Naciones Unidas A/AC.105/1370

Asamblea General

Distr. general
10 de noviembre de 2025
Español
Original: inglés

Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

Informe del Curso Práctico de las Naciones Unidas y Nigeria relativo a la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial: El Clima Espacial Durante un Ciclo Solar Moderado

(Abuja, 6 a 10 de octubre de 2025)

I. Introducción

1. La necesidad de comprender mejor las relaciones entre el Sol y la Tierra surgió del Año Heliofísico Internacional, un esfuerzo coordinado internacionalmente para promover y fomentar la investigación sobre el Sol y sus efectos en el sistema solar y más allá. El objetivo de la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial, lanzada en 2009, fue desarrollar la comprensión necesaria para conocer la ciencia y reconstruir y pronosticar el clima espacial en el entorno cercano a la Tierra. Ello incluyó elaborar redes de instrumentos, facilitar la comunicación de datos, ofrecer creación de capacidad (educación, formación y webinarios) y llevar a cabo actividades de divulgación pública. En el boletín 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.

2. La Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre y la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Espaciales, en nombre del Gobierno de Nigeria, organizaron conjuntamente el Curso Práctico de las Naciones Unidas y Nigeria relativo a la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial: El Clima Espacial Durante un Ciclo Solar Moderado. El curso práctico estuvo coorganizado y copatrocinado por el Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite. La Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Espaciales acogió el curso práctico en Abuja del 6 al 10 de octubre de 2025.

3. 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 69º período de sesiones y someterlo al examen de la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos en su 63er período de sesiones, ambos en 2026.

A. Antecedentes y objetivos

4. En todo el mundo está creciendo el interés por comprender mejor las interacciones entre el Sol y la Tierra, y especialmente las pautas y las tendencias del clima espacial.

V.25-18121 (S) 021225 021225

Se ruega reciclar

Ello obedece no solo a razones científicas, sino también a que el funcionamiento fiable de los bienes y la infraestructura terrestres y espaciales depende cada vez más de su solidez frente a los efectos perjudiciales del clima espacial. Por tanto, es importante conocer mejor la física del clima espacial, aumentar las capacidades de previsión y elaborar estrategias para mitigar sus efectos en la infraestructura tecnológica.

5. En consonancia con el examen realizado por la Subcomisión de Asuntos Científicos y Técnicos del tema del programa titulado "Clima espacial"[1], 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) estudiar métodos para analizar e interpretar datos sobre el clima espacial; 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. Las deliberaciones mantenidas durante el curso práctico, además, estuvieron relacionadas con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4, 9 y 17.

B. Programa

6. Durante la apertura del curso práctico, pronunciaron discursos de apertura representantes del Ministerio Federal de Innovación, Ciencia y Tecnología de Nigeria, la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Espaciales de Nigeria, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América y la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre.

7. Un experto de la NASA expuso en un discurso principal los resultados de la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial. La ponencia abarcó las actividades realizadas en el marco de la Iniciativa, con especial hincapié en las actividades organizadas en África. También se resaltaron las actividades de la Sociedad Geofísica Africana, formada en 2012 por científicos.

8. La representante de Nigeria presentó una ponencia principal titulada "Ciencia espacial, innovación, ciencia y tecnología en el desarrollo sostenible de un país". La ponencia se centró en el uso de la ciencia y la tecnología espaciales en pro del desarrollo sostenible y se mencionaron los retos regionales y nacionales.

9. El programa del curso práctico incluyó nueve sesiones plenarias y dos sesiones de debate. Los oradores invitados, algunos de países en desarrollo y otros de países desarrollados, presentaron 43 artículos que describían sus logros en materia de investigación, sus actividades de educación y difusión relacionadas con la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial y sus complejos de instrumentos. Las sesiones de debate ofrecieron a los participantes la oportunidad de centrarse en 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.

10. El curso práctico se centró en los temas siguientes: a) física solar; b) la instrumentación y los datos relacionados con el clima espacial; c) la modelización del clima espacial y la inteligencia artificial; d) los eventos extremos del clima espacial; e) la ionosfera, la magnetosfera y la termosfera; f) los efectos del clima espacial; g) estudios de casos y actividades de divulgación y educación sobre el clima espacial; h) programas de clima espacial; e i) investigación científica espacial aplicada.

11. Se organizó para los participantes en el curso práctico una visita a las instalaciones de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Espaciales, que incluyó el museo del espacio y el planetario.

12. En breves declaraciones, los organizadores y participantes en el curso práctico expresaron su reconocimiento por las contribuciones sustantivas y de larga data al

[1] A/AC.105/1338, párrs. 84 a 92.

desarrollo de la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial, en particular en favor de los países en desarrollo.

13. Elaboraron el programa del curso práctico la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre y la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Espaciales, en cooperación con un comité organizador científico internacional. Las Presidencias y Relatorías de las sesiones plenarias y las sesiones de debate presentaron sus observaciones y notas como aportaciones para la preparación del presente informe.

14. Los resúmenes de los artículos presentados, el programa del curso práctico y la documentación de referencia se publicaron en el sitio web de la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre (www.unoosa.org). También se pusieron a disposición de los participantes en el curso práctico ejemplares de las presentaciones.

C. Asistencia

15. La Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre invitó a científicos, ingenieros y docentes de países en desarrollo y países desarrollados 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 Internacional sobre el Clima Espacial hubiera desempeñado un papel destacado.

16. Se utilizaron fondos proporcionados por las Naciones Unidas y el Comité Internacional sobre los Sistemas Mundiales de Navegación por Satélite para sufragar los gastos de viaje, alojamiento y de otra índole de 15 participantes procedentes de 15 países. En total, participaron en el curso práctico 46 expertos, de los cuales 14 eran mujeres.

17. Los siguientes 22 Estados Miembros estuvieron representados en persona o en línea en el curso práctico: Alemania, Argelia, Burkina Faso, China, Côte d'Ivoire, Croacia, Egipto, Estados Unidos de América, Etiopía, Federación de Rusia, Francia, India, Indonesia, Japón, Kenya, Nigeria, Noruega, Rwanda, Serbia, Sudáfrica, Uganda y Zimbabwe. La Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre también estuvo representada en el curso práctico.

II. Observaciones y conclusiones

18. En el curso práctico se observó que, al hablar de erupciones solares, solía tratarse de eyecciones de masa coronal y fulguraciones. Ambas eran fuentes de clima espacial. Las fulguraciones solares creaban cambios repentinos en el nivel de ionización de la ionosfera y las eyecciones de masa coronal se asociaban a eventos de partículas energéticas solares y tormentas geomagnéticas. Una fulguración con una intensidad inusualmente alta o una eyección de masa coronal con una energía extremadamente alta podrían considerarse ejemplos de eventos extremos en el Sol.

19. Los participantes en el curso práctico recordaron que, en el marco del Año Heliofísico Internacional y de la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial, se habían desplegado en todo el mundo espectrómetros del Instrumento Astronómico Compuesto de Bajo Costo y Baja Frecuencia para Funciones de Espectroscopia y Observatorio Transportable (CALLISTO) con el fin de vigilar los estallidos de radio solares y las fulguraciones solares, y que, en conjunto, esos espectrómetros constituían la red e-CALLISTO. Se señaló que el Centro Aeroespacial Alemán (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), con antenas que seguían la posición del Sol para obtener las mejores mediciones, y que los receptores originales se habían seguido desarrollando para reducir al mínimo el ruido y facilitar la labor de mantenimiento, de modo 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.

20. 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 que daban lugar al clima espacial.

21. Los participantes en el curso práctico observaron que las técnicas de inteligencia artificial ofrecían un potencial significativo para mejorar la predicción de tormentas geomagnéticas. Analizando grandes cantidades de datos históricos y en tiempo real, los modelos de inteligencia artificial podrían detectar pautas y relaciones complejas que tal vez no serían evidentes mediante el análisis tradicional. Se podrían utilizar algoritmos de aprendizaje automático, como la regresión lineal y las máquinas de vectores de soporte, para predecir la aparición e intensidad de tormentas geomagnéticas a partir de parámetros del viento solar y otros datos de clima espacial.

22. Además, el uso de la inteligencia artificial en la previsión del clima espacial había dado resultados prometedores. Por ejemplo, se habían aplicado con éxito redes de memoria larga a corto plazo para predecir índices geomagnéticos como un índice cuasi logarítmico, derivado de mediciones terrestres del campo magnético (índice Kp), que cuantificaba la actividad geomagnética. Esas redes habían demostrado su capacidad para proporcionar predicciones más exactas y oportunas en comparación con los métodos tradicionales, lo que podría dar a los operadores de infraestructuras críticas más tiempo para aplicar medidas de protección.

23. Los participantes en el curso práctico tomaron nota de la base de datos Madrigal, una base de datos científicos de la alta atmósfera (http://cedar.openmadrigal.org/) que integraba observaciones de varias décadas procedentes de más de 159 instrumentos, incluido el contenido total vertical de electrones (VTEC) basado en sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS). Ese conjunto de datos único era un recurso para las aplicaciones de aprendizaje automático en la investigación del clima espacial.

24. Se informó a los participantes en el curso práctico de las capacidades avanzadas de los servicios mundiales de datos de la Agencia Espacial Europea (ESA), la NASA y el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea (Copernicus), que ofrecían acceso abierto a datos de observación de la Tierra y de física espacial. Entre esos servicios figuraban la plataforma de conocimiento de la situación en el medio espacial de la ESA, los portales heliofísicos de la NASA y el Ecosistema del Espacio de Datos Copernicus, todos ellos fundamentales para la vigilancia de la Tierra, el sistema solar y el clima espacial.

25. Los participantes en el curso práctico observaron que varios fenómenos del clima espacial podrían crear perturbaciones en la magnetosfera y la ionosfera terrestres que degradarían el rendimiento y la capacidad de seguimiento de los satélites para los receptores de posicionamiento de los GNSS. Algunos de esos fenómenos eran corrientes de viento solar de gran velocidad, eyecciones de masa coronal, grandes fulguraciones solares y agujeros coronales, que normalmente (pero no siempre) estaban relacionados con el ciclo solar o de manchas solares de 11 años de duración. Se habían establecido dos índices, el índice de centelleo de amplitud y el índice de la tasa del contenido total de electrones, para estudiar las irregularidades del plasma en función de su impacto en la señal de los GNSS.

26. Los participantes en el curso práctico también observaron que los receptores de los GNSS, que originalmente se habían diseñado para el posicionamiento, se estaban utilizando ahora para estudiar las irregularidades ionosféricas. El gran número de receptores de los GNSS había permitido realizar importantes avances en el estudio de la ionosfera y, en particular, de las irregularidades del plasma.

27. Se informó a los participantes en el curso práctico de que se podían utilizar redes densas de receptores multifrecuencia de bajo costo de los GNSS para recuperar información ionosférica con el mismo nivel de exactitud que usando receptores multifrecuencia geodésicos o de nivel científico de los GNSS, y para demostrar que esa

información podía utilizarse en la generación de mapas de parámetros ionosféricos recuperados para estudios científicos y operaciones de sistemas de radio. Ello suponía la posibilidad de lograr una vigilancia global del centelleo utilizando receptores de bajo costo en zonas de poca cobertura, reduciendo así los costos y aumentando la densidad de los receptores terrestres para la detección y caracterización locales de las fluctuaciones ionosféricas producidas por el centelleo.

28. Los participantes en el curso práctico observaron que el 25º ciclo solar se encontraba en esos momentos en su punto álgido y, en consecuencia, estaba provocando la intensificación de entornos adversos para los satélites no geoestacionarios en la órbita terrestre baja. La actividad solar actual podría agravar el problema de la resistencia atmosférica para los objetos en órbita terrestre baja, lo que podría provocar una aceleración del decaimiento orbital y afectar así a los desechos espaciales existentes. Se había realizado un análisis detallado del impacto de la resistencia a largo y corto plazo en determinados objetos catalogados de la órbita terrestre baja, que había proporcionado información sobre cómo mejorar el conocimiento de la situación en el medio espacial en el ciclo solar actual. Esos resultados recalcaban la importancia de vigilar continuamente la actividad solar y mejorar los modelos de la resistencia atmosférica, a fin de mitigar los riesgos asociados al decaimiento orbital acelerado y el problema cada vez mayor de gestionar los desechos espaciales en el entorno de la órbita terrestre baja.

29. Desde el punto de vista de las operaciones de aviación, los eventos del clima espacial provocaban perturbaciones en los sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia. Además, los niveles de dosis de radiación en las altitudes de vuelo eran elevados, ya que los eventos del clima espacial podían producirse en escalas de tiempo cortas, con efectos que se producían desde casi instantáneamente hasta durante unos pocos días.

30. La Agencia Espacial Nacional Sudafricana gestionaba un centro regional de clima espacial que funcionaba las 24 horas del día, los 7 días de la semana, creado en noviembre de 2022 y designado como tal por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). La función de un centro regional era apoyar a los cuatro centros mundiales de la OACI en el suministro al sector de la aviación de información sobre el clima espacial. Como centro regional designado, era importante colaborar con los demás centros mundiales designados por la OACI para garantizar un servicio constante y fiable que sirviera a los intereses de África. La Agencia Espacial Nacional Sudafricana compartió su experiencia en el establecimiento y funcionamiento de un centro operativo las 24 horas del día, los 7 días de la semana, y en el mantenimiento de alianzas regionales para la expansión de la red de instrumentación terrestre en la región africana. Con sus funciones de centro regional de clima espacial que funcionaba las 24 horas del día, los 7 días de la semana, la Agencia Espacial Nacional Sudafricana se había posicionado para participar eficazmente en los esfuerzos mundiales para hacer frente a los problemas relacionados con el clima espacial.

31. 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 en la región de África; 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) los modos de atraer a científicos que se encontrasen al principio de sus carreras y apoyar otras iniciativas internacionales en curso relacionadas con el clima espacial.

32. Los participantes en el curso práctico reconocieron que entre los aspectos fundamentales de la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial figuraban las actividades de educación, formación y divulgación pública. El concepto consistía en fomentar y apoyar cursos, talleres y planes de estudios de ciencia espacial en las universidades y facultades de posgrado que ofrecían apoyo a los instrumentos. Se habían logrado grandes éxitos en esos ámbitos, pero era necesario seguir con la educación y la formación y elaborar material de divulgación pública que fuera exclusivo de la Iniciativa, así como coordinar su distribución. Era importante facilitar información

sobre los complejos de instrumentos de la Iniciativa y sus resultados a los medios de comunicación, especialmente a los de ámbito local.

33. Los participantes del curso práctico convinieron en que los datos captados por los complejos de instrumentos de la Iniciativa Internacional sobre el Clima Espacial 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.

34. Para que la coordinación y la colaboración a nivel internacional en la investigación y los servicios sobre el clima espacial fueran eficaces, no debería haber ningún impedimento a los flujos de datos y las comunicaciones. A tal fin, debería promoverse en el plano nacional una política de datos abiertos que incluyera reglas de funcionamiento y normas relativas a los datos.

35. Los participantes del curso práctico expresaron su agradecimiento a las Naciones Unidas, el Gobierno de Nigeria, la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo Espaciales, 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.