

idénticos a los observados entre los años 1850 y 2015. Al hacerlo, vemos que, tal y como ocurre en nuestro mundo, las simulaciones muestran un calentamiento global que se acelera a partir de los años ochenta del siglo pasado.

Otra simulación crucial es la «histórica-natural», la cual elimina de la atmósfera las emisiones antropogénicas. Este tipo de simulaciones nos muestran que, si tales emisiones no se hubieran producido, el clima terrestre habría permanecido básicamente estable con respecto a las condiciones preindustriales. Es decir, que casi todo el calentamiento observado en el último siglo y medio es de origen humano.

Así pues, para cuantificar el impacto del cambio climático antropogénico en la productividad agrícola, nuestro trabajo combinó los resultados del modelo econométrico con los de miles de simulaciones climáticas con y sin influencias antropogénicas. Nuestro objetivo era estimar, por un lado, el crecimiento de la productividad agrícola y ganadera en un mundo con emisiones de carbono y, por otro, el mismo fenómeno en un mundo sin dichas emisiones.

Nuestros resultados indican que la productividad agrícola y ganadera sería hoy en torno a un 20 por ciento mayor de no haber sido por el cambio climático. Esta ralentización equivale, de media, a haber perdido los últimos siete años de mejoras técnicas. En concreto, la productividad estimada en 2020 se habría alcanzado ya en 2013 de no haber sido por el cambio climático antropogénico. Retomando el símil ciclista, podemos decir que la agricultura mundial habría llegado «más lejos» (habría producido más con los mismos

insumos) en un mundo sin influencias antropogénicas en el clima.

Los mismos datos subrayan también la gran inequidad en los impactos del cambio climático, ya que los efectos negativos afectan de manera desproporcionada a ciertas zonas tropicales de África, América Latina y el Caribe. Regiones que, a su vez, han contribuido muy poco a las emisiones totales de efecto invernadero.

Adaptar la agricultura

Por último, es necesario señalar algunas limitaciones de nuestro análisis. Quizá la más relevante sea que el estudio solo considera el efecto del cambio climático antropogénico en sí, pero no la eliminación del uso de combustibles fósiles. Esto último es importante porque los combustibles fósiles han contribuido a aumentar nuestro nivel de vida, lo que, a su vez, ha permitido invertir en investigaciones agrícolas que han ayudado a mejorar la productividad. De manera similar, nuestro trabajo no elimina la influencia «fertilizante» del dióxido de carbono. En estudios controlados se ha constatado que este gas resulta beneficioso para algunos cultivos, aunque el efecto resulta mucho más ambiguo en observaciones basadas en la producción real a gran escala.

Nuestro trabajo subraya que el cambio climático no es solo un reto futuro, sino un problema al que ya nos hemos estado enfrentando de manera quizás inadvertida. Los resultados sugieren que reducir las emisiones de carbono tendría consecuencias positivas en la agricultura y la ganadería. Sin embargo, sabemos también que el clima seguirá cambiando durante décadas incluso con descensos

considerables en las emisiones. Todo ello pone de relieve la necesidad de adaptar cuanto antes nuestra agricultura a un contexto de cambio climático acelerado. Sin embargo, dado que las inversiones en investigación para lograr esta adaptación solo brindarán sus frutos décadas más tarde, las semillas de esta nueva revolución agrícola deberán sembrarse lo antes posible.

Ariel Ortiz-Bobea es profesor de economía aplicada y políticas públicas en la Universidad Cornell.

PARA SABER MÁS

Climate trends and global crop production since 1980. David B. Lobell, Wolfram Schlenker y Justin Costa-Roberts en *Science*, vol. 333, págs. 616-620, julio de 2011.

Accounting for growth in global agriculture. Keith Fuglie en *Bio-based and Applied Economics*, vol. 4, págs. 201-234, octubre de 2015.

Estimation of the carbon dioxide (CO₂) fertilization effect using growth rate anomalies of CO₂ and crop yields since 1961. David B. Lobell y Christopher B. Field en *Global Change Biology*, vol. 14, págs. 39-45, enero de 2008.

Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. Ariel Ortiz-Bobea et al. en *Nature Climate Change*, vol. 11, págs. 306-312, abril de 2021.

EN NUESTRO ARCHIVO

Crisis alimentarias: ¿una amenaza para la civilización? Lester R. Brown en *IyC*, julio de 2009.

Alimentación sostenible. Jonathan A. Foley en *IyC*, enero de 2012.

Retos del desarrollo agrícola. César Fernández-Quintanilla en *IyC*, abril de 2019.

ASTRONOMÍA

Un debate global sobre las megaconstelaciones de satélites

Los astrónomos buscan que una comisión de las Naciones Unidas discuta los efectos perniciosos de los satélites en las observaciones astronómicas como primer paso para regularlos y reducirlos

ALEXANDRA WITZE

En los últimos dos años, las empresas aeroespaciales han puesto en órbita unos 2000 satélites con el fin de suministrar Internet, lo que casi ha duplicado el número de objetos activos en torno a la

Tierra. Eso ha causado desasosiego entre los astrónomos y otros observadores del cielo, preocupados por las interferencias que producen en las observaciones del cielo nocturno.

Ahora, en el que sería el mayor paso internacional para abordar esas inquietudes, los diplomáticos podrían discutir el próximo mes en un foro de las Naciones Unidas si la humanidad tiene derecho a



LANZAMIENTO de 60 satélites Starlink el 11 de marzo de este año.

«cielos oscuros y tranquilos». El debate quizá comience a establecer un marco para que los científicos y el público afronten la avalancha de nuevos satélites.

De hecho, si las empresas y los Gobiernos construyen y lanzan todas las redes o «megaconstelaciones» que han anunciado públicamente, en los próximos años podrían incorporarse a la órbita terrestre decenas de miles de satélites para proporcionar Internet de banda ancha. Como consecuencia, cientos de esos grandes conjuntos de satélites podrían ser visibles durante toda la noche, lo que alteraría el cielo nocturno de una manera jamás vista en la historia de la humanidad. «Esas constelaciones están cambiando radicalmente la forma en que usamos el espacio», afirma Piero Benvenuti, astrónomo de la Universidad de Padua y exsecretario general de la Unión Astronómica Internacional (UAI).

Él y otros astrónomos están trabajando a través de la UAI para aumentar la conciencia internacional sobre el modo en que las megaconstelaciones afectan a los científicos y a la población general. Sostienen que su objetivo no es enfrentar

a los astrónomos con las empresas de satélites, sino desarrollar una visión sobre cómo usar de forma justa ese dominio compartido que es el espacio exterior.

«El consenso debe provenir de todos los países», apunta Connie Walker, astrónoma de NOIRLab, una organización que agrupa a varios observatorios financiados por Estados Unidos. Los científicos trataron estos y otros temas en la conferencia sobre constelaciones de satélites SATCON2, que se celebró virtualmente del 12 al 16 de julio.

Abierto a la exploración

En 2019, cuando la compañía californiana SpaceX lanzó su primera tanda de satélites Starlink, a muchos astrónomos les sorprendió lo brillantes que esos instrumentos aparecían en las imágenes astronómicas. En respuesta a las quejas, SpaceX probó varios métodos para oscurecerlos; ahora, todos llevan un parasol para hacerlos menos visibles cuando la luz del Sol se refleja en ellos.

Los astrónomos y los representantes de varias empresas, incluida SpaceX, han establecido un umbral de luminosidad

para los satélites un poco más tenue de lo que alcanza a ver el ojo humano en un cielo oscuro. Los satélites Starlink se acercan a ese umbral, pero actualmente lo rebasan, señala Meredith Rawls, astrónoma de la Universidad de Washington en Seattle.

Pero dicho umbral es una meta, no un requisito. E incluso si las empresas lo cumplen, los satélites serán visibles en los telescopios. Eso perjudicaría sobre todo a aquellos instrumentos que estudian grandes franjas del cielo. Cerca del crepúsculo y el amanecer, los satélites podrían echar a perder hasta el 40 por ciento de las imágenes del Observatorio Vera C. Rubin, un gran telescopio estadounidense que se está construyendo en Chile. Y las transmisiones de algunos satélites también podrían interferir con radiotelescopios como la Red del Kilómetro Cuadrado, un observatorio internacional que operará desde Sudáfrica y Australia.

No existen leyes que regulen el impacto de los satélites en el cielo nocturno. El Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre de 1967, que es el documento fundacional sobre las relaciones internacionales en el es-



ESTELAS DE SATÉLITES STARLINK en una imagen tomada sobre la localidad de Gonnet, en La Plata, provincia de Buenos Aires.

pacio, sostiene que el espacio exterior está «abierto para su exploración». Sin embargo, existe un precedente en cuanto a pedir a la ONU que intente alcanzar un consenso internacional sobre cómo gestionar la contaminación visual del cielo. En 2002, a instancias de la UAI, la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS) de las Naciones Unidas debatió brevemente si podría regularse la «publicidad espacial intrusiva», como vallas publicitarias espaciales que fueran visibles desde la Tierra. Una compañía propuso ese tipo de publicidad para los Juegos Olímpicos de 1996, pero la idea no se materializó y la COPUOS no llegó a actuar sobre el asunto.

Relaciones internacionales

En abril, Benvenuti y otros astrónomos lograron que se abordara la cuestión de las constelaciones de satélites durante una reunión de una subcomisión de la COPUOS. Allí, las delegaciones de cinco países se adhirieron a un [libro blanco](#) coordinado por la UAI que afirma que las megaconstelaciones constituyen un motivo de preocupación para los astrónomos y otras personas.

«Presentar ese documento nos dio la oportunidad de hablar sobre el tema con todos esos expertos en política espacial precedentes de muchos países», comenta Andy Williams, responsable de relaciones externas del Observatorio Europeo Austral (ESO). «Es una gran manera de con-

cienciar a la gente.» La ONU no tiene poder para regular los lanzamientos, pero podría convocar a las naciones para establecer normas internacionales que inciten a los operadores de satélites a mitigar los efectos de las megaconstelaciones en la astronomía.

Las delegaciones de EE.UU., Canadá y Japón propusieron que la subcomisión siguiera debatiendo el problema de las constelaciones de satélites como un punto ordinario de sus reuniones. Pero las delegaciones de China y Rusia se opusieron, alegando que necesitaban más tiempo para estudiar la cuestión. China, al igual que otros países, tiene planes para establecer una megaconstelación de satélites que provea Internet de banda ancha en todo el planeta.

Ahora, Benvenuti y otros astrónomos están intentando que toda la COPUOS trate el tema en su próxima reunión, que comienza el 25 de agosto. Este tipo de «presión popular» por parte de los astrónomos es la principal vía para que los países empiecen a discutir el asunto. «El debate tendrá que desarrollarse en los foros internacionales», afirma Tanja Masson-Zwaan, investigadora en derecho espacial de la Universidad de Leiden.

Mientras tanto, los astrónomos trabajan en otras soluciones al problema de las interferencias causadas por las constelaciones de satélites. Una de ellas consiste en desarrollar bases de datos sobre las posiciones de los satélites para predecir

cuándo pasarán por un determinado lugar, de manera que los telescopios puedan evitar temporalmente esa parte del cielo, así como programas informáticos para eliminar las estelas de los satélites de las imágenes.

Otros tratan de incorporar más voces al debate sobre las megaconstelaciones, a fin de que no esté dominado por los astrónomos occidentales. Muchas comunidades indígenas tienen profundas raíces culturales que guardan relación con las estrellas, subraya Aparna Venkatesan, astrónoma de la Universidad de San Francisco que lidera los intentos para que esas voces sean escuchadas. La irrupción de las estelas de satélites amenaza esa identidad cultural.

Pero el tiempo apremia, y SpaceX sigue lanzando nuevos conjuntos de satélites: unos 60 por tanda, en ocasiones varias veces al mes. «La gente se pasa años entablando relaciones, pero mientras tanto los satélites no dejan de despegar», lamenta Venkatesan. «Es casi como si estuviéramos encontrando soluciones para un problema de hace tres años.»

Alexandra Witze es periodista científica especializada en ciencias de la Tierra y ciencias del espacio.

Artículo original publicado en *Nature News* 16 de julio de 2021.

Traducido con el permiso de Nature Research Group © 2021

Con la colaboración de **nature**

PARA SABER MÁS

[Impact of satellite constellations on astronomical observations with ESO telescopes in the visible and infrared domains.](#) Olivier R. Hainaut y Andrew P. Williams en *Astronomy & Astrophysics*, vol. 636, art. A121, abril de 2020.

[The low Earth orbit satellite population and impacts of the SpaceX Starlink constellation.](#) Jonathan C. McDowell en *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 892, art. L36, abril de 2020.

[The impact of satellite constellations on space as an ancestral global commons.](#) Aparna Venkatesan et al. en *Nature Astronomy*, vol. 4, págs.1043-1048, noviembre de 2020.

EN NUESTRO ARCHIVO

[Preservar el cielo nocturno.](#) Ronald Drimmel en *lyC*, septiembre de 2020.

[Contaminación espacial.](#) Martin N. Ross y Leonard David en *lyC*, abril de 2021.