



Servicio Clima Espacial

Reporte Especial

<http://www.sciesmex.unam.mx>



ISES
International Space
Environment Service

AEM
AGENCIA ESPACIAL MEXICANA



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE
PREVENCIÓN DE DESASTRES

Reporte Especial

24 de marzo de 2024

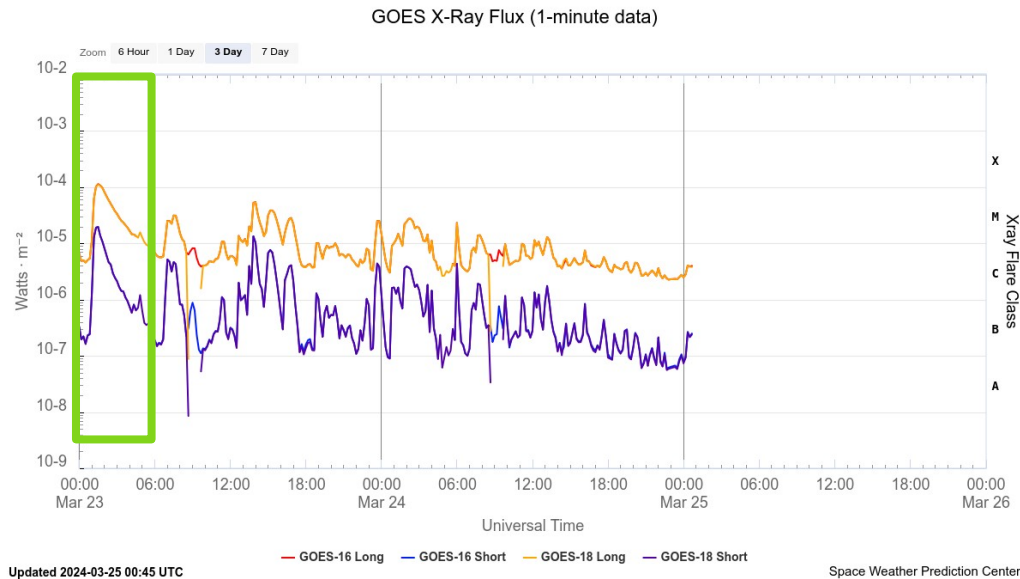
RESUMEN

El día de hoy se registró la tormenta geomagnética más intensa de los últimos años. A pesar de su intensidad, la tormenta geomagnética tuvo una duración breve (un par de horas). La tormenta geomagnética fue provocada por viento solar anómalo que impactó a la Tierra en la mañana de hoy (Domingo 24 de marzo).

El viento solar anómalo puede ser material de un hoyo coronal (observado el 20 de marzo) y el material de una eyección de masa coronal expulsada identificada el pasado 23 de marzo.

La corta duración de la tormenta evitó que este fenómeno provocara alteraciones en servicios y tecnologías sensibles al clima espacial.

A pesar de que el evento no representa riesgos para la salud humana, ni tendrá repercusiones significativas en nuestra tecnología, requiere ser vigilado.



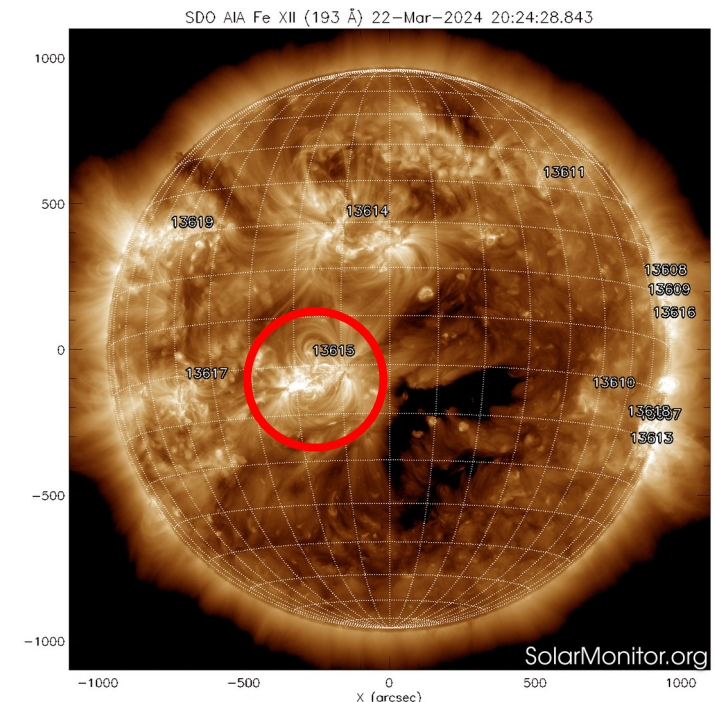
Imágenes: <http://services.swpc.noaa.gov/>

La fulguración ocurrió en la región activa 13615 (circunferencia roja). La cual se encuentra cerca del centro del disco solar [S12E13], tuvo una duración de aproximadamente 4 horas, alcanzando su máximo a las 19:30 (hora del centro).

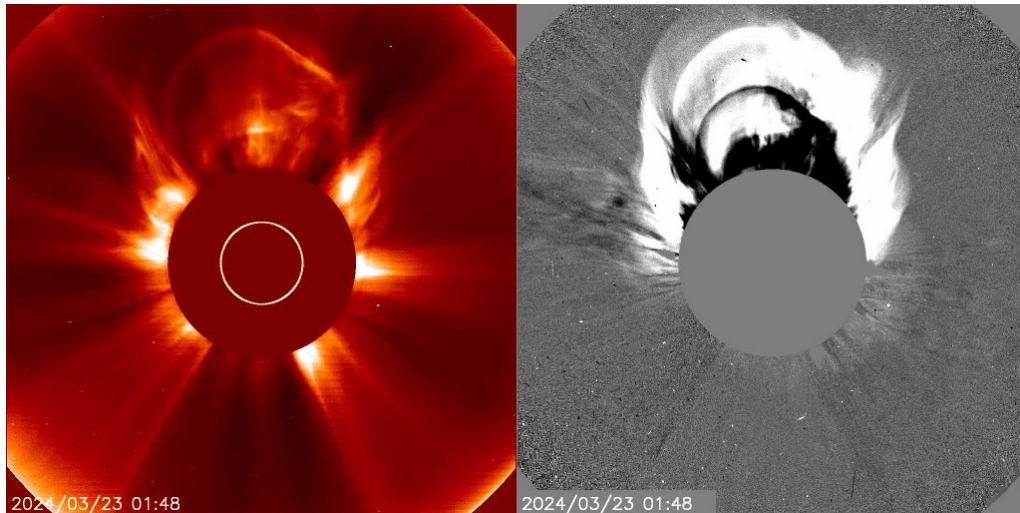
<http://solarmonitor.org>

Flujo de rayos X solares detectado por los satélites GOES.

A las 19:00 (hora del centro de MX) del 22 de marzo se detectó una fulguración solar clase X1.0, recuadro verde en el flujo de rayos X (panel superior izquierdo).



Eyección de masa coronal



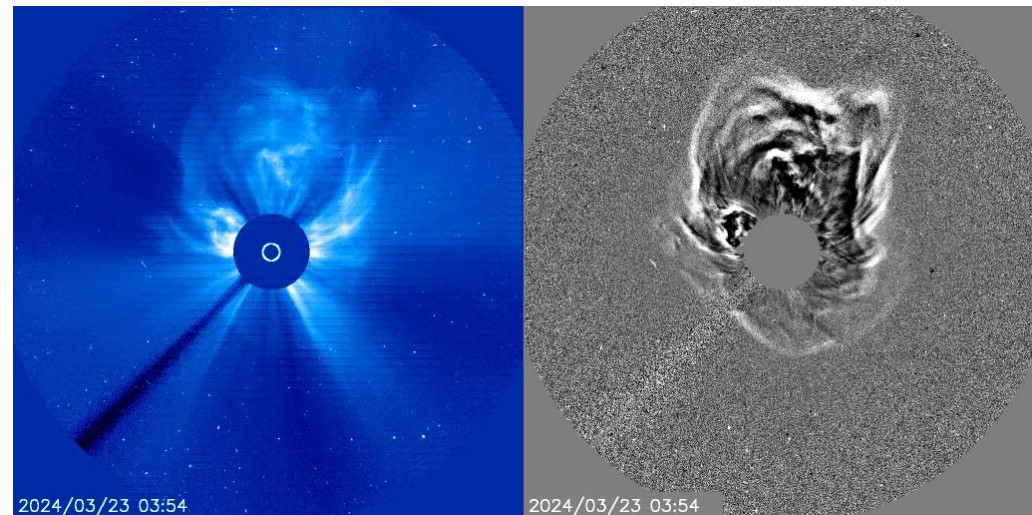
<https://sohowww.nascom.nasa.gov/home.html>

El panel izquierdo de la figura inferior muestra la imagen de la corona solar observada por LASCO-C3. Mientras que el panel derecho de la figura resalta en color blanco el material de la eyección de masa coronal.

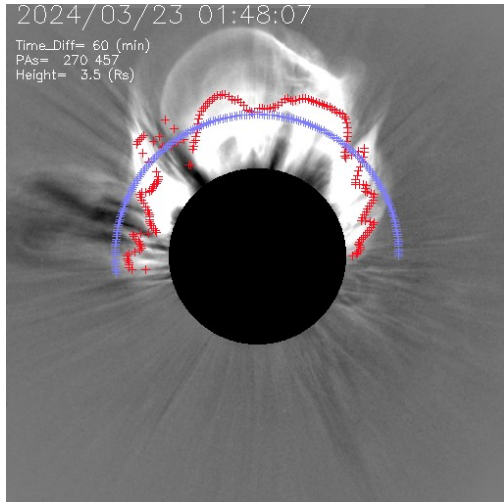
En ambas figuras el tamaño del Sol está representado por una circunferencia blanca.

Posteriormente, el coronógrafo LASCO, ubicado en el satélite SOHO, detectó la expulsión de una eyección de masa coronal a las 19:48 (hora del centro).

El panel izquierdo de la figura superior muestra la imagen de la corona solar observada por LASCO-C2. Mientras que el panel derecho de la figura resalta en color blanco el material de la eyección de masa coronal.



Eyección de masa coronal



<http://spaceweather.gmu.edu/seeds/realtime.php>

La velocidad con que cada sistema detectó al fenómeno fue:

859 km/s [SEEDs]

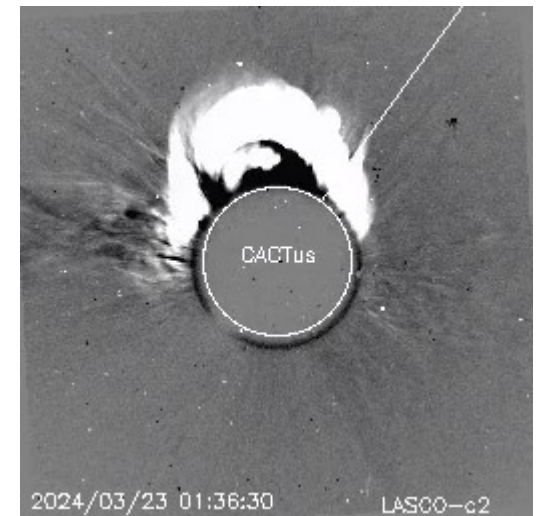
647 km/s [CACTus]

A pesar que la eyecta no aparenta dirigirse a la Tierra, el fenómeno provocó una onda de choque que sí es posible que afecte el ambiente terrestre.

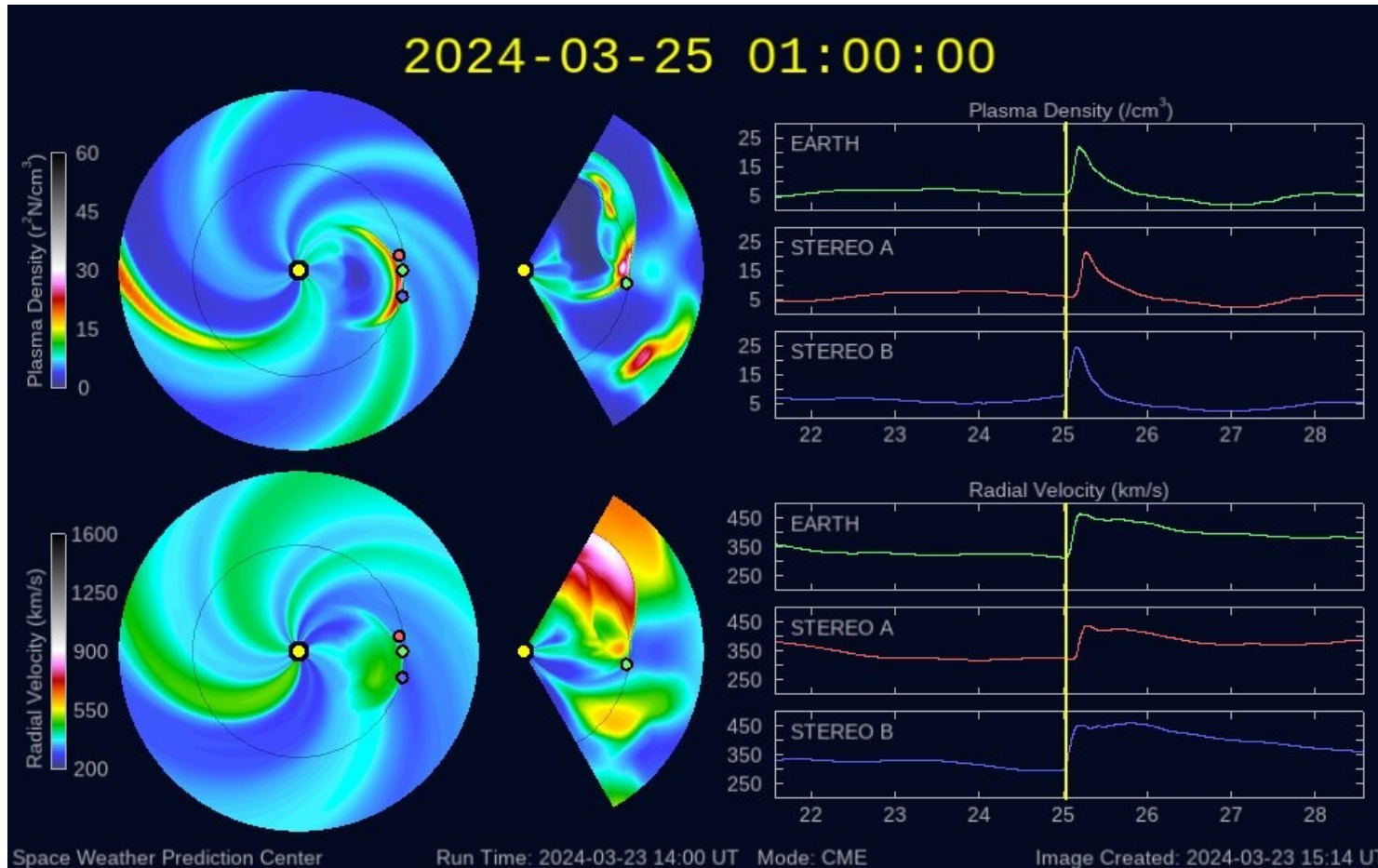
Los sistemas automáticos de detección de eyecciones de masa coronal reportaron el fenómeno de manera independiente.

La figura superior izquierda muestra la detección realizada por SEEDs y la figura inferior derecha la realizada por CACTus.

A pesar que la eyección de masa coronal es tipo Halo-parcial, su dirección de propagación aparente es hacia el norte del Sol. Esto es que es poco probable que impacte a la Tierra.



<https://www.bis.sidc.be/cactus/>



Simulación numérica realizada por el SWPC de la NOAA por medio del modelo ENLIL+WSA.

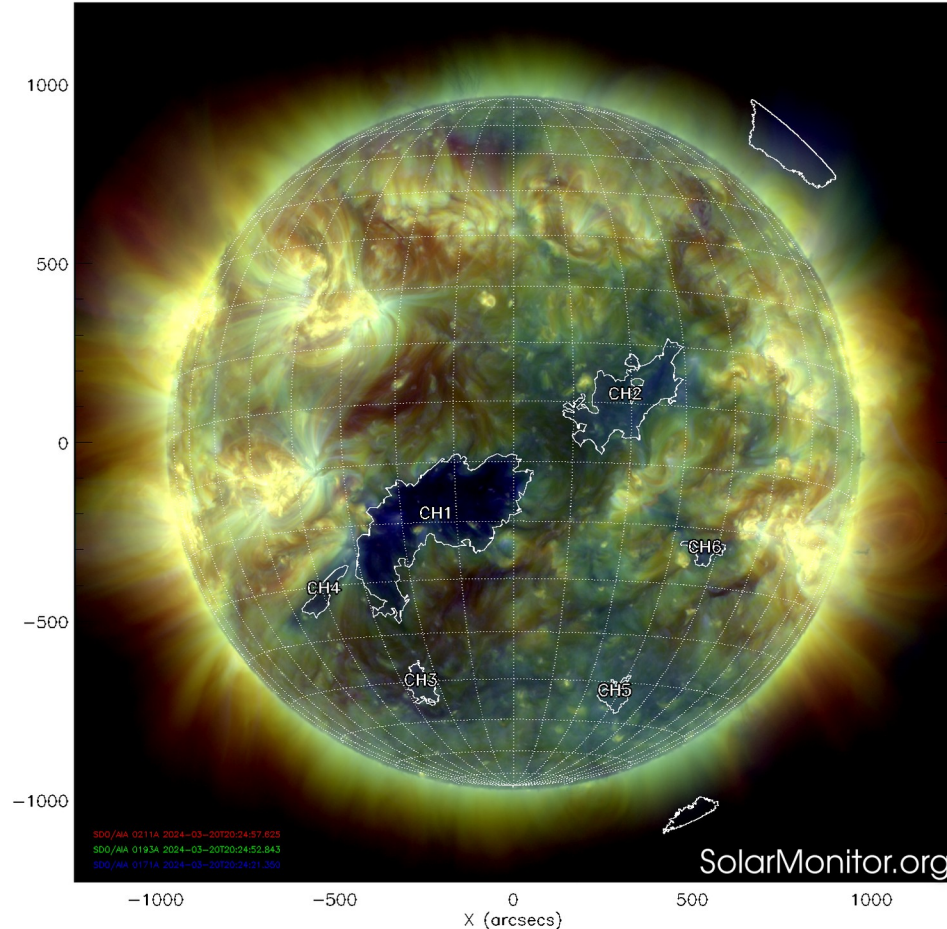
En la simulación se aprecia que la eyección de masa coronal+onda de choque podrían impactar la Tierra en las primeras horas (TU) del 25 de marzo. En otras palabras, la tarde del 24 de marzo.

La línea amarilla señala la hora estimada de impacto.

<https://www.swpc.noaa.gov/products/wsa-enlil-solar-wind-prediction>

Condiciones Solares Pre-evento

CHIMERA Coronal Holes at 20-Mar-2024 20:24:52.843 UT



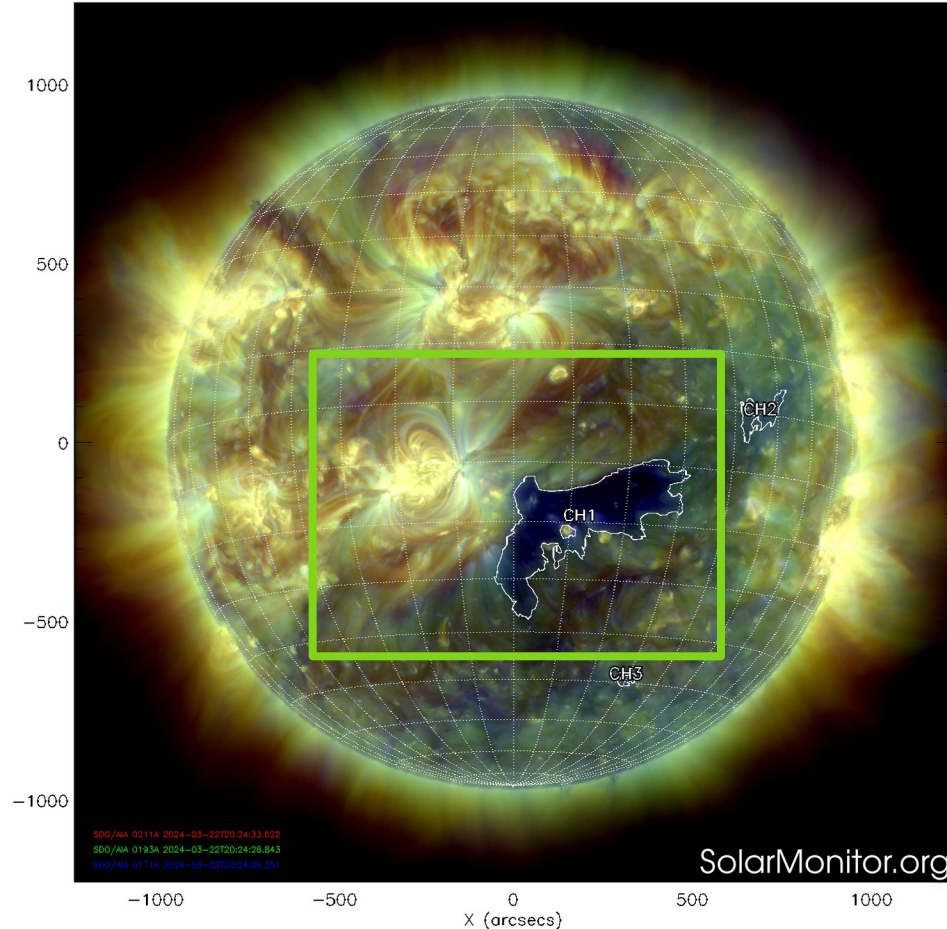
<https://www.solarmonitor.org/chimera.php>

En la figura se muestra una composición de imágenes de la atmósfera (corona) solar. Las regiones brillantes son zonas de alta densidad, mientras que las regiones oscuras, son zonas de baja densidad de partículas y flujo intenso de campo magnético. De estas zonas oscuras u hoyos coronales, fluye viento solar rápido (700 km/s) y caliente.

Tres días antes de que fuera expulsada la eyección de masa coronal, se observó el tránsito de un hoyo coronal (región oscura en la imagen) "CH1" cercano a la región ecuatorial del Sol (línea Sol-Tierra). Por lo tanto, el viento solar de este hoyo coronal posiblemente podría afectar el ambiente terrestre entre el 23 y 25 de marzo.

Condiciones Solares Pre-evento

CHIMERA Coronal Holes at 22-Mar-2024 20:24:28.843 UT

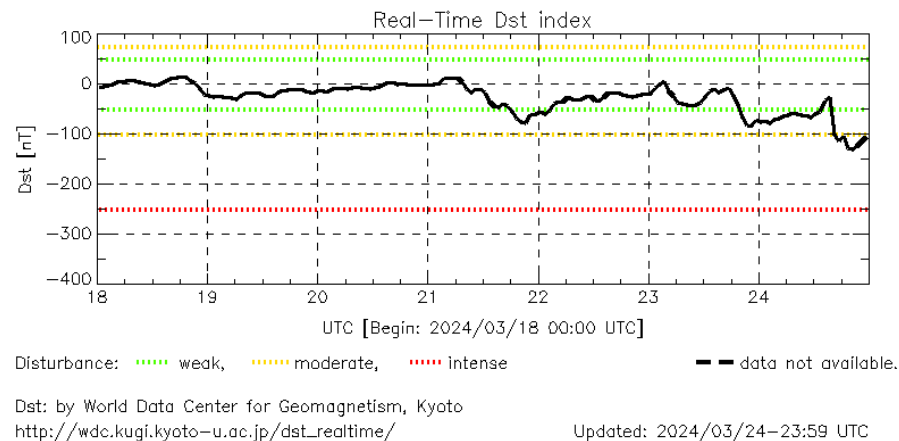
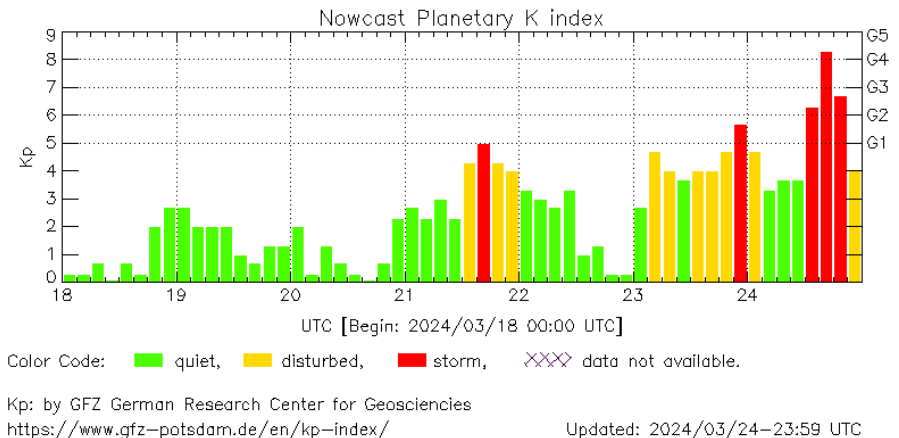


Incluso el día de ocurrencia de la fulguración y de expulsión de la eyección, el hoyo coronal CH1 estaba adyacente a la Región Activa donde se presentaron los fenómenos solares.

Ver recuadro verde.

<https://www.solarmonitor.org/chimera.php>

Efectos en el campo magnético de la Tierra



Kp: <https://kp.gfz-potsdam.de/en/>

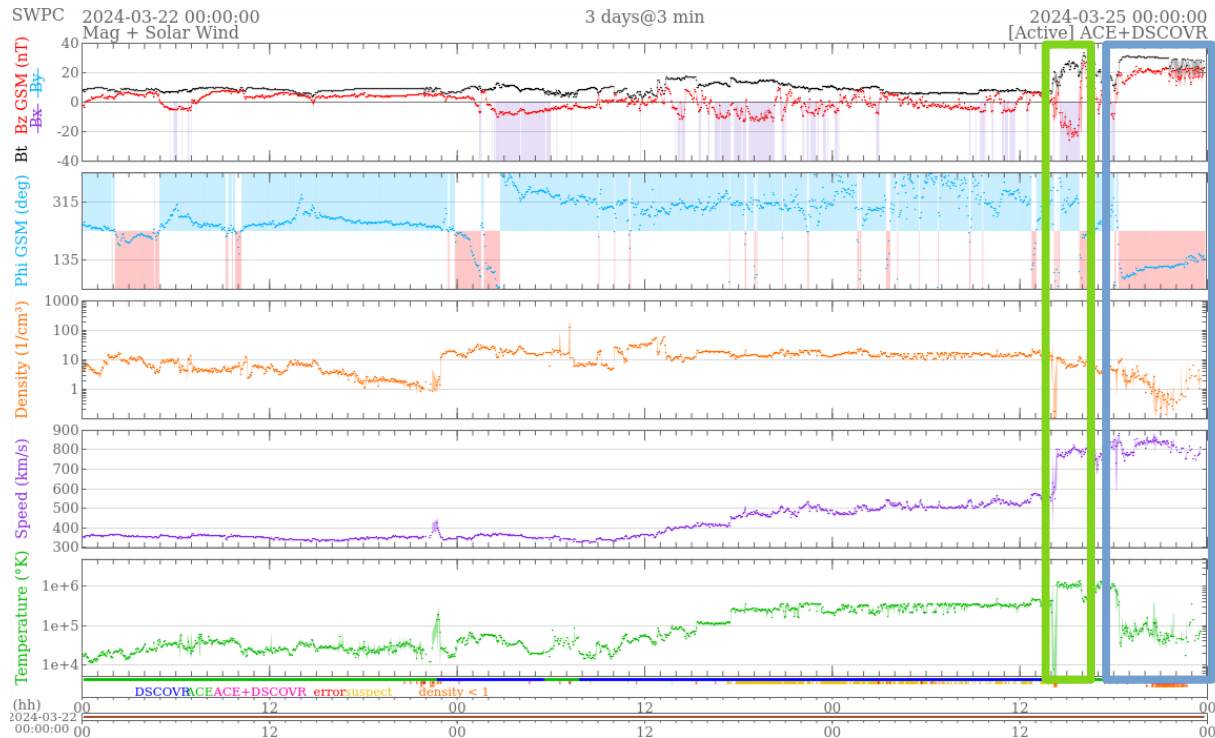
DST: https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_realtime

El panel superior muestra los registros del índice Kp para la última semana. Las barras rojas representan los periodos (3-horarios) considerados de tormenta. El panel inferior corresponde al índice Dst, donde los valores negativos indican periodos (horarios) de campo magnético perturbado.

En las figuras se observa que en el medio día (tiempo central de MX) del 24 de marzo se registró una tormenta geomagnética clase G4 (Kp=8), con un mínimo en el índice Dst de -130 nT.

En términos del índice Kp, éste fue un valor muy alto, sin embargo la duración fue breve. Para el caso del índice Dst, se puede observar que el campo magnético de la tierra empezó a presentar alteraciones desde el 21 de marzo. Estas alteraciones se intensificaron a partir del 23 de marzo para alcanzar un valor mínimo el día 24 de marzo.

¿Qué provocó la tormenta geomagnética?



<https://www.swpc.noaa.gov/products/real-time-solar-wind>

La figura muestra las mediciones del viento solar cercano a la Tierra realizadas por el satélite DSCOVR de la NOAA. De arriba a abajo se presentan el campo magnético (B-negro, Bz-rojo), polaridad de B, densidad, velocidad y temperatura de protones.

La región dentro del recuadro verde fue la parcela de viento solar que provocó la tormenta geomagnética Kp=8. Esta parcela tenía una componente Bz sur (Bz negativo) intenso y una velocidad alta.

Estas son condiciones suficientes para provocar una tormenta geomagnética intensa, como la registrada el día de hoy. Las propiedades de este material son consistentes con las del viento solar rápido con origen en hoyos coronales. Detrás de este material, posiblemente se esté observando el arribo del material de la eyección de masa coronal (recuadro azul). Debido a que esta región tiene características consistentes con las eyecciones de masa coronal.

La fase más intensa de la tormenta geomagnética aparentemente terminó.

La estructura magnética del material del viento solar no sugiere la posibilidad de que se reactive la tormenta.

El campo magnético de la Tierra y el ambiente espacial terrestre regresarán paulatinamente a la normalidad.

UNAM/LANCE/SCIESMEX

Dr. J. Américo González Esparza

Dr. Pedro Corona Romero

Dra. Maria Sergeeva

Dr. Julio C. Mejía Ambriz

Dr. Luis Xavier González Méndez

Ing. Ernesto Andrade Mascote

M.C. Pablo Villanueva Hernández

Dr. Ernesto Aguilar-Rodríguez

M.C. Carlos Isaac Castellanos Velasco

Dra. Verónica Ontiveros

Dra. Tania Oyuki Chang Martínez

Dr. Víctor José Gatica Acevedo

Dra. Angela Melgarejo Morales

Isaac David Orrala Legorreta

UNAM ENES-Morelia

Dr. Mario Rodríguez Martínez

Dr. José Juan González Avilés

M.C. Raúl Gutiérrez Zalapa

Ing. Ariana Varela Mendez

Mateo Peralta Mondragón

Jaquelin Mejía Orozco

Grace Diane Jiménez González

UNAM/PCT

Dra. Elsa Sánchez García

Dr. Carlos Arturo Pérez Alanís

M.C. Isaac Castellanos Velasco

UANL/LANCE

Dr. Eduardo Pérez Tijerina

Dra. Esmeralda Romero Hernández

Dr. José Enrique Pérez León

Ing. Iván Antonio Peralta Mendoza

Roel Aramis Olivera López

Fís. Rogelio Aguirre Gutiérrez

M.C. Adolfo Garza Salazar

UNAM/IGF/RAYOS CÓSMICOS

Dr. José Francisco Valdés Galicia

Fis. Alejandro Hurtado Pizano

Ing. Octavio Musalem Clemente

SERVICIO MAGNÉTICO

M.C. Esteban Hernández Quintero

M.C. Gerardo Cifuentes Nava

Dra. Ana Caccavari Garza

GPCEET/SAET-IPN

Ing. Julio César Villagrán Orihuela

Miguel Daniel González Arias

Carlos Escamilla León

Pablo Romero Minchaca

Alfonso Iván Verduzco Torres

Claudia López Martínez

Ana María Ramírez Reyes

Emiliano Campos Castañeda

Elaboración: Pedro Corona Romero

Agradecimientos

El Laboratorio Nacional de Clima Espacial (LANCE) es parcialmente financiado por: el programa Cátedras CONACYT Proyecto 1045 y el Fondo Sectorial AEM-CONACYT proyecto 2014-01-247722. Agradecemos al proyecto Conacyt – Repositorio Institucional de Clima Espacial 268273. Agradecemos al proyecto AEM-2018-01-A3-S-63804 del Fondo Sectorial CONACYT-AEM. Agradecemos a todos los responsables y colaboradores de instrumentos del LANCE y a las redes de estaciones GPS del Servicio Sismológico Nacional y TlalocNET por facilitar sus datos. Agradecemos a Gerardo Cifuentes, Esteban Hernández y Ana Caccavari por los datos del Observatorio Magnético de Teoloyucan. De igual forma, agradecemos los servicios de IGS (International GNSS Service) por permitirnos usar los datos IONEX disponibles en: <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products/ionex>. Los valores de TEC fueron obtenidos a partir de observaciones de las redes GPS del Servicio Sismológico Nacional (SSN), SSN-TLALOCNet y TLALOCNet del Servicio de Geodesia Satelital (SGS). Agradecemos al personal del SSN y del SGS por el mantenimiento de estaciones, la adquisición de datos y el soporte de IT de estas redes. Las operaciones de la red TLALOCNet y SSN-TLALOCNet GPS han sido apoyadas por The National Science Foundation bajo el proyecto EAR-1338091 a UNAVCO Inc., los proyectos CONACyT 253760 y 256012 y los proyectos UNAM-PAPIIT IN109315-3 y IN104818-3 de E. Cabral-Cano y el proyecto UNAM-PAPIIT IN111509 de R. Pérez. De igual forma, agradecemos a los proyectos de infraestructura del CONACyT: 253691 y del PAPIIT-DGAPA: IA107116 para el fortalecimiento de equipos como la estación fija de GPS, que forman parte del LACIGE-UNAM, de la ENES unidad Morelia a cargo de M. Rodríguez-Martínez, El cálculo de TEC se realiza: 1) utilizando el software US-TEC que es un producto de operación del Space Weather Prediction Center (SWPC), desarrollado a través de una colaboración entre National Geodetic Survey, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y el Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences of the University of Boulder, Colorado, 2) con base en el software TayAbsTEC del Instituto de Física Solar-Terrestre, sección Siberiana de la Academia de Ciencias Rusa. Parte del procesamiento de datos se lleva a cabo dentro del centro de Supercómputo de Clima Espacial (CESCOM) del LANCE. Así mismo agradecemos al Space Weather Forecasting Center for Astrophysics & Space Research de la University of California in San Diego y al Korean Space Weather Center por los datos de pronóstico para los modelos WSA-ENLIL y los mapas tomográficos por IPS. Agradecemos a la red e-callisto por los datos proporcionados de espectros electromagnéticos dinámicos de la red internacional de registro de eventos de radio solares.

Datos

Imágenes de coronógrafo, flujo de rayos X y modelo WSA-ENLIL:

<http://www.swpc.noaa.gov/products>

<http://iswa.ccmc.gsfc.nasa.gov/IswaSystemWebApp/>

Imágenes de coronógrafo:

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/>

Imágenes del disco solar y de la fulguración:

<http://www.solarmonitor.org/>

Detección y caracterización de EMCs:

<http://www.sidc.oma.be/cactus/out/latestCMEs.html>

<http://spaceweather.gmu.edu/seeds/>

ISES:

<http://www.spaceweather.org/>

International Network of Solar Radio Spectrometers (e-callisto):

<http://www.e-callisto.org/>

German Research Center For Geosciences Potsdam:

<http://www.gfz-potsdam.de/en/sektion/erdmagnetfeld/daten-dienst/kp-index/>

Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Kyoto University:

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>

UNAVCO:

<http://www.unavco.org>

SSN:

<http://www.sismologico.unam.mx/>

SOHO Spacecraft NASA:

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>

SDO Spacecraft NASA:

<http://sdo.gsfc.nasa.gov/>

Space Weather Prediction Center NOAA:

<http://www.swpc.noaa.gov>

GOES Spacecraft NOAA:

<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/index.html>

ACE Spacecraft NOAA

<http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/index.html>