



Asamblea General

Distr. general
25 de septiembre de 2024
Español
Original: inglés

Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Informe del Curso Práctico de las Naciones Unidas y Alemania relativo a la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial: Preparación para el Máximo Solar

(Neustrelitz, Alemania, 10 a 14 de junio de 2024)

I. Introducción

1. El clima espacial se está convirtiendo en un tema central que requiere de una coordinación internacional mejorada y sostenida para responder a los eventos extremos del clima espacial, lo que incluye una c mejor compartición de los datos a escala internacional. Además, existe una necesidad de contar con modelos del clima espacial e instrumentos de pronóstico más avanzados que satisfagan las necesidades de los usuarios, y es preciso que los productos y pronósticos obtenidos con esos modelos se difundan y compartan de forma coordinada.
2. La Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial, puesta en marcha en 2009, ha permitido a los científicos utilizar datos de los sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS) en estudios sobre el clima espacial. Esos datos han unido a científicos de diversas disciplinas (como la sismología y el estudio de la ionosfera y la atmósfera) para trabajar en el ámbito del clima espacial y han hecho posible aplicar la física fundamental de las relaciones entre el Sol y la Tierra a la vida cotidiana, algo sumamente importante para quienes formulan políticas.
3. El Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite (ICG), creado en 2005, ha cumplido una importante función en la labor de la Iniciativa, dado que las tormentas geomagnéticas, las erupciones solares y las irregularidades ionosféricas pueden restar exactitud a las funciones de determinación de la posición, navegación y cronometría de los GNSS. Al mismo tiempo, los datos que suministran las estaciones de GNSS son muy útiles para evaluar distintos aspectos de la respuesta de la ionosfera a las tormentas magnéticas y a otros efectos del clima espacial.
4. En el boletín electrónico de la Iniciativa y su página web (www.iswi-secretariat.org) se publica información sobre todos los logros derivados de la cooperación y coordinación internacionales en el marco de la Iniciativa, incluidos los relativos a la instrumentación, el análisis de datos, la modelización, la educación, la capacitación y la divulgación pública.
5. El curso práctico de las Naciones Unidas relativo a la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial: Preparación para el Máximo Solar, fue organizado por la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre con el apoyo del Centro Aeroespacial



Alemania (DLR). Se celebró en Neustrelitz (Alemania) del 10 al 14 de junio de 2024 y contó con el copatrocinio del ICG.

6. En el presente informe se exponen los antecedentes, los objetivos y el programa del curso práctico y se resumen las observaciones y las conclusiones formuladas por los participantes. El informe se ha preparado para presentarlo a la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos en su 68º período de sesiones y para someterlo al examen de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 62º período de sesiones, ambos en 2025.

A. Objetivos

7. En consonancia con el examen realizado por la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos del tema del programa titulado “Clima espacial” (véase A/AC.105/1307, párrs. 132 a 143), los objetivos del curso práctico fueron los siguientes: a) centrar la atención en el despliegue de nuevos instrumentos, en particular en los países en desarrollo; b) examinar los métodos de análisis de datos sobre el clima espacial y la interpretación de esos datos; c) poner de relieve los resultados y las conclusiones de las nuevas investigaciones; y d) fortalecer la coordinación y la cooperación internacionales respecto de los productos y servicios relacionados con el clima espacial.

8. Las deliberaciones mantenidas durante el curso práctico también estuvieron relacionadas con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Los temas de debate y los Objetivos conexos fueron los siguientes:

a) La continuación de la labor en la educación sobre el clima espacial para definir y caracterizar mejor los eventos extremos del clima espacial y la probabilidad de que ocurran y para evaluar su repercusión en los sistemas tecnológicos (Objetivo 4: Educación de calidad).

b) La contribución de la investigación sobre el clima espacial a promover el desarrollo sostenible previniendo perturbaciones catastróficas en la infraestructura crítica terrestre y espacial y en los servicios basados en la tecnología espacial, sobre todo durante eventos extremos del clima espacial (Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructuras).

c) La coordinación internacional de los servicios operacionales relacionados con el clima espacial, incluida la vigilancia, el pronóstico y la sensibilización, con el objetivo general de proteger la vida, los bienes y la infraestructura crítica (Objetivo 17: Alianzas para lograr los Objetivos).

B. Programa

9. En la apertura del curso práctico pronunciaron discursos de bienvenida la Directora de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre; los representantes de la autoridad en materia de ciencia e investigación del estado de Mecklenburgo-Pomerania Occidental (Alemania), del DLR y de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América, así como el alcalde de Neustrelitz (Alemania).

10. El discurso inaugural, a cargo del representante de Alemania y titulado “La actividad solar y el clima en la ionosfera”, versó sobre el acoplamiento entre la actividad solar y la ionosfera terrestre, así como sobre los efectos de la actividad solar en la propagación de las ondas de radio, tema que se había venido estudiando en Neustrelitz desde hacía más de 100 años. Se señaló que los procesos de la ionosfera eran una parte esencial del complejo campo del clima espacial, y que comprender esos procesos y modelizarlos era importante para mitigar los efectos del clima espacial en las infraestructuras tecnológicas modernas. Se resaltó que la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial —actividad que tomaba el relevo del Año Heliofísico

Internacional— ofrecía nuevas oportunidades de entender mejor las relaciones entre el Sol y la Tierra y los efectos del clima espacial en la vida cotidiana.

11. El programa del curso práctico constó de 11 sesiones técnicas y debates sobre las observaciones y las conclusiones, a lo que siguieron las declaraciones de clausura de los coorganizadores y de participantes. Se presentaron 18 pósteres, y en las sesiones técnicas se impartieron 52 ponencias, que trataron los temas de las erupciones solares, sus orígenes en el Sol y sus consecuencias en el geoespacio (la magnetosfera, la ionosfera, la atmósfera y el suelo); las erupciones solares y sus efectos en la ionosfera y la atmósfera; la relación entre las erupciones solares y las eyecciones de masa coronal; los eventos extremos del clima espacial; los instrumentos y métodos para la educación y la divulgación sobre el clima espacial; los agujeros coronales y las corrientes de alta velocidad asociadas a las regiones de interacción de corrientes; las partículas energéticas solares y los fenómenos asociados, como las ráfagas radioeléctricas coronales e interplanetarias; las irregularidades ionosféricas y sus efectos en los GNSS y las anomalías en los vehículos espaciales; las tormentas geomagnéticas y la variabilidad del cinturón de radiación a causa de las eyecciones de masa coronal y las regiones de interacción de corrientes; el pronóstico del clima espacial con diversas técnicas, incluido el aprendizaje automático; la instrumentación relacionada con el clima espacial; y el uso operacional del clima espacial.

12. Las sesiones de pósteres y debate ofrecieron a los participantes la oportunidad de examinar problemas y proyectos concretos relacionados con el clima espacial, en particular, los complejos de instrumentos y su estado de funcionamiento y coordinación, así como el uso operacional de los datos sobre el clima espacial.

13. Se organizó una visita técnica informativa al museo tecnológico para los participantes del curso práctico.

14. El programa del curso práctico fue elaborado por la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, el DLR y la NASA, en cooperación con un comité organizador científico internacional. Las presidencias y relatorías de las sesiones técnicas proporcionaron sus observaciones y notas como aportaciones para la preparación del presente informe.

15. Las ponencias y los resúmenes de los documentos presentados en el curso práctico, así como el programa y la documentación de referencia, se pueden consultar en el sitio web de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (www.unoosa.org).

C. Asistencia

16. La Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre invitó a científicos, ingenieros y docentes de países en desarrollo y países industrializados de todas las regiones a que participaran en el curso práctico e hicieran contribuciones a él. Se seleccionó a los participantes atendiendo a su formación científica, educacional y de ingeniería y a su experiencia en la ejecución de programas y proyectos en los que la Iniciativa hubiera desempeñado un papel destacado.

17. Los gastos de viaje, alojamiento y de otra índole de 23 participantes procedentes de 20 países se sufragaron con fondos aportados por las Naciones Unidas y el ICG. En total, se invitó a asistir al curso práctico a 80 expertos.

18. Estuvieron representados en el curso práctico, de manera presencial o en línea, los siguientes 31 Estados Miembros: Alemania, Argentina, Austria, Brasil, Canadá, Chequia, China, Côte d'Ivoire, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Ghana, Grecia, India, Indonesia, Italia, Japón, Kenya, Nepal, Nigeria, Noruega, Pakistán, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, República de Corea, Rwanda, Serbia, Sri Lanka, Sudáfrica, Tailandia, Türkiye y Ucrania. También asistieron al curso práctico representantes de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre.

II. Observaciones y conclusiones

19. Los participantes en el curso práctico observaron que las eyecciones de masa coronal eran expulsiones de grandes cantidades de plasma magnetizado desde la atmósfera solar baja al espacio interplanetario. Esas eyecciones eran, junto con las erupciones solares —que a menudo las acompañaban—, los mayores procesos de liberación de energía de todo el sistema solar, y también la principal causa de perturbaciones del clima espacial en la Tierra y en otros planetas. De hecho, se sabía que las eyecciones de masa coronal generaban los efectos más extremos del clima espacial, por ejemplo, tormentas geomagnéticas que podían inducir en el tendido eléctrico corrientes eléctricas capaces de provocar fallas generalizadas en la red de suministro y daños en las infraestructuras. Además, las tormentas geomagnéticas podían alterar las señales de los GNSS y restarles exactitud. Por ello realizar una intensa labor investigadora que permitiera entender mejor los procesos físicos que entraban en juego en el campo complejo e interdisciplinario del clima espacial era esencial para proteger la tecnología, las infraestructuras y las actividades humanas tanto en el espacio como en la Tierra.

20. Los participantes en el curso práctico observaron que seguía siendo difícil pronosticar los efectos de las eyecciones de masa coronal por su complejidad y variabilidad y por la falta de mediciones exactas del propio viento solar de fondo. Para mejorar los pronósticos, era indispensable elaborar modelos avanzados de la corona y de la heliosfera que incorporasen datos del viento solar en tiempo real y mediciones pormenorizadas de los campos magnéticos. Además, los datos reunidos mediante misiones como la sonda solar Parker de la NASA y el Solar Orbiter de la Agencia Espacial Europea (ESA) proporcionarían información detallada sobre el entorno cercano al Sol, lo que permitiría conocer mejor los procesos de iniciación de las eyecciones de masa coronal y de interacción de estas con el viento solar.

21. Los participantes en el curso práctico observaron que las manchas solares eran zonas temporalmente oscuras que se podían observar en la superficie del Sol y cuyo aspecto oscuro se debía a su temperatura, más baja que la de su entorno, y se observó que esas estructuras eran indicativas de la presencia de un campo magnético intenso. La relación entre la actividad de las manchas solares y la actividad de las erupciones solares, así como los principios físicos que subyacían a esas erupciones, habían cobrado relevancia por los efectos de esos fenómenos activos en el clima espacial. Comprender las erupciones solares y las actividades conexas revestía importancia porque esa comprensión era una herramienta para pronosticar el clima espacial, que afectaba al espacio interplanetario y a la alta atmósfera de la Tierra y, por tanto, al sistema meteorológico.

22. Los participantes tomaron nota de cómo los distintos tipos de manchas solares se asociaban a distintos grados de actividad solar. Durante los debates se habló sobre la clasificación de la intensidad de las erupciones solares y sobre la relación de ello con las distintas clasificaciones de la intensidad de la actividad solar. Se indicó que los grupos de manchas solares se clasificaban de dos maneras distintas: en función de su morfología y evolución (clasificación de Zúrich modificada) y en función de sus propiedades magnéticas (clasificación magnética de Monte Wilson). Se señaló también que la clasificación magnética de Monte Wilson de los grupos de manchas solares se podía utilizar como principal criterio de pronóstico para establecer un modelo más razonable de pronóstico de las erupciones solares.

23. Los participantes en el curso práctico observaron que los eventos extremos del clima espacial se consideraban eventos de gran impacto y baja probabilidad que se iniciaban en el Sol en forma de erupciones solares y eyecciones de masa coronal de grado extremo. Los participantes tomaron nota de la celebración del Gran Año de la Heliofísica, un acontecimiento mundial dedicado a la ciencia solar y a la influencia del Sol en la Tierra y en todo el sistema solar que, mediante diversas actividades en 2024 y 2025, se centraría en el estudio de los elementos del sistema Sol-geoespacio que podrían ocasionar eventos importantes o extremos del clima espacial.

24. Los participantes en el curso práctico tomaron nota de la iniciativa relativa a los Equipos de Acción Internacional sobre Clima Espacial (ISWAT), que se había puesto en marcha en el marco del Comité de Investigaciones Espaciales (COSPAR) y que era un centro mundial para colaborar en diversos problemas relacionados el clima espacial. Uno de los objetivos del equipo S2-01 del ISWAT era estudiar y comparar diferentes métodos de detección automática de agujeros coronales y formular estrategias para evaluar cuantitativamente la incertidumbre sobre la ubicación de los límites de esos agujeros. También se tomó nota de que se había puesto a disposición del público un conjunto de imágenes coronales con fines de análisis (véase <https://iswat-cospar.org/S2-01>).

25. Se informó a los participantes del curso práctico de que el Community Coordinated Modeling Center, una alianza interinstitucional para la investigación que apoyaba la creación de modelos avanzados de ciencia espacial y clima espacial, ofrecía un mecanismo que permitía validar, ensayar y mejorar modelos de investigación con los que pronosticar el clima espacial. Además, permitía acceder a un gran número de los más recientes modelos de investigación. La colección de modelos aumentaba constantemente y abarcaba todos los dominios científicos, desde la corona solar a la alta atmósfera de la Tierra. Se podía acceder a ese servicio científico en la web <http://ccmc.gsfc.nasa.gov>.

26. También se informó a los participantes del curso práctico sobre los primeros resultados obtenidos en la región ecuatorial de África con una ionosonda basada en radio definida por *software* (SDR) de bajo costo. Se señaló que, tras realizar una comparación, el rendimiento de esa ionosonda basada en SDR, de bajo costo y baja potencia, era equiparable o superior al de las ionosondas convencionales disponibles en la región en lo que respectaba a su fiabilidad, flexibilidad y exactitud en la determinación de los principales parámetros ionosféricos.

27. Los participantes en el curso práctico observaron que la erupción de prominencias podía influir notablemente en el entorno Sol-Tierra. Se indicó que el análisis de los datos mostraba una correlación entre el aumento de la altura de una prominencia y los períodos de oscilación, lo que apuntaba a un posible vínculo con la erupción posterior observada por el vehículo espacial Solar Terrestrial Relations Observatory (STEREO). Por consiguiente, esos hallazgos proporcionaban información nueva sobre las dinámicas de las prominencias y podían allanar el camino para prever mejor las erupciones, lo que facilitaría el pronóstico del clima espacial en lo sucesivo.

28. Los participantes en el curso práctico observaron que entre los fenómenos ionosféricos primarios que podían dar lugar a efectos del clima espacial en los GNSS cabía mencionar la aparición de gradientes pronunciados en el contenido total de electrones de la ionosfera, las irregularidades ionosféricas que ocasionaban variaciones rápidas en la amplitud o la fase de las señales (centelleo) y los aumentos repentinos del ruido de fondo o del contenido total de electrones a causa de ráfagas radioeléctricas solares o erupciones solares. Esos fenómenos se habían demostrado utilizando las observaciones del contenido total de electrones realizadas mediante GNSS que figuraban en la base de datos Madrigal (véase <http://cedar.openmadriral.org/>). En ese momento se estaba descargando y procesando a diario la información procedente de más de 6.000 estaciones de GNSS. Ese conjunto de datos se había utilizado para monitorizar las firmas ionosféricas de las características de la densidad potenciada por las tormentas, las erupciones solares, las pulsaciones geomagnéticas, las estructuras aurorales, los eventos de calentamiento de la estratosfera y la explosión volcánica de Tonga.

29. Además, la base de datos Madrigal incorporaba observaciones de centelleos obtenidas mediante redes de receptores GNSS especializados en ese fenómeno. Ya se podían consultar en línea los datos de centelleo correspondientes a todo 2023 y 2024. Esa base de datos reunía datos procedentes de diversas redes, entre ellas la de Detectores del Clima Auroral de Alaska y el Canadá en el Espacio (MACAWS), la Red Ionosférica del Alto Ártico Canadiense (CHAIN), la Red de Sensores Ionosféricos de Bajas Latitudes (LISN) y la red del Instituto Nacional de Geofísica y Vulcanología (INGV) de Italia.

30. Los participantes en el curso práctico observaron que, a fin de suministrar datos pertinentes para el avance de la segunda generación del sistema europeo de aumentación basado en satélites (EGNOS V3), se había establecido una extensa red de receptores repartidos por todo el mundo con los que analizar los datos sobre el contenido total de electrones y el centelleo. Además, se había intentado registrar flujos de datos sobre eventos de centelleo intensos ocurridos en regiones de latitud alta y baja. Esos flujos de datos podían usarse posteriormente como escenarios de ejemplo con los que ensayar la fiabilidad de distintos receptores GNSS frente a centelleos intensos en la fase y en la amplitud de las señales.

31. Los participantes en el curso práctico observaron también que la Iniciativa abarcaba 19 instrumentos. Alemania estaba a cargo del mantenimiento de dos de ellos: el Instrumento Astronómico Compuesto de Bajo Costo y Baja Frecuencia para Funciones de Espectroscopia y Observatorio Transportable (CALLISTO) y el Sistema Mundial de Detección de Erupciones Ionosféricas (GIFDS). Se señaló que el DLR estaba operando en Neustrelitz varios receptores de CALLISTO (de 10 a 80 MHz, de 100 a 800 MHz y de 1.000 a 1.600 MHz), así como varios receptores de GIFDS para monitorizar las ráfagas radioeléctricas solares y las erupciones solares. Se puso de relieve que los receptores originales se habían seguido desarrollado en lo que al *software* y el *hardware* se refería, para reducir el ruido al mínimo y facilitar la labor de mantenimiento, con miras a que se pudiera observar el comportamiento de distintas trayectorias de propagación. De ese modo, se habían obtenido unos receptores compactos que incorporaban una pantalla y una computadora personal y que servían como base para efectuar una amplia gama de análisis de eventos del clima espacial.

32. Los participantes en el curso práctico observaron que se habían desplegado varios espectrómetros de CALLISTO por todo el mundo y que entre todos constituían la red e-Callisto. Los datos de cada instrumento se cargaban automáticamente mediante un protocolo de transferencia de ficheros en el servidor central de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes del Noroeste de Suiza y se podían consultar en la dirección www.e-callisto.org/ junto con la documentación técnica de CALLISTO.

33. Los participantes del curso práctico examinaron el problema de pronosticar el clima espacial con los métodos tradicionales, así como las ventajas de utilizar técnicas de aprendizaje automático para detectar y caracterizar los fenómenos del clima espacial.

34. Con respecto al clima espacial operacional, se señaló que el Centro de Excelencia en Investigación y Aplicaciones Tecnológicas del Clima Espacial (SPARTA) utilizaría modelos computacionales para reproducir las perturbaciones del clima espacial y se valdría de experimentos, inteligencia artificial y aprendizaje automático para idear soluciones que ayudasen a mejorar el rendimiento de los satélites y otras tecnologías de navegación en condiciones adversas.

35. Se señaló también que la Red del Servicio sobre el Clima Espacial de la ESA prestaba servicios preoperacionales para las operaciones de los vehículos espaciales con arreglo a un modelo federado de prestación de servicios que permitía proporcionar a los usuarios finales una gama muy amplia de productos e información sobre las condiciones actuales y próximas del clima espacial, así como apoyo para el análisis posterior a eventos. Además, se proporcionaban los primeros datos obtenidos con el Sistema Distribuido de Sensores del Clima Espacial de la ESA por conducto del Portal de la ESA sobre el Clima Espacial (<https://swe.ssa.esa.int>).

36. Los debates mantenidos durante el curso práctico ayudaron a determinar lo siguiente: a) deficiencias importantes en cuanto a los tipos de instrumentos y su cobertura; b) problemas en el mantenimiento de los instrumentos y el flujo de datos desde las perspectivas de la continuidad, recopilación, análisis y modelización de los datos; y c) el modo de atraer a científicos que se encontrasen al principio de sus carreras y apoyar otras iniciativas internacionales en curso relacionadas con el clima espacial.

37. Los participantes del curso práctico convinieron en que los datos captados por los complejos de instrumentos de la Iniciativa deberían combinarse con datos espaciales y con otros datos terrestres por medio de la modelización y de mediciones con el fin de impulsar la ciencia del clima espacial, lo que permitiría obtener resultados sólidos en

las investigaciones y publicar artículos científicos en revistas internacionales. Convinieron también en que las comunidades dedicadas al clima espacial y a los GNSS deberían compartir datos y colaborar en la investigación sobre el clima espacial.

38. Deberían proseguir los esfuerzos orientados a alcanzar el objetivo de pronosticar el clima espacial de manera fiable, con el apoyo de los Estados Miembros en el marco de la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos y con la participación de toda la comunidad dedicada a la ciencia espacial en general y de la comunidad dedicada al clima espacial en particular.

39. Los participantes del curso práctico formularon las siguientes recomendaciones:

a) Se debería seguir ofreciendo creación de capacidad y orientación técnica a los países que deseen participar en actividades científicas y educativas sobre el clima espacial.

b) Se deberían seguir ofreciendo oportunidades de mantener alianzas con entidades dedicadas a la creación de capacidad y desarrollando actividades en el marco de las Naciones Unidas.

c) Se debería promover una mayor cooperación internacional para atender las necesidades actuales y futuras en cuanto a servicios relacionados con el clima espacial y se debería establecer un mecanismo de coordinación, de participación voluntaria y apoyado por la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre, según convenga.

40. Para que la coordinación y las colaboraciones a nivel internacional en la investigación y los servicios sobre el clima espacial sean eficaces, no debería haber impedimentos a los flujos de datos y las comunicaciones. A tal fin, debería promoverse en el plano nacional una política de datos abiertos que incluya normas de funcionamiento y relativas a los datos.

41. Se informó a los participantes de que las actas del curso práctico serían publicadas por Springer Publishing Company. En las actas se reflejaría la situación de la investigación a nivel mundial sobre el clima espacial, con especial hincapié en los países en desarrollo. Se invitó a todos los participantes a que presentaran a los editores de las actas los resultados de sus investigaciones sobre el clima espacial.

42. Los participantes en el curso práctico tomaron nota de que Nigeria se había ofrecido para acoger la edición de 2025 del curso práctico. Se tomó nota también del interés de la República de Corea en acoger la edición de 2026.

43. Los participantes del curso práctico expresaron su agradecimiento a las Naciones Unidas, el DLR, los copatrocinadores y el comité organizador científico por el contenido del curso práctico, así como por la excelente organización y por su culminación con éxito.
