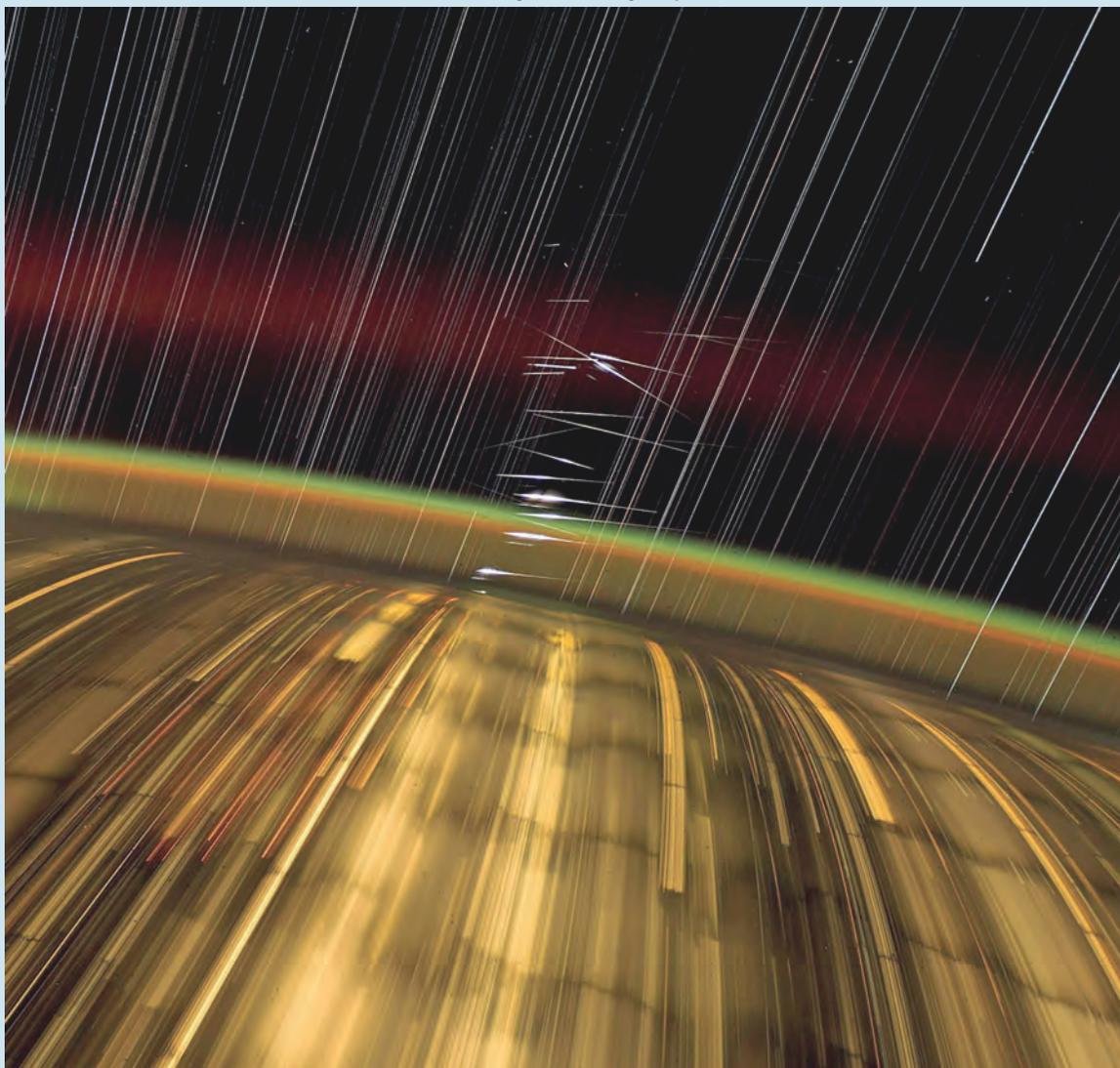


FIGURA 1. Destellos de satélites Starlink visibles en imágenes de larga exposición tomadas desde la ISS. (Don Pettit/NASA)



Avances recientes en la defensa de los cielos oscuros

Rafael Moro Aguilar y Casiana Muñoz Tuñón

Los astrónomos han reaccionado ante el desafío que suponen las megaconstelaciones de satélites para la astronomía óptica y para la radioastronomía, y actualmente están activos en varios frentes. Este artículo se centra en los esfuerzos de la Unión Astronómica Internacional (UAI), en las conferencias internacionales celebradas en España, y en Naciones Unidas (ONU), en donde los astrónomos tienen el apoyo de países interesados en proteger la astronomía, entre ellos España.

Las megaconstelaciones están destinadas principalmente a ofrecer cobertura mundial de internet. Son redes como Starlink y Proyecto Kuiper en EE.UU., OneWeb en Europa, y GuoWang y Quianfan en China. Si bien mejoran la conectividad global, sus satélites se cuentan por miles, y suponen un reto para los astrónomos que realizan observaciones en tierra, las cuales se ven cada vez más afectadas por interferencias producidas por el brillo y las radioemisiones de estas constelaciones. El tema ya fue objeto de un artículo en esta revista, describiendo el problema y avanzando algunas posibles soluciones. (Véase Moro Aguilar, R. «Megaconstelaciones de satélites: su impacto en la astronomía», *Astronomía* 258, diciembre 2020).

CONFERENCIAS SOBRE CIELOS OSCUROS Y SILENCIOSOS CELEBRADAS EN ESPAÑA

La comunidad científica reaccionó a la aparición de las megaconstelaciones de varias formas. Mientras la UAI y otros organismos emitían comunicados públicos mostrando su preocupación, los astrónomos realizaron modelos y predicciones, y llevaron a cabo observaciones mostrando las consecuencias de la actual proliferación de satélites en las órbitas bajas.

Así mismo, se convocaron varias conferencias internacionales para tratar del impacto de las megaconstelaciones en la ciencia y en la sociedad. Tres de ellas se celebraron en nuestro país.

Las dos primeras, tituladas «Dark & Quiet Skies for Science and Society», fueron patrocinadas por la UAI, la ONU y el gobierno de España, a través del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) en Tenerife (2020) y en La Palma (2021). Reunieron a numerosos expertos a nivel mundial que debatieron y cuantificaron el problema, y avanzaron una serie de recomendaciones, tanto técnicas como regulatorias, para proteger la astronomía. En ellas se incluyeron también aspectos muy importantes sobre la biodiver-



FIGURA 2. La sede de COPUOS en Viena. (Foto R. Moro)

sidad e impacto sobre el medio ambiente derivado de perder la oscuridad del cielo. En concreto, también se debatió la contaminación lumínica derivada de la iluminación de nuestras ciudades.

Aquí queremos resaltar un hecho importante. España ha sido pionera en la regulación de la contaminación del cielo por la iluminación urbana. La Ley del Cielo, promulgada en 1988, establece normas y umbrales máximos de contaminación para proteger el Observatorio del Roque de los Muchachos en la isla de La Palma. Solo así se garantiza que la inversión de los países con los que España tiene acuerdos internacionales esté protegida. El compromiso internacional fue la base para la discusión y aprobación de la ley. Leyes similares han surgido en Chile y en algunas partes de Estados Unidos y de Italia.

El resultado de estas conferencias fue una mayor concienciación y una acción conjunta desarrollada a través de grupos de trabajo que elaboraron unos informes muy completos, con análisis y propuestas. Estos informes supusieron el comienzo de la acción internacional de los astrónomos en Naciones Unidas.

En octubre de 2023 tuvo lugar una tercera conferencia en La Palma, esta vez organizada en solitario por la UAI: el Simposio «Astronomy and Satellite Constellations: Pathways Forward». Este simposio IAUS385 congregó también expertos de disciplinas variadas (astrónomos y otros científicos, ingenieros, juristas, etc.) y de muchos países, que abordaron el desafío planteado por las grandes constelaciones a la astronomía y a la sociedad, y propusieron soluciones. Además, en el curso de este simposio tuvo lugar la creación formal del «Grupo de Amigos de los Cielos oscuros y silenciosos», del cual hablaremos más adelante.

EL CENTRO PARA LA PROTECCIÓN DEL CIELO DE LA UAI

A raíz de la segunda conferencia en Canarias (2021), y respondiendo al rápido despliegue de satélites en órbitas terrestres bajas, en particular en grandes constelaciones, la UAI estableció en 2022 un centro para la protección del cielo. Se trata del «IAU Centre for the Protection of the Dark and Quiet Sky from Satellite Constellation Interference» (abreviado como IAU CPS).

La misión del IAU CPS es abordar de una forma continuada el problema, coordinar los esfuerzos de los astrónomos y los operadores para mitigar los impactos negativos de las constelaciones de satélites, y proteger el cielo de la contaminación lumínica y de las radiointerferencias. Los fines buscados son preservar tanto la investigación astronómica como el valor cultural intrínseco que tiene el cielo nocturno.

Las funciones principales del Centro son:

—Monitorear y analizar el impacto de los satélites en las observaciones astronómicas y en el cielo nocturno. Esto implica desarrollar y mantener una base de datos de órbitas, brillos, y radioemisiones de los satélites para poder predecir y evaluar las potenciales interferencias en la investigación astronómica.

—Formular medidas eficientes para mitigar las interferencias, y promover la aplicación de estas medidas. Esta parte incluye trabajar con los operadores de las constelaciones y acordar con ellos algunas modificaciones en el diseño de sus satélites, a fin de que sean menos reflectantes y que causen menos radiointerferencias. También implica desarrollar herramientas de software para evitar los rastros de los satélites en las imágenes.

—Desarrollar normas y estándares. El CPS analiza la normativa espacial, asesora a las partes implicadas, y promueve la creación de nuevas normas y estándares para preservar los cielos oscuros y silenciosos. Esta parte incluye promover buenas prácticas en el diseño de satélites, así como abogar por la creación de una normativa que cubra el impacto que los satélites tienen en la astronomía.

—Divulgación y educación. El CPS busca concienciar acerca de la importancia que tienen los cielos oscuros y silenciosos, por razones no solo científicas sino también culturales.

El CPS opera mediante una extensa red de voluntarios que incluye astrónomos profesionales, astróno-

mos aficionados, ingenieros, representantes de la industria, especialistas en Derecho del espacio, y otros miembros de la sociedad interesados en la protección de la calidad del cielo.

El CPS mantiene colaboraciones con: 1) observatorios astronómicos de todo el mundo, para reunir datos sobre los impactos de los satélites y desarrollar estrategias de adaptación de la astronomía; 2) las agencias espaciales y el sector espacial privado, asesorando y pidiendo a los fabricantes y operadores de satélites que modifiquen los diseños y las operaciones para reducir el impacto en la astronomía; 3) instituciones de investigación, impulsando estudios que evalúen el impacto de las constelaciones de satélites y desarrollen tecnologías nuevas que sirvan para mitigar el problema.

ACCIONES EN EL MARCO DE NACIONES UNIDAS

Además, la UAI es observadora permanente ante la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos de Naciones Unidas (COPUOS, por sus siglas en inglés), cuyas reuniones anuales se celebran en la sede de la ONU en Viena. La UAI hace allí intervenciones todos los años para concienciar del problema a los representantes de los países miembros. Lo mismo están haciendo otras organizaciones astronómicas internacionales que tienen la condición de observadoras en COPUOS, como el Observatorio Europeo Austral (ESO), las Sociedades Astronómicas Africana y Europea, o el observatorio internacional SKAO.

En respuesta a la inquietud expresada por todos estos organismos, la COPUOS aceptó incluir este asunto formalmente en su programa de deliberaciones. Se ha hecho mediante un tema nuevo de debate, titulado «Cielos oscuros y silenciosos, astronomía y grandes constelaciones: abordar los problemas y los retos emergentes», que tratará su Subcomisión Científica y Técnica entre los años 2025 y 2029.

Como resultado de los debates habidos hasta la fecha, la Comisión ha observado que, si bien el número cada vez mayor de satélites y de constelaciones están aportando beneficios a la sociedad, a la vez plantean un reto, porque reflejan la luz del Sol y brillan mucho, o se calientan y emiten en el infrarrojo, o bien emiten señales de radio muy potentes; todo lo cual genera interferencias en las imágenes ópticas e infrarrojas de los telescopios y los datos de los radiotelescopios. Todas estas interferencias están

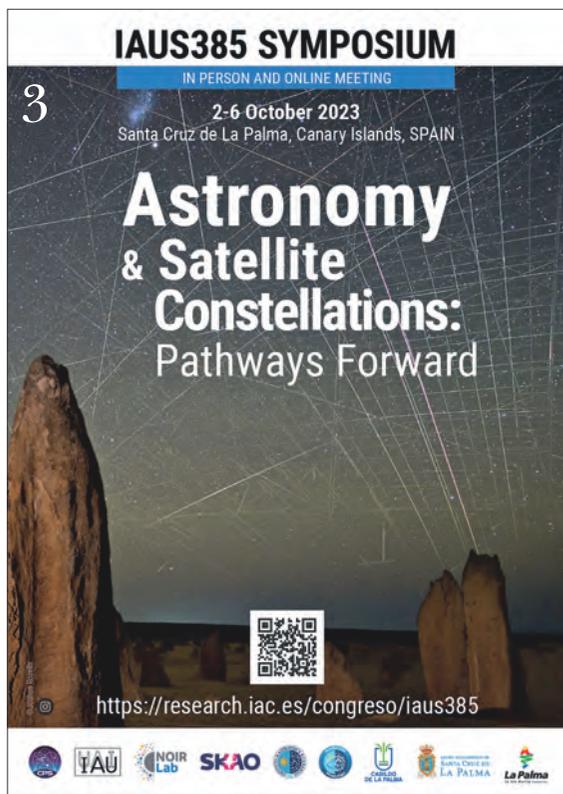


FIGURA 3. Cartel del simposio IAUS385. [Cortesía de los autores]



FIGURA 4. Logotipo del Centro de Protección del Cielo de la UAI. [CPS]

degradando la calidad de la observación astronómica, tanto la profesional como la amateur. Por ello resulta fundamental encontrar un punto de equilibrio que permita salvaguardar la calidad del cielo, y al tiempo mantener los beneficios que pueden ofrecer las constelaciones de satélites.

La Comisión también toma nota de las diversas iniciativas, nacionales e internacionales, dirigidas a investigar tecnologías capaces de mitigar la contaminación lumínica, y a evaluar el impacto de las constelaciones de satélites en la astronomía. Y sigue con interés las iniciativas legislativas de los países destinadas a elaborar normas y directrices que limiten el brillo de los satélites, a conceder licencias a los operadores condicionadas a que se coordinen con la comunidad científica internacional, y a establecer zonas de protección del cielo oscuro y de silencio radioeléctrico.

Especialmente relevante es el hecho de que en junio de 2022, la COPUOS reconociera que las observaciones astronómicas, tanto las ópticas como las de radioastronomía, son un aspecto esencial de las actividades espaciales, y por ello deben protegerse de las interferencias.

EL GRUPO DE AMIGOS DE LOS CIELOS OSCUROS Y SILENCIOSOS

Paralelamente a la labor de la Comisión en su conjunto, un grupo de países, liderados por España y Chile, han impulsado la creación en COPUOS del llamado «Grupo de Amigos de los Cielos oscuros y silenciosos». Nótese que este «Group of Friends» es un término diplomático que tiene una significación específica y una misión similar a la de un Grupo de trabajo. El objetivo es potenciar la concienciación en el ámbito de la ONU, mantener vivo el debate entre los periodos de sesiones anuales de la COPUOS, y apoyar el desarrollo de un código de buenas prácticas. El Grupo de Amigos presentó a la Comisión, en febrero de este año, un primer documento en la materia (CRP.22).

El documento empieza destacando la creciente presencia de rastros de satélites en las imágenes y en otros datos obtenidos por los telescopios, sobre todo en el crepúsculo y cerca del horizonte, lo que interfiere con el descubrimiento y el seguimiento de asteroides, cometas, supernovas, y otros fenómenos astronómicos que varían con el tiempo.

Aunque hay quienes proponen que en lo sucesivo la astronomía se haga desde el espacio, el documen-

FIGURA 5. Imagen del grupo de galaxias NGC 5353/4 obtenida con un telescopio del Observatorio Lowell en Arizona. Las líneas diagonales son estelas de luz reflejada dejadas por satélites Starlink al pasar por el campo de visión del telescopio. (Victoria Girgis/Observatorio Lowell)

FIGURA 6. Satélites Starlink sobre el Bosque Nacional Carson, Nuevo México, fotografiados tras su lanzamiento. (M. Lewinsky/Creative Commons Attribution)

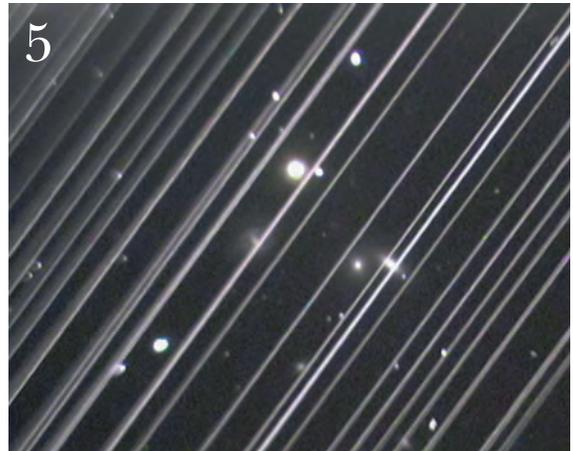
to explica que no es posible ni deseable reemplazar con telescopios espaciales todos los observatorios terrestres. Los costes de desplegar y mantener telescopios en el espacio son mucho mayores que instalarlos en tierra. Además, los observatorios situados en órbitas bajas, como el Telescopio Espacial Hubble, ya se están viendo afectados también por rastros de satélites orbitando cerca. No queda más remedio que colaborar astrónomos y operadores, y buscar soluciones para mantener la eficacia de los telescopios situados en tierra, que hoy por hoy son insustituibles para estudiar el universo.

Otro impacto, este más difícil de cuantificar, es el aumento del brillo de fondo del cielo nocturno, como consecuencia de las reflexiones de luz generadas tanto por los satélites activo como por los inactivos y sus fragmentos (es decir, por los desechos espaciales).

El documento señala además un impacto adicional de las megaconstelaciones, sobre el que ya alertan artículos científicos. Se trata de la creciente contaminación química de la estratosfera con vapores de metales generados por la continua caída y desintegración en la atmósfera terrestre de satélites artificiales.

El documento contiene también una serie de recomendaciones. Como límite de brillo para las megaconstelaciones, la UAI recomienda que los satélites no excedan de la séptima magnitud, siendo pues invisibles a simple vista. Aunque no lo elimina, suaviza el impacto en la astronomía. En cuanto a la altitud de los satélites, se prefieren altitudes bajas. Aunque así los satélites estén más cerca y sean más brillantes, a cambio, pasan más rápidamente y distorsionan menos las imágenes; además dejan de ser visibles antes, en cuanto termina el crepúsculo, lo que no sucede con los satélites situados en órbitas más altas, que se ven durante más tiempo.

Los fabricantes y los operadores han probado medidas para reducir la reflectividad, como oscurecer los satélites, aplicarles revestimientos especiales, o usar formas geométricas innovado-



ras. También se emplean orientaciones y modos de vuelo que reducen la luz solar que reflejan los satélites hacia abajo. Otra buena práctica que siguen algunos operadores consiste en compartir las efemérides orbitales de sus satélites con los astrónomos, para que puedan programar las observaciones evitando las reflexiones. Las medidas para reducir la reflectividad han ayudado a bajar la luminosidad aparente de los satélites, pero aún así

muchos se ven con grandes telescopios. Habrá que continuar con los esfuerzos de mitigación.

El documento habla también del impacto en la radioastronomía. Todos los satélites situados por encima del horizonte son detectables por los radiotelescopios más sensibles. Por lo tanto, las constelaciones afectan a los radiotelescopios, aunque estos se construyan en lugares remotos y se protejan a nivel local mediante zonas de silencio radioeléctrico.

Si bien hay bandas de radiofrecuencias reservadas para la radioastronomía y excluidas de todo uso comercial, las potentes emisiones de tantos satélites pueden penetrar en esas bandas protegidas. Los radiotelescopios actuales son extremadamente sensibles, ya que buscan captar las señales más débiles que llegan del cosmos; y sus receptores pueden saturarse si les entra una señal muy fuerte, aun en frecuencias distintas a las que están estudiando. Los radiotelescopios hoy día pueden captar incluso «radiación electromagnética no deseada», un ruido de baja frecuencia que emiten los componentes electrónicos situados a bordo de los satélites. Además, la emisión de las megaconstelaciones se está haciendo tan intensa que podría llegar a hacer imposible la recepción en la Tierra del fondo cósmico de microondas, tan importante para el estudio del universo.

El documento concluye pidiendo a los Estados miembros que fomenten la colaboración entre las administraciones, los operadores y fabricantes de satélites y los astrónomos, a fin de desarrollar estrategias que reduzcan el impacto de las constelaciones en la astronomía. Se les pide también a los Estados que destinen fondos para el desarrollo y la implementación de buenas prácticas en este sentido, y que incentiven a los constructores y operadores de las constelaciones para que las sigan.

En un anexo, el documento enumera una serie de sugerencias más específicas que los Estados pueden adoptar para seguir avanzando en la solución de estos problemas. Una de ellas es que los Estados consideren incluir, entre sus requisitos legales para otorgar licencias para operar satélites, el que los operadores se coordinen de antemano con las instituciones astronómicas afectadas, a fin de prevenir o limitar en lo posible el impacto en la astronomía.

CONCLUSIÓN

Estamos sin duda ante un asunto de gran importancia a nivel mundial. Ningún país ni ningún sector profesional o industrial podrán resolver este

problema en solitario, sino que harán falta los esfuerzos de todos. De momento, se trata de proteger las grandes inversiones que los Estados han hecho en astronomía, y permitir el desarrollo de nuevos telescopios.

Pero el asunto tiene mayor calado. El espacio, a donde se lanzan las megaconstelaciones de satélites, no pertenece a ningún país, y solo se puede regular colectivamente. Nos enfrentamos a un reto sin precedentes: legislar a nivel global el uso y protección de nuestro cielo, patrimonio de toda la Humanidad. Esperemos que no tarde en llegar el reconocimiento del derecho que tenemos todos a disfrutar de cielos oscuros y silenciosos. (A)

REFERENCIAS:

—Conferencias sobre cielos oscuros y sociedad en Canarias: noirlab.edu/public/products/techdocs/techdoc051

—Centro para la Protección del Cielo Oscuro y Silencioso de la UAI: cps.iau.org

—Documento presentado por el «Grupo de Amigos de los Cielos Oscuros y Silenciosos» de COPUOS (CRP.22):

www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2025/aac_105c_12025crp/aac_105c_12025crp_22rev_3_0.html/AC105_C1_2025_CRP22Rev03E.pdf

—Muñoz Tuñón, C. «¿Chatarra espacial o espacio limpio?»: www.diariocordoba.com/opinion/2022/12/04/chatarra-espacial-o-espacio-limpio-79521670.html

—Muñoz Tuñón, C. «Comité para el uso pacífico del espacio exterior»: www.diariocordoba.com/opinion/2023/07/09/comite-pacifico-espacio-exterior-89641375.html



Rafael Moro Aguilar es profesor especialista en Derecho espacial y astrónomo aficionado. **Casiana Muñoz Tuñón** es astrónoma y experta en caracterización y protección de observatorios astronómicos. Ambos autores han participado en las conferencias reseñadas en este artículo, son miembros de la delegación española en COPUOS, y forman parte del «Grupo de Amigos de los Cielos Oscuros y Silenciosos».
