concierne a clima espacial en nuestro planeta.

El Sol es una estrella de mediana edad en cuyo interior se llevan a cabo reacciones nucleares que convierten hidrógeno en helio. En esta conversión, cierta cantidad de energía es liberada y después de un viaje que llega a durar unos diez mil años, a través de las diferentes capas que componen al Sol, esta energía finalmente es liberada y llega a nuestro planeta

permitiendo, entre otras cosas, que exista la vida. Además, nuestro Sol produce un flujo constante de su propio material, conocido como *viento solar*, el cual barre todo el medio interplanetario, llegando más allá de la órbita del último planeta de nuestro sistema solar, que hace algunos años hubiera sido Plutón y que, sin embargo, tristemente le quitaron la categoría de planeta, dejándolo como una piedra cualquiera, formalmente: un planeta enano en las orillas de nuestro sistema solar.

Este viento solar no se expande hacia los confines del universo, por el contrario, llega a una distancia tal que se equilibra con otros vientos, llamados interestelares, lo que permite definir una burbuja que define el dominio de influencia del Sol y que recibe el nombre de *heliósfera*. La Figura 1 representa de forma esquemática a la heliósfera. Dentro de ella se puede ver cómo los planetas de nuestro sistema solar se encuentran embebidos por el viento solar y cómo este viento solar llega a un límite donde interactúa con el viento interestelar, definiendo una frontera.

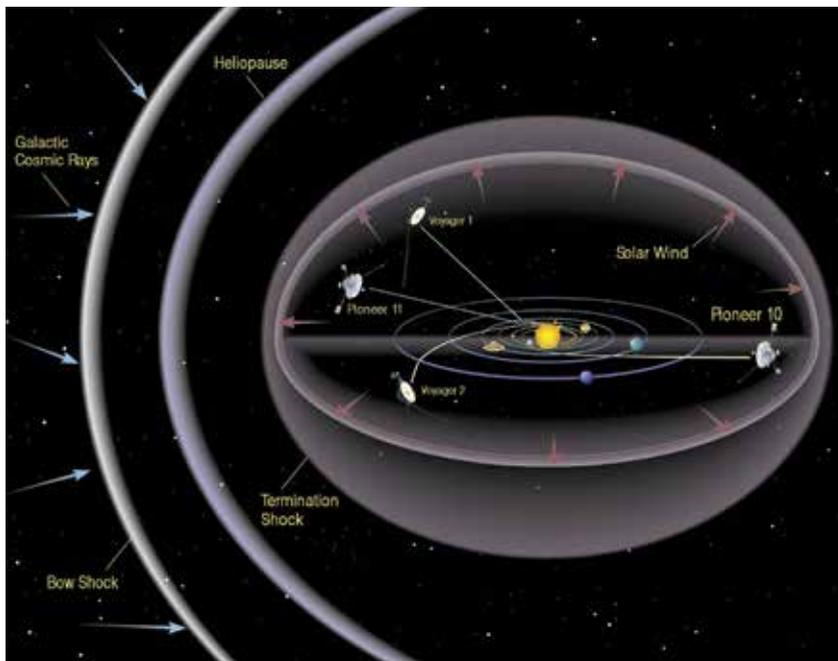


Figura 1. Esquema que representa la heliósfera, dominio de influencia de nuestro Sol.
Tomada de solarsystem.nasa.gov

La magnetósfera terrestre, nuestro escudo protector contra la actividad solar

Antes de continuar con el Sol, regresemos a nuestro planeta. La Tierra y otros planetas de nuestro sistema solar, como por ejemplo Júpiter, Saturno, entre otros, cuentan con un escudo protector contra el flujo del viento solar. Este escudo protector no es otra cosa más que el campo magnético que estos planetas producen de manera natural. El campo magnético de la Tierra, conocido como *magnetósfera terrestre*, nos protege del viento solar, el cual impacta nuestra magnetósfera con velocidades del orden de 400 a 600 km/s, haciendo que ésta se deforme y adquiera una topología como la que se ilustra esquemáticamente en la Figura 2. Como se puede observar, el efecto del viento solar sobre nuestra magnetósfera es el de comprimirla y deformarla. El grado de compresión dependerá de la presión que el viento solar ejerce al impactarla.

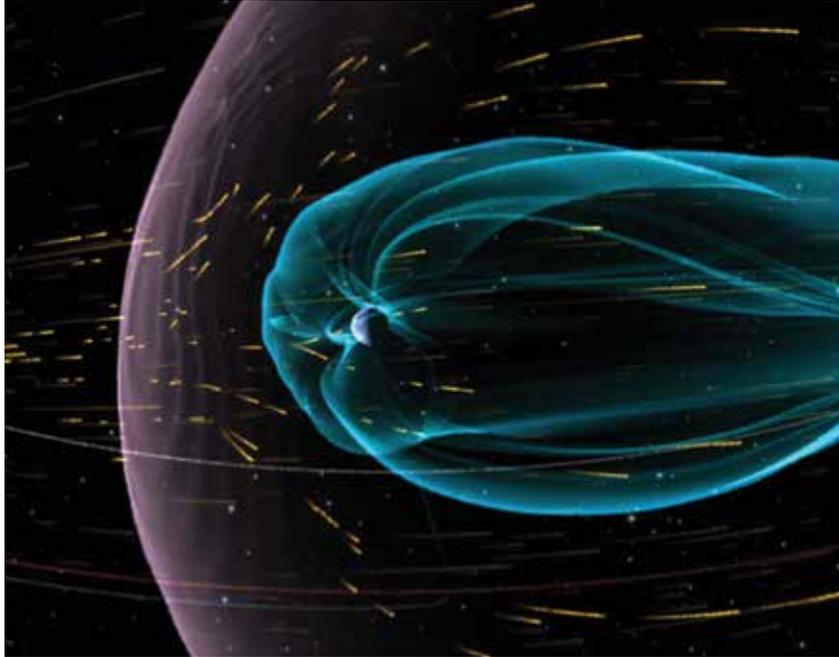


Figura 2. Esquema de nuestra magnetósfera terrestre y cómo ésta es deformada y comprimida por el viento solar. Tomada de www.amnh.org

Hasta ahora ya sabemos dos cosas que son fundamentales para comprender el clima espacial. Por un lado, sabemos que el Sol produce el viento solar y que éste barre a todo el sistema solar; por el otro, sabemos que nuestro planeta es capaz de protegerse del impacto de este viento gracias a su magnetósfera. Parece ser que no hay de qué preocuparnos y no necesitamos de algún súper héroe que nos proteja del viento solar, ya que nuestra magnetósfera es la heroína que cumple con esta labor tan importante. Sin embargo, sucede que el Sol, además de producir el viento

solar, también es capaz de producir fenómenos explosivos que son muy energéticos y que llegan a romper nuestro escudo protector, que hasta ahora pensábamos invencible.

El Sol es una estrella muy cambiante. Así como el ser humano, el Sol tiene sus momentos de paz y quietud; sin embargo, también como todo ser humano, el Sol puede ser muy activo, nos atreveríamos a decir que hasta violento. Esta característica cambiante de nuestro Sol se refleja en la cantidad de manchas que aparecen en su superficie. Cuando el Sol está quieto

difícilmente se observan manchas sobre su superficie. Sin embargo, con el paso del tiempo, comienzan a aparecerle grupos de manchas, llegando a presentar gran cantidad de éstas. Y es justo en este incremento en el número de manchas donde los fenómenos explosivos comienzan a ocurrir con mayor frecuencia. El paso de un Sol quieto (pocas manchas) a un Sol activo (muchas manchas) recibe el nombre de *ciclo de actividad solar*, y tiene una duración promedio de 11 años. La Figura 3 muestra dos

fotos de la superficie solar. La primera fue tomada durante el mínimo de actividad solar, donde se puede apreciar que no hay ninguna mancha y, por consiguiente, no se presentan fenómenos explosivos. La segunda foto fue tomada durante un máximo de actividad solar y resulta evidente la aparición de las manchas solares, indicativo de que el Sol está activo y listo para hacer un despliegue de explosiones de gran magnitud.

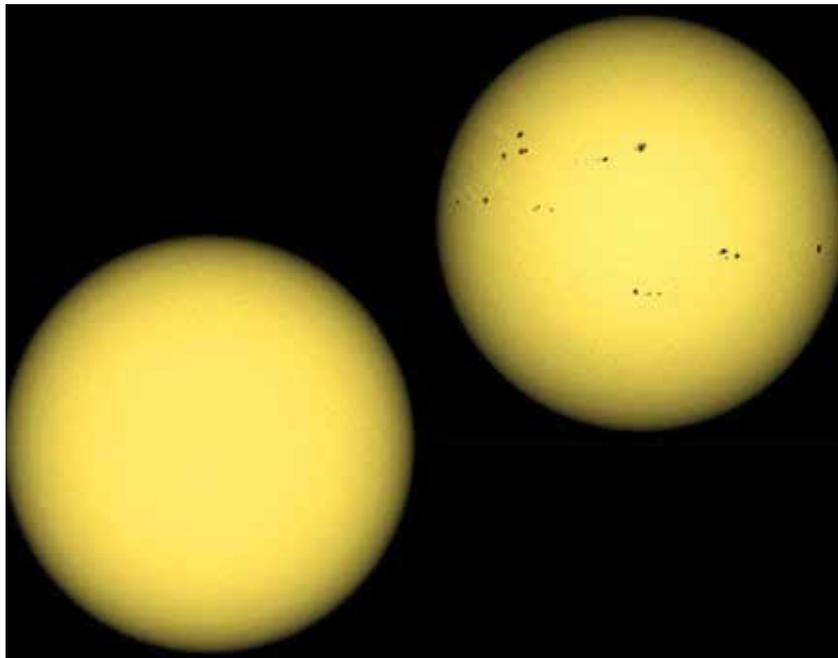


Figura 3. El Sol en mínimo y máximo de actividad solar. Tomada de www.boulder.swri.edu

Ejemplos de estas grandes explosiones solares son las *eyecciones de masa coronal*. Estas se definen como una liberación súbita de material solar que es expulsado desde el Sol hacia la heliósfera. Debido a que la atmósfera solar es muy tenue, resulta difícil observarlas a simple vista. Sin embargo, es posible observarlas con ayuda de un coronógrafo, ya sea montado en la superficie terrestre, o bien, en una nave espacial. Un *coronógrafo* es un instrumento que produce un eclipse artificial, con la ayuda de un disco de ocultación que se encuentra dentro del telescopio, el cual bloquea la luz proveniente de la superficie solar y permite observar la tenue atmósfera solar conocida como *corona*. Las eyecciones de masa coronal viajan a través del medio interplanetario con velocidades que van de algunos cientos de kilómetros por segundo y llegan a alcanzar velocidades de poco más de 2 mil kilómetros por segundo.

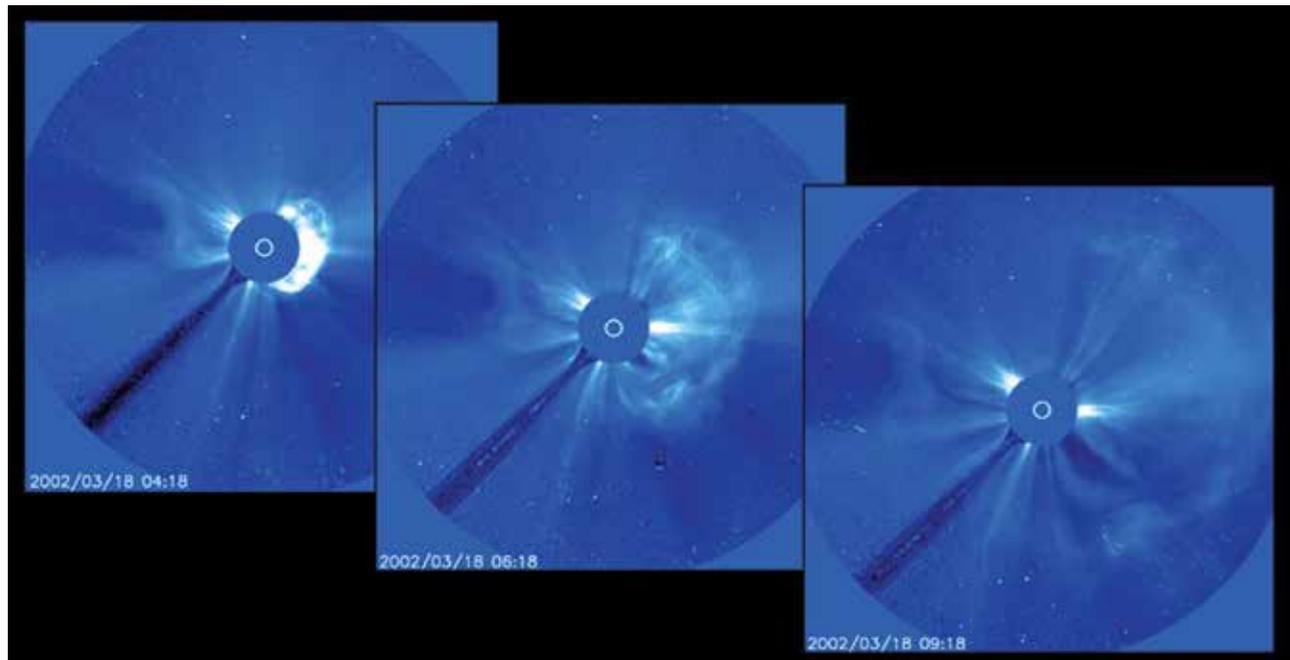


Figura 4. Secuencia de imágenes de una eyección de masa coronal que sale del Sol. Tomada de sohowww.nascom.nasa.gov

La Figura 4 muestra, en una secuencia de tres imágenes, la manera en la que una eyección de masa coronal es expulsada desde el Sol hacia el medio interplanetario. Estas imágenes fueron obtenidas por un coronógrafo montado en una nave espacial. Se puede notar que el coronógrafo oculta al Sol, el cual se representa por la circunferencia de color blanco en el centro de las imágenes hasta llegar a una distancia del orden de unos dos radios solares. Es impactante ver cómo la eyección de masa coronal se va expandiendo mientras transcurre el tiempo, llegando a tener un tamaño mucho mayor al del Sol a partir de la primera imagen. Una vez que la eyección de masa coronal se sale del campo de visión del coronógrafo, ya no es posible darle seguimiento usando este instrumento. Sin embargo, existen otras técnicas de observación para continuar con el seguimiento de estas explosiones de gran magnitud.

Otro fenómeno explosivo que ocurre en el Sol son

las llamadas *fulguraciones solares*. Estas se definen como un brillantamiento súbito en la superficie solar que libera una gran cantidad de energía. En cuanto a sus dimensiones, se diferencian de las eyecciones de masa coronal por ser muy pequeñas, sin embargo, liberan una mayor energía y son capaces de acelerar partículas solares a velocidades cercanas a la velocidad de la luz. La Figura 5 muestra una fulguración que explota en la parte izquierda del Sol. Se puede observar que la fulguración es muy pequeña comparada con la eyección de masa coronal que mostramos en la Figura 4. Además, esta imagen de la fulguración es obtenida en luz ultravioleta, a diferencia de las imágenes de coronógrafo, que son obtenidas en luz visible.

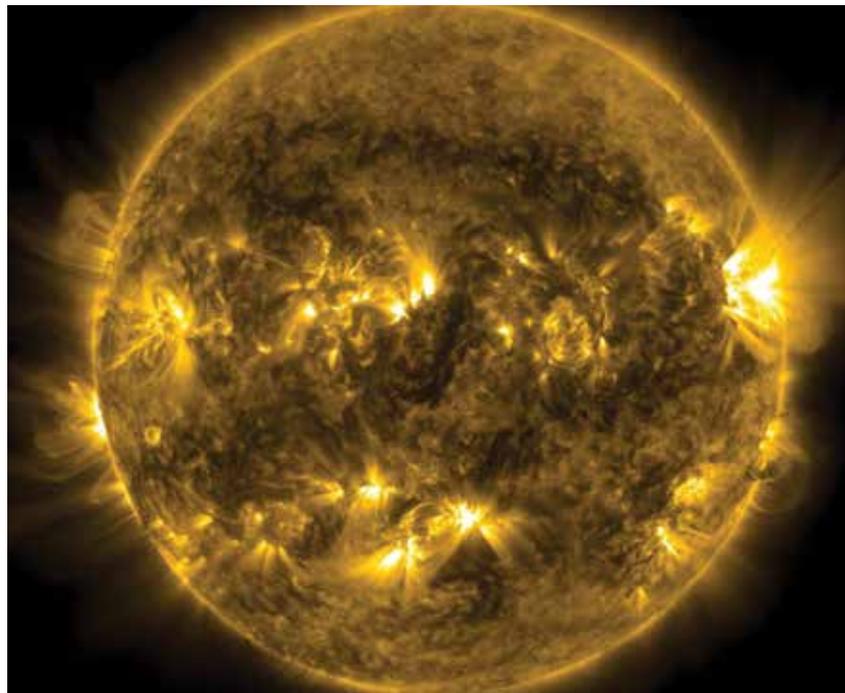


Figura 5. Fulguración solar. Fuente: NASA

En la Figura 5 también se pueden apreciar otras regiones brillantes, conocidas como *regiones activas*. Estas son el semillero de posibles nuevas fulguraciones y también están asociadas con las eyecciones de masa coronal. Sin embargo, el hecho de que se presente una fulguración no implica que también se vaya a generar una eyección de masa coronal. Las fulguraciones pueden producirse por sí solas sin que esto implique que estén acompañadas de algún otro fenómeno energético solar.

Vale la pena también comentar que el Sol, además de presentar el ciclo de actividad que ya hemos comentado, también presenta un ciclo magnético que tiene una duración promedio de 22 años, y que consiste básicamente en la

evolución que presenta el campo magnético global del Sol. Este ciclo consiste en una inversión cíclica de su polaridad magnética aproximadamente cada 11 años; es decir, cada 11 años el norte magnético pasa a ser sur magnético, y por consiguiente, el sur magnético se convierte en norte magnético. Un ciclo completo, por lo tanto, tiene una duración de 22 años. Estas inversiones de polaridad son muy rápidas si las comparamos con las variaciones del campo magnético global de nuestro planeta. Se sabe que nuestra Tierra no presenta periodicidades magnéticas tan marcadas como el Sol. Han existido inversiones de polaridad del campo magnético terrestre, sin embargo, son en escalas de tiempo muy grandes, de millones de años, y no presentan periodicidad.

¿Cómo afectan las manifestaciones de la actividad solar a nuestro planeta?

Tanto las fulguraciones como las eyecciones de masa coronal, siguen la variación del ciclo solar. Es decir, éstas aparecen con mayor frecuencia cuando el Sol está en su fase ascendente del máximo de actividad y descende su ocurrencia cuando el Sol se aproxima al mínimo de actividad. Una pregunta que inmediatamente nos podemos hacer es: ¿estas manifestaciones de la actividad solar afectan a nuestro planeta? La respuesta resulta ser un rotundo sí. Muchas eyecciones de masa coronal son expulsadas en dirección a nuestro planeta. Cuando esto ocurre, la eyección de masa coronal golpea violentamente a nuestra magnetósfera,

comprimiéndola fuertemente y, en muchos casos, desencadena fenómenos de reconexión magnética que permiten abrir nuestro escudo magnético protector. Esto da entrada a las partículas ionizadas, de la eyección de masa coronal, por los polos magnéticos de nuestro planeta. A este fenómeno se le conoce como *tormenta geomagnética*. Básicamente se define como una perturbación temporal de nuestra magnetósfera terrestre causada por el impacto de una eyección de masa coronal. La Figura 6 nos muestra de forma esquemática lo que una tormenta geomagnética representa.

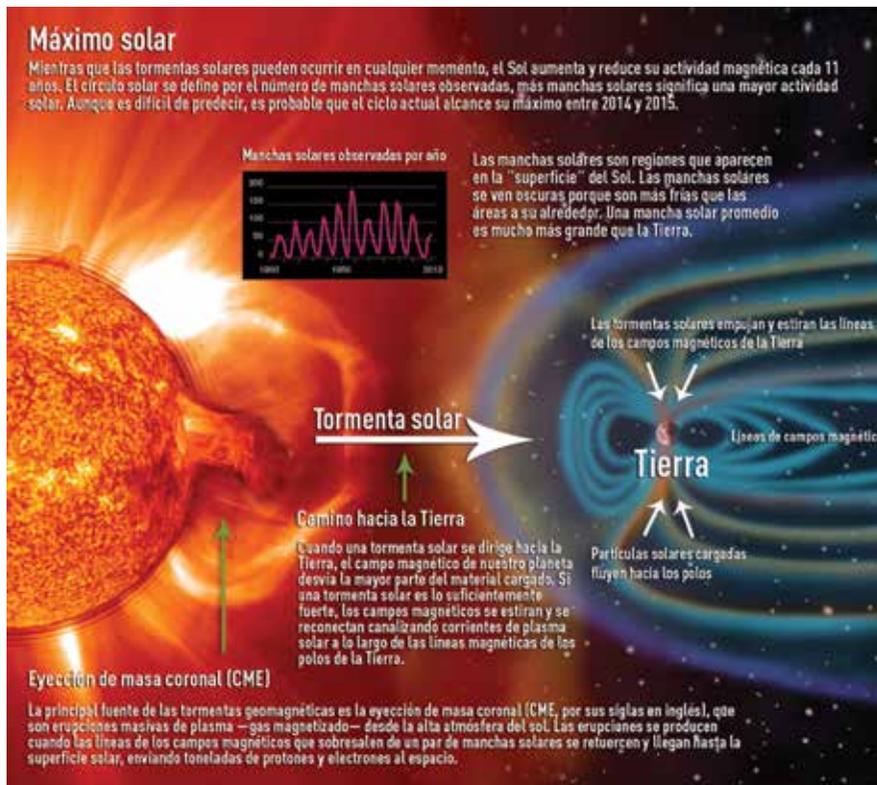


Figura 6. Tormenta geomagnética. Tomada de sci.esa.int

Un fenómeno natural -y por cierto, muy hermoso- que ocurre como consecuencia de una tormenta geomagnética son las llamadas *auroras boreales* (o *australes*, cuando ocurren en el hemisferio sur de nuestro planeta). Estas son producidas cuando partículas de una eyección de masa coronal que impacta nuestra magnetósfera se logran introducir en nuestro planeta por los polos magnéticos, produciendo colisiones de estas partículas con las partículas de nuestra atmósfera. Estas colisiones ocasionan una liberación de energía en forma de luz, cuyas tonalidades pueden ser de color rojo, verde, amarillo o rosa. Las auroras, por lo general, aparecen a latitudes muy altas, por ejemplo, al norte de Canadá. Sin embargo, si la eyección de masa coronal es muy intensa y comprime nuestra magnetósfera fuertemente, es posible ver auroras a bajas latitudes. Se han registrado auroras

boreales en Florida, EEUU, así como en nuestro país.

La Figura 7 nos muestra un ejemplo de una aurora boreal observada en Hammerfest, Noruega, ¿no te parece espectacular? Dentro del folclore y la mitología, existe una rica colección de leyendas sobre el origen de estas luces del norte. Por ejemplo, los esquimales de las partes más septentrionales de Canadá creen que las luces del norte son creadas por espíritus, los cuales, envueltos en luz mística, se la pasan bien porque el Sol ha desaparecido. A la aurora boreal moviéndose rápidamente se la llamaba la “danza de la muerte”. En el folclore de los esquimales del este de Groenlandia, las auroras son las almas de los bebés recién nacidos que han sido asesinados, o de los bebés que han

nacido muertos. Las luces del norte pueden ser llamadas “alugsukat”, que significa nacimiento secreto. La tribu Chuva tenía un dios llamado Suratan-Tura, que significa luces del Norte. Este dios bueno ayudaba a las mujeres a dar a luz. Las auroras boreales eran principalmente un signo de haber dado a luz a un hijo varón. Sin embargo, las luces del Norte consideradas como dioses no son una característica muy común entre las diferentes culturas. Nos llevaría muchísimas páginas citar toda la mitología que diversas culturas han creado alrededor de las auroras, pero lo cierto, y lo que no debemos perder de vista, es que es el Sol el responsable directo de las auroras, aunque nunca dejará de ser hermosa la forma en la cual nuestros ancestros las han interpretado desde sus respectivas culturas.



Figura 7. Aurora boreal. Tomada de www.seamepost.com

Desafortunadamente, no todo en la vida es color de rosa como una aurora boreal. Si bien, un efecto natural de las tormentas geomagnéticas son las auroras, también hay efectos de éstas que perjudican, por ejemplo, nuestra tecnología. Las tormentas geomagnéticas producen eventos de partículas energéticas solares que pueden dañar la electrónica de los satélites o causar una exposición importante de radiación a los astronautas que se encuentran en el espacio. También se producen corrientes geomagnéticas inducidas, las cuales generan campos magnéticos muy variables que causan interferencia en los sistemas de comunicación y provocan, a su vez, corrientes eléctricas en transformadores y sistemas de suministro de energía eléctrica, lo que provoca fallas y corto circuitos. También estas corrientes corroen con el tiempo a los gasoductos y oleoductos, haciendo que éstos se fracturen.

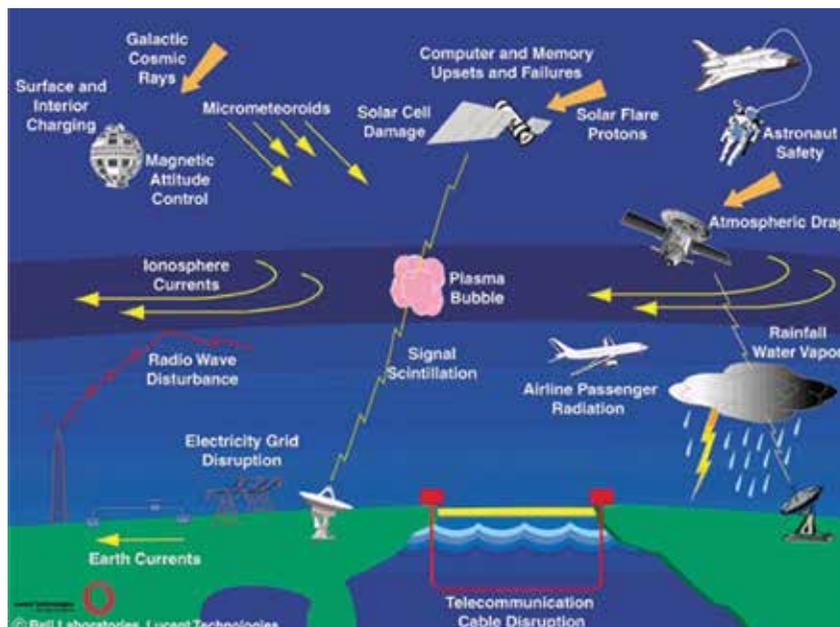


Figura 8. Efectos de una tormenta geomagnética en nuestra tecnología.
Tomada de astronomy.swin.edu.au

La Figura 8 nos muestra un esquema de las afectaciones que una tormenta geomagnética puede generar en nuestra tecnología. Son muchos los efectos perjudiciales debidos a una tormenta

geomagnética. Desde la década de los 90 se ha acuñado el término *clima espacial* para referirnos a las condiciones en el Sol y el viento solar, la magnetósfera, ionósfera y termósfera, que pueden afectar el desempeño y la fiabilidad de los sistemas tecnológicos terrestres y espaciales. Lo anterior acota perfectamente la región de estudio del clima espacial, a diferencia de la meteorología, cuyo estudio se limita a la atmósfera terrestre.

Rumbo a un Servicio de Clima Espacial

Con todos los elementos que se han dado hasta ahora, el lector ya se puede dar una idea más clara de lo que un servicio de clima espacial representa. En Estados Unidos, Canadá, algunos países de Europa y Asia, se cuenta con un servicio de clima espacial. Para dar un servicio de este tipo es necesario contar con la infraestructura básica para monitorear remotamente la actividad del Sol y también lo que ocurre cerca de nuestro planeta, lo cual se puede hacer desde la Tierra y también con la ayuda de naves espaciales. En este sentido, se cuenta con una amplia cobertura que incluye instrumentos para observar el Sol con coronógrafos, satélites que tienen detectores de rayos X, luz ultravioleta, así como antenas de radio y mediciones de las propiedades del viento solar en el lugar donde la nave espacial se encuentra, entre otros. Cada uno de estos instrumentos nos da información diferente acerca de las condiciones cambiantes en el Sol, el medio interplanetario y nuestro entorno terrestre.

En el presente año, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología hizo pública la convocatoria Cátedras CONACyT para jóvenes investigadores.

Esto permitió que la Unidad Michoacán del Instituto de Geofísica de la UNAM sometiera un proyecto sobre la creación de un servicio de clima espacial para México con sede en Morelia, Michoacán. El proyecto tuvo la fortuna de ser aceptado y se otorgaron cuatro cátedras, las cuales han sido ocupadas por cuatro jóvenes investigadores que cuentan con la experiencia idónea para dar los primeros pasos en la creación de este servicio de clima espacial. En cuanto a la infraestructura con la que se cuenta, se puede mencionar al Radio Telescopio de Centelleo Interplanetario, conocido como MEXART, que se encuentra ubicado en el municipio de Coeneo, Michoacán.

El MEXART, que se muestra en la Figura 9, es un arreglo de antenas que cubre una superficie de 10 mil metros cuadrados y su objetivo es detectar eyecciones de masa coronal que salen del Sol, utilizando la técnica de centelleo interplanetario. Esta técnica consiste, básicamente, en detectar señales provenientes de radio galaxias que sufren interferencia (en forma de ruido montado en la señal) al interactuar con una eyección de masa coronal.

Cuando se detecta este ruido montado en la señal podemos saber de manera indirecta que una eyección de masa coronal está saliendo del Sol. Con base en el análisis de datos de centelleo interplanetario se pueden determinar las velocidades de las eyecciones de masa coronal, también se pueden conocer las velocidades de viento solar, así como generar reconstrucciones tomográficas de eyecciones de masa coronal que salen del Sol y que llegan a la Tierra, entre otros cálculos.



Figura 9. Radio Telescopio de Centelleo Interplanetario de Coeneo, Michoacán.

El MEXART cuenta también con un GPS para estudiar las perturbaciones ionosféricas debidas a tormentas geomagnéticas, un magnetómetro para perturbaciones geomagnéticas, una antena de resonancia Schumman, un observatorio de rayos cósmicos y un telescopio de neutrones, entre otros instrumentos.

Debido a que una eyección de masa coronal que se dirige a la Tierra tarda de uno a tres días en impactarla, la predicción de que ésta afecte nuestro entorno terrestre es fundamental. Para ello, el servicio de clima espacial hará investigación tanto en la simulación de la propagación de eyecciones de masa coronal como en la posible predicción de si éstas afectarán o no a nuestro planeta. Este tema está lejos de ser comprendido totalmente; en la actualidad, muchos grupos de física espacial en el mundo trabajan arduamente en combinar observaciones y modelos computacionales para tratar de establecer la física que existe detrás de las tormentas geomagnéticas. No es una tarea sencilla, sin embargo se han logrado avances para tratar de comprender el fenómeno en su totalidad.

El proyecto de un servicio de clima espacial en nuestro país comienza a dar sus primeros pasos. En la actualidad ya cuenta con un nombre oficial: *Servicio de Clima Espacial - México*, cuyas siglas son: *SCiESMEX*. Este servicio es concebido como uno de los servicios que brinda la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través del Instituto de Geofísica. La inserción del *SCiESMEX* en el contexto internacional requiere de un proceso que inicia con la postulación

de este servicio para que forme parte del Servicio Internacional de Desarrollo Espacial (ISES), el cual es una red de colaboración de organizaciones de servicios de clima espacial a nivel mundial. En la actualidad el ISES cuenta con 16 Centros Regionales de Alertas que están distribuidos en América, Europa, Asia y Oceanía.

Los objetivos del ISES son proveer el pronóstico y monitoreo, en tiempo real, del clima espacial para reducir y mitigar los riesgos sobre la tecnología, la infraestructura crítica y las actividades humanas. También, facilitar la comunicación y coordinación internacional con respecto al clima espacial, particularmente durante los periodos de incremento de la actividad solar y eventos extremos de clima espacial. Finalmente, otro de los objetivos del ISES es mejorar los servicios de clima espacial y promover su entendimiento y los efectos que éste tiene en los usuarios, investigadores, medios, y público en general. En nuestro continente, solamente Canadá, Estados Unidos y Brasil cuentan con centros regionales de alertas. El *SCiESMEX* se encuentra en un momento idóneo para consolidarse, en el corto plazo, como un centro regional de alertas y posicionar a nuestro país dentro del ISES.



Figura 10. Servicio de Clima Espacial - México (SCiESMEX).
Tomada de www.sciesmex.unam.mx, twitter: @SCiESMEX.

Desde el mes de noviembre del presente año, el SCiESMEX ha comenzado a dar alertas de clima espacial a través de sus diferentes plataformas de comunicación que son: (a) página electrónica: www.sciesmex.unam.mx; (b) facebook: www.facebook.com/sciesmex; y (c) twitter: @SCiESMEX. Los usuarios de redes sociales pueden acceder a toda la información que proporciona el SCiESMEX, y también pueden recibir las alertas en tiempo real, ya sea en su teléfono celular, tabletas o cualquier tipo de dispositivo electrónico que cuente con acceso a internet.

El servicio de clima espacial en México ya es una realidad. Las gestiones para hacer del SCiESMEX un centro regional de alertas

van por buen camino. Con base en el trabajo colectivo, las colaboraciones con la Agencia Espacial Mexicana y otras instancias gubernamentales, se espera que con el paso del tiempo este servicio logre consolidarse y que sea el estado de Michoacán el referente obligado en lo que a estudios de clima espacial se refiere en nuestro país. Del mismo modo, esta es una excelente oportunidad para que diversos grupos científicos y tecnológicos se interesen en desarrollar tanto líneas de investigación en clima espacial, como en instrumentación, a lo largo del territorio nacional. La divulgación del servicio de clima espacial es fundamental debido a que permitirá crear una cultura sobre este tema tan fascinante en nuestro país, y además se espera que con el paso del tiempo el servicio de clima espacial logre ser tan familiar para la población como lo es el servicio sismológico nacional, el meteorológico nacional, entre otros servicios con los que cuenta nuestro país.



Agradecimientos

Deseo extender mi agradecimiento a DGAPA/PAPIIT, proyecto: IN109112. También quiero agradecer al Dr. J.A. González Esparza por los comentarios y sugerencias en la elaboración de este artículo.

Bibliografía sugerida

Moldwin M. (2008), *An Introduction to Space Weather*, Cambridge University Press.

Howard T. (2014), *Space Weather and Coronal Mass Ejections* (Springer Briefs in Astronomy), Springer.

Carliwicz M., Lopez, R. (2002), *Storms from the Sun: The Emerging Science of Space Weather*, National Academies Press.

Poppe, B. B., Jorden, K. P. (2006), *Sentinels of the Sun: Forecasting Space Weather*, Johnson Books.



Editado por el Consejo Estatal de Ciencia,
Tecnología e Innovación de Michoacán.

Se terminó de imprimir en el mes de diciembre
de 2014, en los Talleres Gráficos de Editorial
Morevalladolid, S. de R.L. de C.V., ubicados en
la calle de Tlalpujahua No. 445, Col. Felicitas del
Río, Tel. 327-68-81, Morelia, Michoacán.

La edición estuvo al cuidado de la Subdirección de
Difusión del CECTI, en su composición se utilizó
tipografía Trebuchet MS y se imprimió en papel
bond de 90 grs.

El tiraje constó de 500 ejemplares.