

## FORMATO PARA PARTICIPAR EN LA CONSULTA PÚBLICA

### Instrucciones para su llenado y participación:

- I. Las opiniones, comentarios y propuestas deberán ser remitidas a la siguiente dirección de correo electrónico: [cprecursosorbitales@ift.org.mx](mailto:cprecursosorbitales@ift.org.mx), en donde se deberá considerar que la capacidad límite para la recepción de archivos es de 25 Mb.
- II. Proporcione su nombre completo (nombre y apellidos), razón o denominación social, o bien, el nombre completo (nombre y apellidos) de la persona que funja como representante legal. Para este último caso, deberá elegir entre las opciones el tipo de documento con el que acredita dicha representación, así como adjuntar –a la misma dirección de correo electrónico- copia electrónica legible del mismo.
- III. Lea minuciosamente el **AVISO DE PRIVACIDAD** en materia del cuidado y resguardo de sus datos personales, así como sobre la publicidad que se dará a los comentarios, opiniones y aportaciones presentadas por usted en el presente proceso consultivo.
- IV. Vierta sus comentarios conforme a la estructura del apartado II del presente formato.
- V. De contar con observaciones generales o alguna aportación adicional **proporciónelos en la pregunta 48** del presente documento.
- VI. En caso de que sea de su interés, podrá adjuntar la documentación que estime conveniente.
- VII. El período de Consulta Pública será del 28 de noviembre del 2023 al 7 de marzo de 2024 (i.e. 60 días hábiles). Una vez concluido dicho periodo, se podrán continuar visualizando los comentarios vertidos, así como los documentos adjuntos en la siguiente dirección electrónica: <http://www.ift.org.mx/industria/consultas-publicas>
- VIII. Para cualquier duda, comentario o inquietud sobre el presente proceso consultivo, el Instituto pone a su disposición el siguiente punto de contacto: Karla Vanessa García Huerta, Subdirectora de Regulación del Espectro y Gestión de Proyectos 3, correo electrónico: [karla.garcia@ift.org.mx](mailto:karla.garcia@ift.org.mx), número telefónico 55 50154000, extensión 4583.

<b>I. Datos de la persona participante</b>	
<b>Nombre, razón o denominación social:</b>	Viasat Tecnología, S.A. de C.V.
<b>En su caso, nombre de la persona que funja como representante legal:</b>	Iván Ruíz Moreno
<b>Documento para la acreditación de la representación:</b> <small>En caso de contar con una persona que funja como representante legal, adjuntar copia digitalizada del documento que acredite dicha representación, vía correo electrónico.</small>	Poder Notarial
<b>AVISO DE PRIVACIDAD INTEGRAL DE DATOS PERSONALES QUE EL INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES RECABA A TRAVÉS DE LA UNIDAD DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO</b>	
<p>En cumplimiento a lo dispuesto por los artículos 3, fracción II, 16, 17, 18, 21, 25, 26, 27 y 28 de la Ley General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados (en lo sucesivo, la “LGPDPSSO”); 9, fracción II, 15 y 26 al 45 de los Lineamientos Generales de Protección de Datos Personales para el Sector Público (en lo sucesivo los “Lineamientos Generales”); 11 de los Lineamientos que establecen los parámetros, modalidades y procedimientos para la portabilidad de datos personales (en lo sucesivo los “Lineamientos de Portabilidad”), numeral Segundo, punto 5, y numeral Cuarto de la Política de Protección de Datos Personales del Instituto Federal de Telecomunicaciones, se pone a disposición de los titulares de datos personales, el siguiente Aviso de Privacidad Integral:</p> <p><b>I. Denominación del responsable</b> Instituto Federal de Telecomunicaciones (en lo sucesivo, el “IFT”).</p> <p><b>II. Domicilio del responsable</b> Avenida Insurgentes Sur #1143, Colonia Nochebuena, Demarcación Territorial Benito Juárez, Código Postal 03720, Ciudad de México.</p> <p><b>III. Datos personales que serán sometidos a tratamiento y su finalidad</b> Los datos personales que el IFT recaba, a través de la Unidad de Espectro Radioeléctrico, son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Datos de identificación: Nombre completo y correo electrónico.</i></li> <li>• <i>Datos patrimoniales y de identificación: Documentos que acreditan la personalidad como el nombre del representante de persona física o moral y que por su naturaleza contienen datos personales, de manera enunciativa más no limitativa: nacionalidad, estado civil, domicilio, patrimonio, firmas, rúbricas.</i></li> <li>• <i>Datos ideológicos: Comentario, opinión y/o aportación.</i></li> </ul> <p>Se destaca que en términos del artículo 3, fracción X de la LGPDPPSO, ninguno de los anteriores corresponde a datos personales sensibles.</p> <p><b>IV. Fundamento legal que faculta al responsable para llevar a cabo el tratamiento</b> El IFT, a través de la <i>Unidad de Espectro Radioeléctrico</i>, lleva a cabo el tratamiento de los datos personales mencionados en el apartado anterior, de conformidad con los artículos 15, fracciones XL y XLI, 51 de la <i>Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, última modificación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2017</i>, 12, fracción XXII, segundo y tercer párrafos y 138 de la <i>Ley Federal de Competencia Económica, última modificación publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de enero de 2017</i>, así como el <i>Lineamiento Octavo de los Lineamientos de Consulta Pública y Análisis de Impacto Regulatorio del Instituto Federal de Telecomunicaciones, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 8 de noviembre de 2017</i>, recabados en el ejercicio de sus funciones.</p> <p><b>V. Finalidades del tratamiento</b> Los datos personales recabados por el IFT serán protegidos, incorporados y resguardados específicamente en los archivos de la <i>Unidad de Espectro Radioeléctrico</i>, y serán tratados conforme a las finalidades concretas, lícitas, explícitas y legítimas siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>A.</b> <i>Divulgar íntegramente la documentación referente a los comentarios, opiniones y/o aportaciones que deriven de la participación de las personas físicas en los procesos de Consulta Pública a cargo del IFT.</i></li> <li><b>B.</b> <i>Hacer llegar al IFT, mediante la dirección electrónica habilitada para ello, su participación en los procesos de Consulta Pública.</i></li> <li><b>C.</b> <i>Acreditar la personalidad en caso de que los comentarios, opiniones y/o aportaciones, u otros elementos de los procesos consultivos sean presentados por los interesados a través de representante legal.</i></li> </ol> <p><b>VI. Información relativa a las transferencias de datos personales que requieran consentimiento</b> La <i>Unidad de Espectro Radioeléctrico</i> no llevará a cabo tratamiento de datos personales para finalidades distintas a las expresamente señaladas en este aviso de privacidad, ni realizará transferencias de datos personales a otros responsables, de carácter público o privado, salvo aquellas que sean estrictamente necesarias para atender requerimientos de información de una autoridad competente, que estén debidamente fundados y motivados, o bien, cuando se actualice alguno de los supuestos previstos en los artículos 22 y 70 de la LGPDPPSO. Dichas transferencias no requerirán el consentimiento del titular para llevarse a cabo.</p> <p><b>VII. Mecanismos y medios disponibles para que el titular, en su caso, pueda manifestar su negativa para el tratamiento de sus datos personales para finalidades y transferencias de datos personales que requieren el consentimiento del titular</b> En concordancia con lo señalado en el apartado VI, del presente aviso de privacidad, se informa que los datos personales recabados no serán objeto de transferencias que requieran el consentimiento del titular. No obstante, en caso de que el titular tenga alguna duda respecto al tratamiento de sus datos personales, así como a los mecanismos para ejercer sus derechos, puede acudir a la Unidad de Transparencia del IFT, ubicada en Avenida Insurgentes Sur #1143 (Edificio Sede), Colonia Nochebuena, Demarcación Territorial Benito Juárez, Código Postal 03720, Ciudad de México, o bien, enviar un correo electrónico a la siguiente dirección <a href="mailto:unidad.transparencia@ift.org.mx">unidad.transparencia@ift.org.mx</a>, e incluso, comunicarse al teléfono 55 5015 4000, extensión 4688.</p>	

**VIII. Los mecanismos, medios y procedimientos disponibles para ejercer los derechos ARCO (derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición al tratamiento de los datos personales)**

Las solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO deberán presentarse ante la Unidad de Transparencia del IFT, a través de escrito libre, formatos, medios electrónicos o cualquier otro medio que establezca el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (en lo sucesivo el “INAI”).

El procedimiento se registrará por lo dispuesto en los artículos 48 a 56 de la LGPDPPSO, así como en los numerales 73 al 107 de los Lineamientos Generales, de conformidad con lo siguiente:

a) Los requisitos que debe contener la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO.

- Nombre del titular y su domicilio o cualquier otro medio para recibir notificaciones;
- Los documentos que acrediten la identidad del titular y, en su caso, la personalidad e identidad de su representante;
- De ser posible, el área responsable que trata los datos personales y ante la cual se presenta la solicitud;
- La descripción clara y precisa de los datos personales respecto de los que se busca ejercer alguno de los derechos ARCO;
- La descripción del derecho ARCO que se pretende ejercer, o bien, lo que solicita el titular, y
- Cualquier otro elemento o documento que facilite la localización de los datos personales, en su caso.

b) Los medios a través de los cuales el titular podrá presentar las solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO.

Los medios se encuentran establecidos en el párrafo octavo del artículo 52 de la LGPDPPSO, que señala lo siguiente: Las solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO deberán presentarse ante la Unidad de Transparencia del responsable, que el titular considere competente, a través de escrito libre, formatos, medios electrónicos o cualquier otro medio que al efecto establezca el INAI.

c) Los formularios, sistemas y otros medios simplificados que, en su caso, el INAI hubiere establecido para facilitar al titular el ejercicio de sus derechos ARCO.

Los formularios que ha desarrollado el INAI para el ejercicio de los derechos ARCO, se encuentran disponibles en su portal de Internet [www.inai.org.mx](http://www.inai.org.mx), en la sección “Protección de Datos Personales” / “¿Cómo ejercer el derecho a la protección de datos personales?” / “En el sector público” / “Procedimiento para ejercer los derechos ARCO”.

d) Los medios habilitados para dar respuesta a las solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO.

De conformidad con lo establecido en el artículo 90 de los Lineamientos Generales, la respuesta adoptada por el responsable podrá ser notificada al titular en su Unidad de Transparencia o en las oficinas que tenga habilitadas para tal efecto, previa acreditación de su identidad y, en su caso, de la identidad y personalidad de su representante de manera presencial, o por la Plataforma Nacional de Transparencia o correo certificado en cuyo caso no procederá la notificación a través de representante para estos dos últimos medios.

e) La modalidad o medios de reproducción de los datos personales.

Según lo dispuesto en el artículo 92 de los Lineamientos Generales, la modalidad o medios de reproducción de los datos personales será a través de consulta directa, en el sitio donde se encuentren, o mediante la expedición de copias simples, copias certificadas, medios magnéticos, ópticos, sonoros, visuales u holográficos, o cualquier otra tecnología que determine el titular.

f) Los plazos establecidos dentro del procedimiento —los cuales no deberán contravenir lo previsto en los artículos 51, 52, 53 y 54 de la LGPDPPSO— son los siguientes:

El responsable deberá establecer procedimientos sencillos que permitan el ejercicio de los derechos ARCO, cuyo plazo de respuesta no deberá exceder de veinte días contados a partir del día siguiente a la recepción de la solicitud.

El plazo referido en el párrafo anterior podrá ser ampliado por una sola vez hasta por diez días cuando así lo justifiquen las circunstancias, y siempre y cuando se le notifique al titular dentro del plazo de respuesta.

En caso de resultar procedente el ejercicio de los derechos ARCO, el responsable deberá hacerlo efectivo en un plazo que no podrá exceder de quince días contados a partir del día siguiente en que se haya notificado la respuesta al titular.

En caso de que la solicitud de protección de datos no satisfaga alguno de los requisitos a que se refiere el párrafo cuarto del artículo 52 de la LGPDPPSO, y el responsable no cuente con elementos para subsanarla, se prevendrá al titular de los datos dentro de los cinco días siguientes a la presentación de la solicitud de ejercicio de los derechos ARCO, por una sola ocasión, para que subsane las omisiones dentro de un plazo de diez días contados a partir del día siguiente al de la notificación. Transcurrido el plazo sin desahogar la prevención se tendrá por no presentada la solicitud de ejercicio de los derechos ARCO.

La prevención tendrá el efecto de interrumpir el plazo que tiene el INAI para resolver la solicitud de ejercicio de los derechos ARCO.

Cuando el responsable no sea competente para atender la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO, deberá hacer del conocimiento del titular dicha situación dentro de los tres días siguientes a la presentación de la solicitud, y en caso de poderlo determinar, orientarlo hacia el responsable competente.

Cuando las disposiciones aplicables a determinados tratamientos de datos personales establezcan un trámite o procedimiento específico para solicitar el ejercicio de los derechos ARCO, el responsable deberá informar al titular sobre la existencia del mismo, en un plazo no mayor a cinco días siguientes a la presentación de la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO, a efecto de que este último decida si ejerce sus derechos a través del trámite específico, o bien, por medio del procedimiento que el responsable haya institucionalizado para la atención de solicitudes para el ejercicio de los derechos ARCO conforme a las disposiciones establecidas en los artículos 48 a 56 de la LGPDPPSO.

En el caso en concreto, se informa que no existe un procedimiento específico para solicitar el ejercicio de los derechos ARCO en relación con los datos personales que son recabados con motivo del cumplimiento de las finalidades informadas en el presente aviso de privacidad.

g) El derecho que tiene el titular de presentar un recurso de revisión ante el INAI en caso de estar inconforme con la respuesta.

El referido derecho se encuentra establecido en los artículos 103 al 116 de la LGPDPPSO, los cuales disponen que el titular, por sí mismo o a través de su representante, podrán interponer un recurso de revisión ante el INAI o la Unidad de Transparencia del responsable que haya conocido de la solicitud para el ejercicio de los derechos ARCO, dentro de un plazo que no podrá exceder de quince días contados a partir del siguiente a la fecha de la notificación de la respuesta.

En caso de que el titular tenga alguna duda respecto al procedimiento para el ejercicio de los derechos ARCO, puede acudir a la Unidad de Transparencia del IFT, ubicada en Avenida Insurgentes Sur #1143 (Edificio Sede), Piso 8, Colonia Nochebuena, Demarcación Territorial Benito Juárez, Código Postal 03720, Ciudad de México, enviar un correo electrónico a la siguiente dirección [unidad.transparencia@ift.org.mx](mailto:unidad.transparencia@ift.org.mx) o comunicarse al teléfono 55 5015 4000, extensión 4688.

**IX. Mecanismos, medios y procedimientos para ejercer el derecho de portabilidad de datos personales ante el IFT.**

Respecto al derecho a la portabilidad de datos personales, se informa que ninguna de las categorías y/o datos personales recabados es técnicamente portable, al no actualizar los supuestos a los que hace referencia el artículo 8 de los Lineamientos de Portabilidad<sup>1</sup>.

**X. El domicilio de la Unidad de Transparencia del IFT.**

La Unidad de Transparencia del IFT se encuentra ubicada en Avenida Insurgentes Sur #1143 (Edificio Sede), Colonia Nochebuena, Demarcación Territorial Benito Juárez, Código Postal 03720, Ciudad de México, y cuenta con un módulo de atención al público en la planta baja del edificio, con un horario laboral de 9:00 a 18:30 horas, de lunes a jueves, y viernes de 9:00 a 15:00 horas, número telefónico 55 5015 4000, extensión 4688.

**XI. Los medios a través de los cuales el responsable comunicará a los titulares los cambios al aviso de privacidad.**

Todo cambio al Aviso de Privacidad será comunicado a los titulares de datos personales en el micrositio denominado “Avisos de privacidad de los portales pertenecientes al Instituto Federal de Telecomunicaciones”, disponible en la dirección electrónica: <http://www.ift.org.mx/avisos-de-privacidad>  
Última actualización: (27/01/2020)

<sup>1</sup> Disponibles en el vínculo electrónico: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5512847&fecha=12/02/2018](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5512847&fecha=12/02/2018)

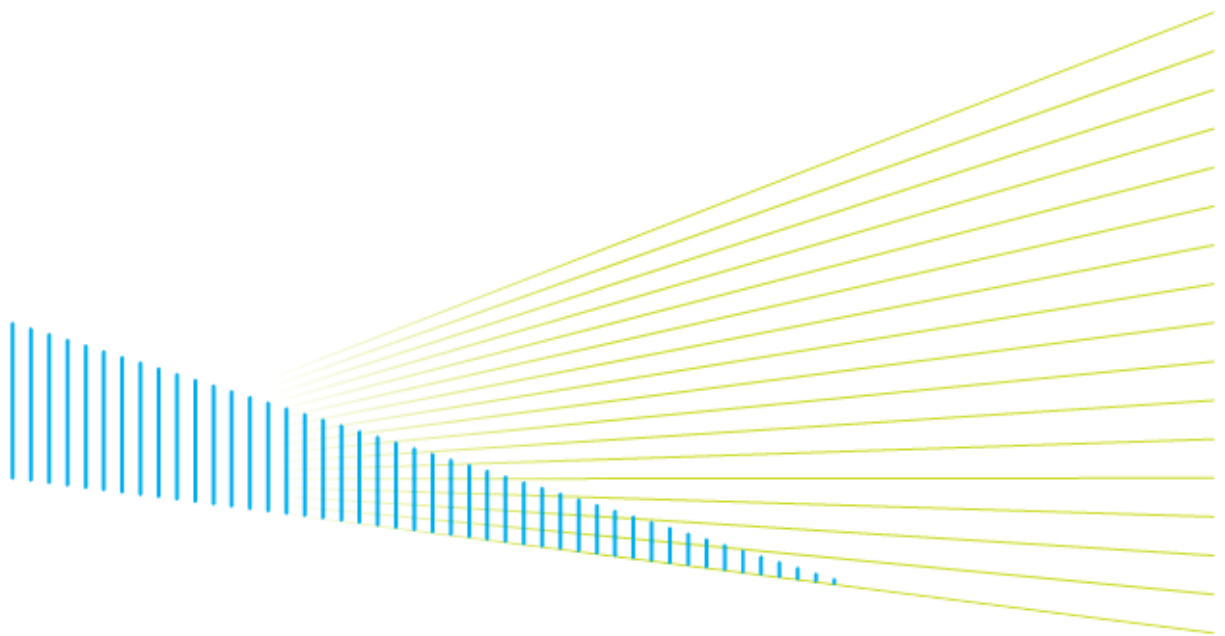
Por medio del documento adjunto al presente formato como “**Anexo Único**”, Viasat Tecnología, S.A. de C.V. presenta sus comentarios y contribuciones a la "Consulta pública de Integración respecto del “Cuestionario sobre prospectiva de solicitud y asignación de Recursos Orbitales en México”.

Es importante mencionar que el cuestionario no se contesta en virtud de que las preguntas son demasiado acotadas sin permitir que el participante pueda dar una respuesta integral, por lo que el “**Anexo Único**” intitulado “Garantizando la Innovación y Oportunidades de Crecimiento en la Nueva Era Espacial” proporciona una visión enfocada en los problemas apremiantes que rodean la carrera por ocupar la porción del espacio más cercana a la Tierra conocida como órbita terrestre baja (LEO), así como las acciones relacionadas para gestionar adecuadamente la etapa de acceso a los mercados, las amenazas que representan la ocupación de la LEO para la innovación, la competencia, el acceso al mercado de servicios satelitales, las oportunidades de crecimiento, el uso eficiente del espectro, los intereses nacionales, la libertad de elección de los consumidores, la seguridad espacial y el medio ambiente.

Actualizado en marzo de 2024

## “Anexo Único”

Garantizando la Innovación y Oportunidades de Crecimiento en la Nueva Era Espacial.



**Viasat**<sup>™</sup> 

## Tabla de contenidos

I.	Introducción .....	2
II.	Interferencia perjudicial en las redes GEO y amenazas al acceso equitativo y seguro al espacio .....	4
A.	Interferencia perjudicial inadmisible en las redes GEO .....	5
	1. <i>La separación angular del sistema N GEO es necesaria para proteger las redes GEO de la interferencia perjudicial</i> .....	5
	2. <i>Incumplimientos de los límites de la dfpe de la UIT que restringen la interferencia perjudicial en las redes GEO</i> .....	8
B.	Obstaculizar el acceso equitativo a las bandas de frecuencias compartidas de los N GEO .....	14
C.	Obstaculizar el acceso seguro y fiable a las órbitas LEO compartidas.....	16
D.	Consumir más de una parte equitativa del límite agregado de la dfpe para todos los sistemas N GEO	18
III.	Efectos adversos en las industrias espaciales nacionales.....	19
IV.	Consecuencias adversas para los usuarios finales y los ciudadanos.....	20
V.	Efectos ambientales adversos sobre la atmósfera, la astronomía y el cielo nocturno.....	26
VI.	Implicaciones para la seguridad nacional.....	29
VII.	Recomendaciones.....	30
	Anexo A: Ejemplos de incumplimientos de los límites de la dfpe↓ (Fuchsstadt, Alemania) .....	35
A-I.	Antecedentes .....	35
A-II.	Análisis de las violaciones de la EPFD↓ por parte de 4.408 satélites en la configuración de primera generación de Starlink .....	38
A-III.	Análisis de las violaciones de la EPFD↓ por parte de 29.988 satélites adicionales en la configuración de segunda generación de Starlink .....	51
	A. Excesos de la DFPE↓ de segunda generación de Starlink en virtud de solicitudes individuales presentadas en la UIT .....	51
	B. Excesos de la DFPE↓ de segunda generación de Starlink bajo expedientes combinados en la UIT ...	56
A-IV.	Excedencia del expediente STEAM-1 con Número de identificación (ID)121520025 .....	58
	Anexo B: Obstaculizando el acceso equitativo a las bandas de frecuencias de N GEO .....	63

## I. Introducción

Este artículo se centra en los problemas apremiantes que rodean la carrera por ocupar la porción del espacio más cercana a la Tierra conocida como órbita terrestre baja (LEO). A menos que la situación se gestione adecuadamente en la etapa de acceso a los mercados, la forma en que se está poblando la LEO hoy en día representa una amenaza para la innovación, la competencia, el acceso al mercado de servicios satelitales, las oportunidades de crecimiento, el uso eficiente del espectro, los intereses nacionales, la libertad de elección de los consumidores, la seguridad espacial y el medio ambiente.

Estas amenazas existen porque unas pocas constelaciones grandes que constan de muchos miles de satélites LEO, las llamadas "mega-constelaciones", corren el riesgo de crear muchos efectos nocivos, como son:

- Consumir una cantidad ineficiente e indebida de espectro y órbitas en contravención de la Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), específicamente el párrafo 2 del Artículo 44, que reconoce que las frecuencias radioeléctricas y las órbitas son recursos naturales limitados y deben utilizarse "de manera racional, eficiente y económica". Es especialmente relevante considerar que a pesar de contar con miles de satélites y hacer un uso intensivo de recursos orbitales y de espectro, la capacidad de estas constelaciones LEO suele ser una fracción de aquella de los satélites geoestacionarios;
- Generar interferencia indebida y perjudicial que reduzca la fiabilidad y la capacidad de otros sistemas de satélites, y limite su capacidad para innovar y ofrecer nuevos servicios, incluidos los que ofrecen televisión directa al hogar (DTH), servicios de radiodifusión por satélite (SRS) y conectividad de banda ancha;
- Impedir el acceso equitativo al espectro y a las órbitas (tanto No Geoestacionarias (NGEO) como Geoestacionarias (GEO) imponiendo barreras a la entrada o desplazando a sus competidores;
- Aumentar indebidamente los riesgos y costos asociados con el acceso al espacio y su utilización (independientemente de la órbita), incluidas las colisiones y la creación de desechos orbitales letales;
- Limitar las posibilidades de elección de los consumidores, afectar negativamente a las industrias espaciales nacionales y amenazar los intereses de seguridad nacional;
- Crear numerosos riesgos ambientales y otros riesgos de sostenibilidad que pueden limitar el despliegue de sistemas NGEO adicionales:
  - Dañar la atmósfera de la Tierra y provocar el cambio climático mediante el forzamiento radiativo y el agotamiento de la capa de ozono, aumentando así el riesgo de cáncer y otros efectos negativos para la salud, ya que miles de grandes satélites LEO vuelven a entrar en la atmósfera de forma regular al final de su corta vida;
  - Perjudicar la investigación óptica y radioastronómica crítica al perturbar el cielo nocturno visible y causar interferencias perjudiciales;

- Generar contaminación lumínica, con los consiguientes impactos negativos en la salud y la calidad de vida de los seres humanos y en las plantas y los animales; y
- Perjudicar el funcionamiento de las capacidades críticas de detección y defensa de asteroides.
- Afectar la competencia efectiva en el suministro de servicios satelitales y con ello a los usuarios finales.

El desarrollo de una economía espacial mundial estable requiere que el acceso al espacio esté disponible de manera segura y fiable para más de unos pocos sistemas LEO de determinadas naciones. De hecho, la existencia de "no poseedores" en la economía espacial podría ser una fuerza desestabilizadora que podemos y debemos evitar. Además, para garantizar las oportunidades de innovación y crecimiento es necesario que mantengamos un entorno de interferencia perjudicial conocido que permita el despliegue y el funcionamiento seguros de satélites GEO y N GEO por parte de todas las naciones con los recursos limitados que el mundo entero debe compartir.

Como subrayan los principales expertos y una importante institución jurídica, (i) es imperativo que se tomen medidas preventivas ahora a nivel nacional porque *simplemente no alcanzaremos un consenso internacional a corto plazo* sobre un nuevo marco para regular las grandes constelaciones de LEO,<sup>1</sup> y (ii) es fundamental abordar los posibles daños nacionales *en la etapa* de acceso a los mercados, porque se trata de "una de las raras decisiones, si no la única, adoptadas por [una nación] que condiciona la prestación de servicios [por satélite]" en su territorio.<sup>2</sup>

La Conferencia de Plenipotenciarios de la UIT de 2022 (UIT PP-22) también reconoció la necesidad de abordar con carácter urgente las preocupaciones en torno a la utilización sostenible de las órbitas y el espectro creados por el "lanzamiento y funcionamiento continuos y ampliados de un gran número de satélites no geoestacionarios en el espacio ultraterrestre".<sup>3</sup> La PP-22 de la UIT instaba a las administraciones Miembros a "adoptar todas las medidas necesarias para evitar interferencias perjudiciales inaceptables en los sistemas GEO y otros sistemas N GEO, así como en otros servicios radioeléctricos, de otras administraciones y para garantizar la utilización eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas y las órbitas asociadas; a tal efecto, es necesario desarrollar los marcos reglamentarios necesarios para el funcionamiento de los sistemas N GEO."

---

<sup>1</sup> R. Buchs, "Policy Options to Address Collision Risk from Space Debris", Lausana: EPFL International Risk Governance Center (2021), en ii ("Dado que la perspectiva de alcanzar un consenso a corto plazo es muy baja, se aconseja a los gobiernos que tomen medidas unilaterales pero coordinadas mejorando sus regulaciones nacionales").

<sup>2</sup> Le Conseil d'État invalidación del acceso al mercado Starlink, conclusiones del ponente, Caso n.º 455321 (5 de abril de 2022) (Francia).

<sup>3</sup> Unión Internacional de Telecomunicaciones, Actas Finales de la Conferencia de Plenipotenciarios (Bucarest, 2022), Resolución 219, "Sostenibilidad del espectro de frecuencias radioeléctricas y de los recursos conexos de órbita de satélites utilizados por los servicios espaciales" (Actas Finales, págs. 405 y 406), [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/conf/S-CONF-ACTF-2022-PDF-E.pdf).

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT de 2023 *resolvió* (Resolución UIT-R 74), con carácter de urgencia, que el UIT-R debería actuar en apoyo de la sostenibilidad a largo plazo del espacio "centrándose en la prevención de la interferencia perjudicial y garantizando la utilización racional, equitativa, eficiente y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas y los recursos orbitales asociados, centrándose en los sistemas N GEO . . . teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo y la situación geográfica de cada país".<sup>4</sup>

Los reguladores nacionales deberían examinar estas cuestiones, que se examinan con más detalle más adelante, en relación con cualquier solicitud que reciban para conceder licencias o acceso a los mercados a los sistemas de satélites N GEO.

## **II. Interferencia perjudicial en las redes GEO y amenazas al acceso equitativo y seguro al espacio**

El acceso fiable tanto al espectro suficiente como a otros recursos orbitales es un factor clave de competencia así como de la capacidad de los servicios de satélite para satisfacer las cambiantes necesidades comerciales, cívicas y militares. Además, cada vez se reconoce más que *estos recursos son limitados* y deben gestionarse cuidadosamente para garantizar que se puedan satisfacer todas las necesidades de servicios basados en satélites, incluidas las nuevas aplicaciones para la teledetección/observación de la Tierra, la ciencia, la defensa, el posicionamiento, la navegación y la temporización (PNT) y las comunicaciones, por igual.

En esta etapa temprana de la Nueva Era Espacial, estamos viendo a unos pocos actores en la órbita LEO reclamando y probablemente acaparando grandes cantidades de recursos orbitales de una manera que se corre el riesgo de obstaculizar la innovación y las oportunidades de crecimiento en la industria. Estos riesgos, lo cuales son muy reales, incluyen:

- Crear interferencias perjudiciales inadmisibles en las redes GEO que interrumpan las operaciones de banda ancha y vídeo directo al hogar (DTH) y reduzcan la capacidad de la red;
- Obstaculizar el acceso equitativo para otros sistemas N GEO a las bandas de frecuencias N GEO compartidas;
- Obstaculizar el acceso seguro y fiable a las partes inferiores de la órbita terrestre baja que se necesitan para que otros puedan prestar servicios basados en el espectro; y
- Consumir más de una parte equitativa de la cantidad agregada de interferencia perjudicial que todos los sistemas N GEO (considerados en conjunto) pueden generar a las redes GEO.

---

<sup>4</sup> Unión Internacional de Telecomunicaciones, Resoluciones, Asamblea de Radiocomunicaciones (AR-23), Dubái, 13-17 de noviembre de 2023, Res. UIT-R 74, Actividades relacionadas con la utilización sostenible del espectro de frecuencias radioeléctricas y los recursos asociados de órbita de satélites utilizados por el servicio espacial (p. 148 – 151), [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/vadm/R-VADM-RES-2023-PDF-e.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/vadm/R-VADM-RES-2023-PDF-e.pdf).



Al adoptar medidas para gestionar estos riesgos ahora, los reguladores nacionales pueden garantizar que sus políticas sigan el ritmo de los cambios e innovaciones en el sector espacial, y que sigan existiendo oportunidades de crecimiento en la prestación de servicios basados en satélites en sus países.

Las cuestiones críticas que se examinan a continuación deben abordarse a nivel nacional antes de conceder una licencia o acceso a los mercados a un sistema N GEO. De este modo, se mitigaría el riesgo de interferencia perjudicial entre un sistema N GEO y las redes GEO y se garantizaría que los recursos orbitales y de espectro limitados se compartan equitativamente entre los sistemas N GEO.

## **A. Interferencia perjudicial inadmisibles en las redes GEO**

### **1. La separación angular del sistema N GEO es necesaria para proteger las redes GEO de la interferencia perjudicial**

Los movimientos de los satélites N GEO a través del cielo crean oportunidades para interferencias perjudiciales variables en el tiempo en las redes GEO. A menos que un operador N GEO emplee medidas de reducción adecuadas, los eventos de interferencia perjudicial en línea con las redes GEO degradarán e interrumpirán repetidamente los servicios a los usuarios finales de las redes GEO.

Los satélites GEO de hoy en día son extremadamente eficientes en la forma en que utilizan el espectro para proporcionar servicios innovadores a terminales de usuario más pequeños que nunca antes. Aprovechando los avances tecnológicos, los satélites GEO pueden proporcionar ahora más de 1 Tbit/s de capacidad total cada uno, con niveles mucho mayores de rendimiento en los próximos años.

Las redes GEO logran este aumento sin precedentes de la capacidad debido en parte al aumento de la eficacia espectral, que se ve facilitado por la utilización de receptores de satélite con bajas temperaturas de ruido y altas ganancias de antena (alta relación G/T). Hoy en día, incluso un solo sistema N GEO tiene el potencial de causar interferencia perjudicial en las redes GEO. Múltiples sistemas N GEO que funcionan simultáneamente en las mismas frecuencias plantean un *riesgo de interferencia perjudicial combinada* aún mayor para esas redes GEO.

A menos que los enlaces de comunicación de un sistema N GEO estén separados angularmente del arco GEO en un grado suficiente, podrían degradar fácilmente los niveles de servicio y causar pérdidas de capacidad a las redes GEO, incluidas las que sirven o planean servir a un país determinado.

La separación angular es una técnica operacional relativamente sencilla mediante la cual los satélites N GEO evitan operar dentro de una zona de separación angular adecuada alrededor del arco GEO. Si la utilización de un satélite N GEO específico para servir a un emplazamiento determinado no mantuviera una separación angular suficiente, se utilizaría un satélite

diferente, y el primer satélite N GEO se utilizaría para servir a un emplazamiento diferente en el que pudiera mantener la separación angular requerida. Este concepto se muestra a continuación en la Figura 1.

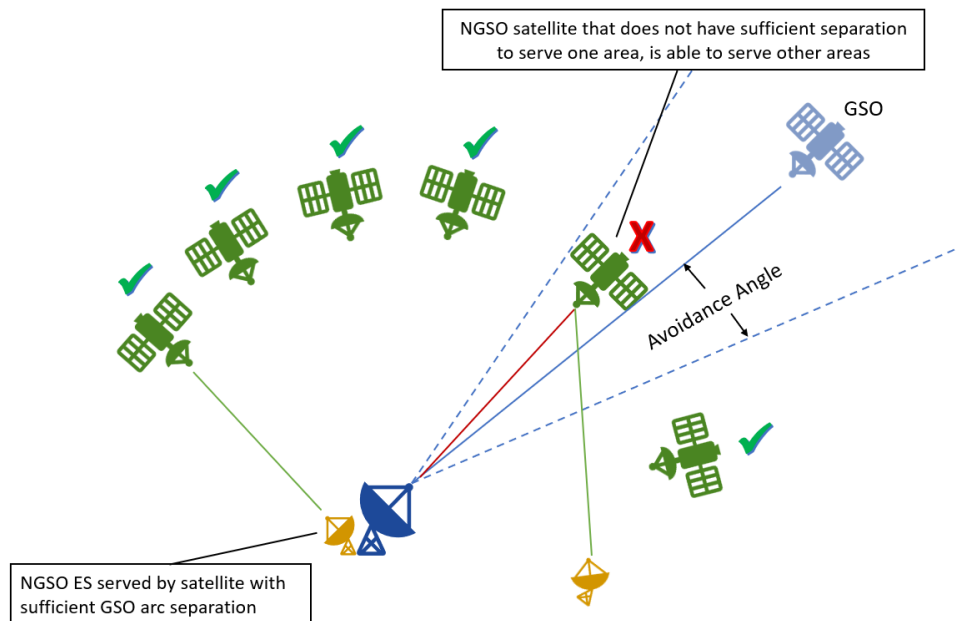


Figura 1: Sistema N GEO que utiliza un ángulo de evasión GEO

La separación angular prácticamente no impone restricciones a la capacidad de los sistemas N GEO, ya que los grandes sistemas N GEO siempre tienen múltiples opciones para asignar diferentes satélites para que sirvan a ubicaciones en la Tierra. Además, transfieren regularmente el tráfico de un satélite N GEO a otro a medida que los satélites se mueven rápidamente por el cielo. Los sistemas N GEO utilizan habitualmente la separación angular en los acuerdos de coordinación de la UIT para proteger las redes GEO.

Ciertas constelaciones LEO no cumplirían con varios requisitos del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT diseñados para proteger las redes GEO de la interferencia perjudicial generada por los sistemas N GEO. Un requisito operacional clave para cumplir estos requisitos de no interferencia perjudicial es que el sistema N GEO reduzca en gran medida la cantidad de energía no deseada que genera hacia las redes GEO, incluso manteniendo un ángulo de evasión adecuado con respecto al arco orbital GEO. Algunos operadores LEO han renunciado a cualquier responsabilidad de mantener tal ángulo de evasión, y mucho menos uno adecuado. Por lo tanto, los reguladores nacionales deben considerar las condiciones apropiadas de sistemas N GEO, como el requisito de cumplir con una separación angular específica, para mitigar el riesgo de interferencia perjudicial a las redes GEO en primer lugar.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Véase, por ejemplo, *In re Space Exploration Holdings, LLC, Solicitud de autorización para el despliegue orbital y la autorización de explotación para el sistema de satélites N GEO de SpaceX Gen2*, FCC 22-91 (rel. 1 de diciembre de 2022), en ¶16 ("SpaceX debe operar de acuerdo con las especificaciones técnicas proporcionadas a la Comisión como parte de su solicitud [...]. La información técnica pertinente incluye: diagramas de haz de antena; Ángulo de evasión GEO, características físicas; frecuencias utilizadas para las comunicaciones por satélite, incluso fuera de los Estados Unidos; y otra información técnica.") (sin

La eficacia de la evasión del arco GEO como forma potencial de reducir la interferencia perjudicial causada por los sistemas N GEO a las redes GEO depende enteramente del ángulo de evasión especificado. La suficiencia de ese ángulo sólo puede evaluarse i) sobre la base de información sobre el diseño de radiofrecuencia y la calidad equivalente de la densidad de flujo de potencia del sistema N GEO pertinente, y ii) teniendo en cuenta las características reales de las redes GEO que se verían afectadas (tales como la temperatura de ruido del receptor de satélite y la ganancia de la antena, y los tamaños y características de los terminales de usuario).

Estos hechos ponen de relieve la necesidad de definir por adelantado parámetros apropiados que, mediante cálculos matemáticos, se demuestre que es razonablemente probable que mitiguen el potencial de interferencia perjudicial de los sistemas GEONGSO en las operaciones de la red GEO, *por ejemplo*, especificando un ángulo preciso y apropiado para evitar el arco GEO sobre una *base ex ante*.

Por estas razones, antes de conceder cualquier autorización para prestar servicios a un país determinado, debe proporcionarse una demostración adecuada de la existencia de medidas adecuadas para evitar la interferencia perjudicial de un sistema N GEO. En estos casos, un regulador nacional debería, como mínimo: i) calcular el ángulo mínimo de evasión del arco GEO que garantice que el sistema N GEO proteja de la interferencia perjudicial a las redes GEO que prestan servicio a su país; ii) permitir a las partes interesadas evaluar la eficacia del valor propuesto; y iii) exigir al sistema N GEO que mantenga un ángulo adecuado para evitar el arco GEO como condición para cualquier autorización que finalmente pueda concederse.

Para facilitar ese análisis, los reguladores nacionales deben exigir a todos los solicitantes N GEO que proporcionen la siguiente información:

- El número de haces de satélite utilizados para transmisiones en la misma frecuencia en la misma zona o en zonas superpuestas en un momento dado; y
- Cómo evita el sistema N GEO la interferencia perjudicial a las redes GEO creada por los lóbulos laterales de las antenas terrenas y de satélite, y los lóbulos posteriores de las antenas de las estaciones terrenas, especialmente cuando se emplean antenas de antenas en fase.

Esta información es pertinente para evaluar la posible interferencia perjudicial de un sistema N GEO en las redes GEO, la posibilidad de compartición del espectro con otros sistemas N GEO que se examinan a continuación y, en términos más generales, la repercusión del sistema N GEO en el entorno del espectro en un país y en el sector de los satélites.

En resumen, un regulador nacional debe requerir:

---

subrayar en el original), <https://www.fcc.gov/document/fcc-partially-grants-spacex-gen2-broadband-satellite-application>.

- Que un sistema N GEO mantenga un ángulo adecuado de evasión del arco GEO cuando preste servicio a su territorio;
- Que un sistema N GEO no cause interferencia perjudicial inaceptable en las redes GEO y que no reclame protección contra la interferencia perjudicial procedente de las redes GEO;
- Que un sistema N GEO tenga una característica operativa que le permita interrumpir inmediatamente las emisiones de radiofrecuencia para garantizar el cumplimiento de este requisito de no interferencia perjudicial, y cesar las emisiones cuando se notifique la existencia de interferencia perjudicial inaceptable; y
- Que, si se produce interferencia perjudicial en una red GEO, un sistema N GEO debe cesar sus operaciones y no reanudarlas hasta que aborde la causa de dicha interferencia perjudicial, entre otras cosas, aumentando la separación angular, reduciendo la potencia y configurando los haces de antena de manera diferente.

Con el fin de garantizar que la base sobre la que un regulador nacional concede una autorización de N GEO no cambie en virtud de iteraciones continuas del diseño de su sistema N GEO, el regulador nacional también debería: i) especificar que el operador N GEO no modifique las características de radiofrecuencia de su sistema de satélite sin el consentimiento previo del regulador nacional, y ii) exigir que el operador N GEO presente un informe semestral sobre las iteraciones del diseño de su sistema N GEO para garantizar el cumplimiento de esa condición.

## ***2. Incumplimientos de los límites de la dfpe de la UIT que restringen la interferencia perjudicial en las redes GEO***

Es bien conocido la potencial perturbación en las redes GEO por parte de los sistemas N GEO de la misma frecuencia y es lo que ha llevado a la elaboración de varias disposiciones en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT destinadas a proteger las redes GEO de la interferencia perjudicial generada por los sistemas N GEO y definir las condiciones en las que deben coexistir los sistemas GEO y N GEO.

Estas disposiciones incluyen:

- el número 22.2 del RR, que exige que los sistemas N GEO no causen interferencia perjudicial inaceptable a las redes GEO ni reivindiquen protección contra la interferencia perjudicial de las mismas;
- En determinadas bandas de frecuencias, límites de densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) que, si se cumplen efectivamente durante el funcionamiento, cumplen la obligación del número 22.2 del RR con respecto a un sistema N GEO; y
- En otras bandas de frecuencias, el requisito de que los sistemas N GEO se coordinen con arreglo al número 9.11A del RR sobre la base de la prioridad de la fecha de presentación de la red de la UIT.

Como se ha comentado anteriormente, un requisito operacional clave para cumplir estos requisitos de no interferencia perjudicial es que el sistema N GEO reduzca en gran medida la cantidad de energía no deseada que genera hacia las redes GEO, incluso manteniendo un ángulo de evasión adecuado con respecto al arco orbital GEO.

Hay dos tipos de límites de interferencia perjudicial de la DFPE.

- Los límites de la dfpe "agregada" restringen la cantidad de interferencia perjudicial que todos los sistemas N GEO pueden generar en total, sobre una base acumulativa. Estos límites agregados deben compartirse y repartirse entre todos los sistemas N GEO que utilicen frecuencias superpuestas.
- Los límites de la dfE «de una sola fuente» limitan la cantidad de interferencia perjudicial que un sistema N GEO puede generar con respecto a las redes GEO. Los límites para una sola fuente se establecieron sobre la base de la hipótesis de que 3,5 sistemas N GEO estarían funcionando en un momento dado y generarían niveles combinados de dfpe compatibles con los límites de dfpe "agregados" aplicables.

Tanto los límites de la dfpe «de una sola fuente» como los «combinados» se especifican como una serie de niveles de dfpe diferentes que se permiten para intervalos variables en el tiempo y se reflejan en las curvas de dfpe descritas y representadas en el anexo A.<sup>6</sup> Como se explica con más detalle en el Anexo A, un límite de dfpe debe cumplirse el 100 por ciento del tiempo; otros límites de dfpe deben cumplirse durante otros porcentajes de tiempo variables.

Algunos operadores LEO proponen operar de una manera que no cumpliría con estos límites. A menos que se impidan en la fase de acceso a los mercados (licenciamiento), esas operaciones generarían una interferencia perjudicial excesiva y podrían:

- Degradar los niveles de servicio y provocar pérdidas de capacidad en las redes GEO de banda ancha, así como en los servicios de vídeo directo al hogar (DTH), y
- Impedir la continuación de la innovación tecnológica de las redes GEO.

Además, estas operaciones excesivas consumirían todo el presupuesto de la dfpe, que debe compartirse y repartirse entre todos los sistemas N GEO que utilizan frecuencias superpuestas, lo que dificultaría, si no imposibilitaría, que otros sistemas N GEO compartieran el mismo espectro.

Como se ilustra en el Anexo A, algunos sistemas N GEO superarían los límites de la dfpe "de una sola fuente" y, en algunos casos, también los límites de la dfpe "agregada". La superación de los límites de la dfpe de «una sola fuente» *en cualquier punto de la curva de la dfpe y en cualquier lugar de la Tierra visible desde la órbita GEO* constituye una infracción del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.<sup>7</sup> Exceder el límite de dfpe "agregado" en cualquier punto de la curva y en cualquier lugar de la Tierra también es una violación.

---

<sup>6</sup> Anexo A, Ejemplos de infracciones de la dfpe ↓ Limits (Fuchsstadt, Alemania).

<sup>7</sup> La norma 22.5C del RR establece en su parte pertinente: «La densidad de flujo de potencia equivalente, dfpe ↓, *en cualquier punto de la superficie de la Tierra visible desde la órbita de los satélites geoestacionarios*, producidas por las emisiones procedentes de todas las estaciones espaciales de un sistema de satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite en las bandas de frecuencias enumeradas en los Cuadros 22-1A a 22-1E, incluidas las emisiones procedentes de un satélite reflector, para todas las condiciones y para todos los métodos de modulación, no rebasará los límites indicados en los Cuadros 22-1A a 22-1E para los porcentajes de tiempo indicados." (sin cursivas en el original; no se reproduce la nota de pie de página).

Los casos descritos en el Anexo A en los que un sistema de N GEO violaría los límites de la dfpe de "una sola fuente" en un 1%, 10% e incluso 100% de las veces son muy preocupantes. La interferencia perjudicial generada a esos niveles podría degradar los niveles de servicio y causar pérdidas de capacidad a las redes GEO y limitar la innovación tecnológica. En el Anexo A se evalúa un caso específico de interferencia perjudicial en Alemania; análisis similares realizados en otros lugares del mundo arrojan resultados similares de superaciones y violaciones de los límites de la UIT.

Estas violaciones de los límites de la dfpe pueden producirse porque los casos de geometría (emplazamientos geográficos de estaciones terrenas y satélites GEO) en muchos países no se someten a prueba mediante el examen limitado realizado por la UIT, como se explica en el Anexo A.

Las violaciones también pueden producirse porque la denominada "geometría del caso más desfavorable" utilizada en esa verificación aleatoria de la UIT puede estar asociada a una sola de las muchas capas orbitales que figuran en la notificación de la UIT para el sistema N GEO (es decir, una combinación particular de altitud orbital e inclinación), y puede no representar el potencial de interferencia perjudicial que realmente presentan las otras capas orbitales que se utilizan para prestar servicio.

Además, estas violaciones pueden producirse porque el programa informático de la dfpe desarrollado para la UIT tiene otros defectos conocidos que subestiman el nivel de interferencia perjudicial que se espera generar en las redes GEO.

Como se muestra en la Figura 2, el funcionamiento de muchos satélites N GEO puede contribuir a los niveles de dfpe recibidos por una red GEO. Estas contribuciones incluyen las transmisiones de haz principal y lóbulo lateral de numerosos satélites, desde el mismo sistema N GEO, y también desde diferentes sistemas N GEO.

Aunque el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT prevé expresamente que la totalidad de *todas estas* contribuciones a la dfpe<sup>8</sup> se limite a los niveles especificados en el Reglamento de Radiocomunicaciones, el programa informático de la dfpe desarrollado para la UIT sólo "cuenta" algunas de estas contribuciones. En otras palabras, el software de la dfpe

---

Recomendación UIT-R. De manera similar, S.1503-3 explica la necesidad de cumplir con todos los límites de la dfpe en todos los emplazamientos: "Los límites de dfpe establecidos en el Artículo 22 son aplicables a todas las [estaciones terrenas] GEO y a todos los ángulos de puntería hacia la parte del arco GEO visible desde esa [estaciones terrenas]. [] Sigue siendo necesario que el operador no GEO cumpla los límites de dfpe establecidos en el Artículo 22 para todas las [] geometrías, incluidas las pruebas de redes GEO específicas, como se indica en el § A1.3.9." (sin subrayar en el original).

<sup>8</sup> El RR 22.5.C.1 proporciona una fórmula explícita para calcular la dfpe. La dfpe de enlace descendente "se define como la suma de la dfp producida en una estación receptora GEO en la superficie de la Tierra ... por todas las estaciones transmisoras de un sistema no GEO, teniendo en cuenta la discriminación fuera del eje de una antena receptora de referencia que se supone que apunta en su dirección nominal" La suma se refiere al "número de estaciones transmisoras del sistema no GEO que son visibles desde la estación receptora GEO considerada en la superficie de la Tierra". Sin embargo, el programa informático de la DFPE desarrollado para la UIT no tiene en cuenta todas las estaciones transmisoras de la GEO.

ignora muchas contribuciones a la dfpe, incluidos los lóbulos laterales de los satélites N GEO que se muestran a continuación con una "X" roja.

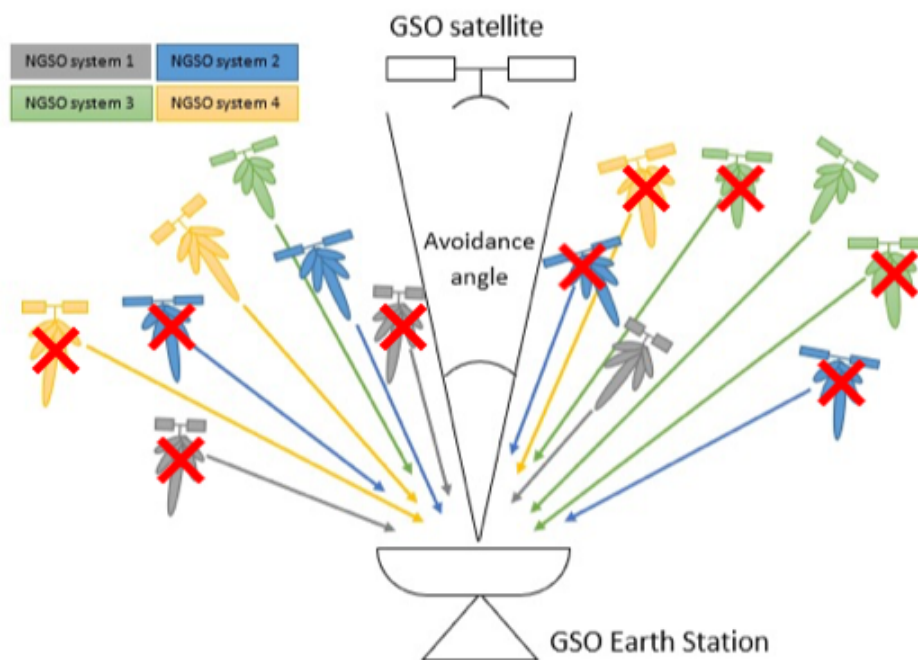


Figura 2: Múltiples contribuciones de interferencia perjudicial de lóbulos principales y laterales en una estación terrestre GEO; las contribuciones marcadas con una "X" no se tienen en cuenta en el programa informático de la UIT sobre la dfpe

Esta falta de cálculo adecuado de la dfpe existe a pesar de la posibilidad conocida de que muchos lóbulos laterales de los N GEO contribuyen a la interferencia perjudicial global de N GEO en las operaciones GEO. En el caso de las mega-constelaciones, cientos de satélites pueden causar potencialmente esta interferencia perjudicial, pero el programa informático de la UIT aún no la tiene en cuenta.

Las violaciones de los límites de la dfpe también pueden ser el resultado de los intentos de los operadores N GEO de ignorar la forma en que un sistema de N GEO realmente funcionaría y, en su lugar:

- Separar artificialmente un sistema N GEO en componentes constituyentes, y
- Evaluar de manera inadmisiblemente cada uno de esos componentes constituyentes (en lugar del sistema N GEO en su conjunto) en relación con los límites de la dfpe de "una sola fuente".<sup>9</sup>

El Director de la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT publicó recientemente un informe en el que se explica que la práctica de dividir un sistema de satélites no geoestacionarios en varios sistemas archivados "puede afectar a la eficacia de los límites de dfpe de una sola

<sup>9</sup> Un operador N GEO tiene previsto explotar varios elementos de su sistema integrado en virtud de una serie de solicitudes presentadas en su nombre por la UIT por al menos tres administraciones.

fuentes contenidos en el Artículo 22 para proteger los sistemas geoestacionarios o tener repercusiones en la aplicación de la Resolución 76 (Rev.CMR-15)".<sup>10</sup> Como se detalla en dicho informe, esta cuestión se estudió por primera vez en 2003, y la conclusión a la que se llegó entonces fue la siguiente: "la única razón para la aplicación incorrecta de estos límites de dfpe de una sola fuente mediante la división o combinación artificiales de los sistemas del SFS no GEO, será reducir los niveles de dfpe y, por lo tanto, obtener una calificación favorable como resultado de este examen reglamentario".<sup>11</sup>

La UIT por sí sola no puede comprobar eficazmente todas las formas en que un operador de sistema N GEO puede tratar de "jugar" con el sistema de esta manera, inventando entradas de dfpe de una manera diseñada para "pasar" los controles aleatorios de la UIT con respecto a la dfpe sin reflejar cómo funcionaría realmente el sistema N GEO y afectaría a todas las naciones. En particular, esa responsabilidad recae en las administraciones y los reguladores individuales que consideran la posibilidad de autorizar o conceder acceso a los mercados a las operaciones del sistema N GEO.<sup>12</sup>

Además, en última instancia, corresponde al operador N GEO llevar a cabo sus operaciones en plena conformidad con todos los límites de la dfpe del Reglamento de Radiocomunicaciones *en todos los lugares del mundo*, independientemente de cualquier evaluación limitada realizada inicialmente por la UIT para un conjunto limitado de emplazamientos y emisores de radiofrecuencia (utilizando programas informáticos con limitaciones conocidas), y basándose únicamente en los archivos de datos proporcionados por dicho operador *y sin tener en cuenta el funcionamiento real del sistema N GEO*. En particular, se dispone o se está desarrollando un programa informático alternativo que permite una evaluación más precisa de la interferencia perjudicial prevista y que tiene debidamente en cuenta todas las contribuciones a la dfpe.

En el futuro sería prácticamente imposible medir directamente los niveles de dfpe generados por los N GEO generados en las redes GEO. Entre otras cosas, las estadísticas de la dfpe incluyen un elemento de porcentaje de tiempo, de modo que los niveles de dfpe tendrían que medirse una y otra vez y luego procesarse para compararlos con los límites de la dfpe, un proceso que requiere un uso intensivo de recursos computacionales y tiempo por las mismas razones por las que cualquier análisis inicial de la dfpe requiere mucho tiempo. Además, cuando varios sistemas N GEO funcionan en la misma banda, no es práctico diferenciar entre

---

<sup>10</sup> Director de la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT, Proyecto preliminar de informe del Director a la CMR-23 sobre las actividades del sector de radiocomunicaciones Experiencia en la aplicación de los procedimientos de reglamentación de las radiocomunicaciones y otras cuestiones conexas, Addendum 2 al Documento 4-3 (septiembre de 2023), págs. 28 y 29.

A continuación, se examina la resolución 76. Aborda el cumplimiento de los límites de la totalidad de la dfpe agregada ↓ creados por todos los sistemas N GEO de todos los operadores.

<sup>11</sup> *Identificación*. En 29, donde se cita el Informe de la RPC de 2003, Capítulo 3, §3.1 (en el que se aborda el punto 1.19 del orden del día de la CMR-03 "considerar disposiciones reglamentarias para evitar la aplicación incorrecta de los límites de una sola fuente del SFS no GEO del Artículo 22 sobre la base de los resultados de los estudios UIT-R realizados de conformidad con la Resolución 135 (CMR-2000)").

<sup>12</sup> No obstante, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos ha indicado que no ha realizado ni llevará a cabo ningún análisis de este tipo de un sistema de N GEO, sino que se remite a un proceso de evaluación de la UIT para las notificaciones subyacentes, a pesar de las deficiencias conocidas, como se examina tanto aquí como en el Anexo A.



las contribuciones de cada sistema N GEO, habida cuenta de todas las transmisiones del haz principal y del lóbulo lateral de numerosos satélites de esos múltiples sistemas N GEO. Varios sistemas N GEO ya funcionan en las mismas bandas de frecuencias.

En la Figura 2 se ilustra la forma en que los diferentes sistemas N GEO contribuyen al nivel global de dfpe recibido por una estación terrena GEO. Desde el punto de vista de la estación terrena GEO, la interferencia perjudicial de la dfpe es la interferencia perjudicial de la dfpe, es decir, la estación terrena GEO no puede aislar componentes individuales de esa interferencia perjudicial ni rastrear esos componentes hasta sus fuentes específicas.

Incluso cuando se aplican correctamente, los límites actuales de la dfpe (desarrollados hace más de 20 años) no protegen suficientemente a las redes GEO actuales. La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos ha reconocido que los límites existentes de la dfpe "no se desarrollaron teniendo en cuenta las redes GEO modernas más avanzadas".<sup>13</sup> De hecho, esos límites se diseñaron para proteger diseños de redes GEO de décadas de antigüedad y no protegen adecuadamente i) los satélites GEO de ultra alto rendimiento actuales, ni ii) las antenas de menos de 1 metro que las redes GEO (y los sistemas N GEO por igual) utilizan para satisfacer las demandas de los clientes.

Es esencial que los sistemas de N GEO satisfagan todos los límites de la dfpe en todas y cada una de las naciones a las que sirven, y que un regulador nacional evalúe el cumplimiento de la dfpe de un sistema de N GEO dentro de sus territorios antes de conceder una licencia.

Por estas razones, un regulador nacional debe:

- Llevar a cabo sus propios análisis para asegurarse de que un sistema N GEO que desee prestar servicios en sus territorios pueda cumplir con *todos los* límites de la dfpe de una sola fuente dentro de esos territorios, y examinar todos los expedientes presentados por el sistema N GEO en virtud de los cuales el sistema N GEO funcione de manera colectiva, y enfocarse en particular en:
  - Si la parte implementada del sistema que se utilizará para servir en los territorios de una nación es capaz de cumplir con los límites de la dfpe; y
  - La integridad de los expedientes del sistema N GEO, por ejemplo, si los ángulos de evasión son consistentes con las máscaras y si las máscaras para diferentes capas orbitales (es decir, la combinación particular de altitudes e inclinaciones de la órbita) son consistentes;

Las inconsistencias en cualquiera de estos puntos pueden usarse para manipular el software actual de la dfpe de la UIT y producir falsos resultados favorables.

- Requerir que un sistema de N GEO, en operaciones, cumpla con *todos los* límites de la dfpe de una sola fuente en todo el sistema, y que el regulador nacional vuelva a

---

<sup>13</sup> Actualización de las Partes 2 y 25 relativas a los sistemas del servicio fijo por satélite no geoestacionarios y cuestiones conexas, 32 FCC Rcd 7809, ¶ 35 (2017).

examinar todos los expedientes presentados por este mismo sistema en virtud de los cuales funciona de manera colectiva;

- En otras palabras, requerir que un sistema NGEO funcione de manera que no exceda ninguno de los límites de dfpe establecidos para un sistema NGEO individual, como si dependiera de una única notificación de la UIT para todas las operaciones en co-frecuencias, y asegurar que los parámetros establecidos en los expedientes son consistentes con los propios expedientes y con los satélites que se utilizarán para proveer servicios en los territorios de la nación;
- Llevar a cabo sus propios análisis de los niveles agregados de la dfpe de todos los sistemas de NGEO que pretendan prestar servicios a sus territorios para garantizar que los niveles agregados de la dfpe no superen ninguno de los límites de la dfpe; y
- Si se detecta interferencia perjudicial combinada causada a una red GEO por señales transmitidas por múltiples sistemas NGEO, y no es posible identificar el sistema NGEO que genera la interferencia perjudicial, se exigirá que los operadores de sistemas NGEO cooperen entre sí y adopten las medidas técnicas necesarias para eliminar la interferencia perjudicial.

## **B. Obstaculizar el acceso equitativo a las bandas de frecuencias compartidas de los NGEO**

Los grandes sistemas NGEO con miles de satélites pueden consumir también una parte significativa de los "ángulos de visión" hacia el espacio y las órbitas de los LEO, lo que impide el uso de las herramientas de intercambio que se han empleado con éxito durante decenios entre ciertos sistemas de NGEO. Esta amenaza para la compartición del espectro de las NGEO se produce cuando grandes constelaciones LEO "cubren el cielo", lo que provoca muchos eventos de interferencia perjudicial en línea que limitan y, a veces, bloquean por completo que otros sistemas de NGEO compartan el mismo espectro. Un gran sistema NGEO rara vez (o nunca) experimentaría este problema por sí mismo, ya que tiene un número mucho mayor de satélites que las constelaciones NGEO más pequeñas, lo que proporciona al gran sistema NGEO rutas de comunicación alternativas en las que el mismo espectro permanece disponible para su uso. Estos impactos se describen en el Anexo B.

El resultado es que un gran sistema de NGEO tendría pocos incentivos para evitar los eventos de interferencia perjudicial en línea; un gran número de eventos de interferencia perjudicial en línea dañarían a los sistemas NGEO más pequeños sin afectar materialmente las operaciones del gran sistema de NGEO. Como resultado, el gran sistema NGEO podría obstaculizar el acceso de otros operadores de satélites, incluidos los nuevos participantes, y su utilización del espectro compartido y los recursos orbitales en aras del interés público. Un gran operador NGEO reconoció este tipo de riesgos cuando se opuso a una propuesta que, según afirmaba, permitiría a otro operador NGEO acceder al doble de espectro en comparación con otros operadores de NGEO de banda Ku/Ka: *"el control de dos sistemas en una banda reduciría los incentivos para invertir en tecnologías que utilicen el espectro de*

*manera eficiente y aumentaría los incentivos para el obstruccionismo y la astucia en la coordinación entre operadores.*"<sup>14</sup>

Además, esta dinámica tiene el peligroso efecto de incentivar una "carrera hacia el abismo" en la que los sistemas N GEO despliegan muchos más satélites de los que realmente se necesitan, utilizando un gran número de satélites espectralmente ineficientes y rechazando enfoques razonables que, de otro modo, permitirían la compartición del espectro entre todos los sistemas N GEO, incluso los que operan a otras altitudes.

En resumen, los esfuerzos de algunos grandes operadores N GEO para "cubrir el cielo" pueden tener consecuencias directas y dañinas para otros sistemas y operadores N GEO, y pueden perjudicar la innovación, el crecimiento de la industria y el interés público en general.

Para evitar este resultado, es fundamental adoptar una condición que requiera la división del "ángulo de visión", en virtud de la cual los sistemas N GEO que prestan servicio a un país en frecuencias superpuestas dividirían la gama de acimuts de satélite vistos desde un emplazamiento de la Tierra siempre que exista la posibilidad de interferencia perjudicial N GEO/N GEO en ese emplazamiento.<sup>15</sup> Por ejemplo, en tales ocasiones, un sistema sólo funcionaría con satélites situados al Oeste de ese emplazamiento, mientras que el otro sistema sólo funcionaría con satélites situados al Este de ese emplazamiento. Mientras cada sistema tenga un satélite disponible en su dirección Oeste o Este asignada desde ese emplazamiento que no esté dentro del ángulo mínimo de evasión de un satélite del otro sistema en su dirección Oeste o Este asignada desde ese emplazamiento, no habrá reducción de capacidad.

En particular, el mismo nivel de división del "ángulo de visión" se produciría independientemente del número de satélites en una constelación N GEO dada. Cada operador soportaría la misma carga por defecto, en ausencia de algún otro resultado coordinado. Este enfoque permitiría que múltiples sistemas N GEO accedieran a los recursos de espectro disponibles sobre una base equitativa.

Específicamente, los reguladores nacionales deben condicionar las licencias para las grandes constelaciones N GEO para garantizar que no obstaculicen el acceso equitativo a los recursos

---

<sup>14</sup> Petición para denegar o diferir la participación de Space Exploration Holdings, LLC, Comisión Federal de Comunicaciones de EE. UU., Archivos IBFS n.º SAT-LOI-20170301-00031 y SAT-AMD-20180104-00004, en 13 (6 de agosto de 2018) (énfasis agregado).

<sup>15</sup> En casos análogos, los Estados Unidos imponen limitaciones a la división del espectro a los sistemas "extranjeros" de N GEO que tratan de obtener acceso a los mercados estadounidenses. Véase, por ejemplo, *In re Kinéis, Petición de resolución declaratoria para acceder al mercado de los Estados Unidos utilizando un sistema de satélites de órbita terrestre baja*, FCC 21-118 (rel. 19 de diciembre de 2021) en ¶¶ 2, 12 (el sistema LEO francés otorgó acceso al mercado de EE. UU. bajo la siguiente condición: "En ausencia de un acuerdo de coordinación, el espectro se dividirá entre licenciatarios y concesionarios de acceso al mercado de EE. UU. de conformidad con la sección 25.157 de las reglas de la Comisión"). <https://www.fcc.gov/document/fcc-grants-market-access-kineis-low-earth-orbit-satellites-0>. Sin embargo, el enfoque de los Estados Unidos perjudica desproporcionadamente a los sistemas de OSNG más pequeños por las razones explicadas en el Anexo B.

orbitales compartidos y limitados de los N GEO, exigiendo a los sistemas de N GEO autorizados para servir a sus países que:

- Funcionan con sólo  $1/n$  de los ángulos de visión en un país determinado, donde  $n$  es el número de sistemas N GEO autorizados para prestar servicio a ese país en la misma banda de frecuencias, y
- Coordinarse de buena fe y de antemano con otros sistemas de las N GEO para que todos los *ángulos* de visión puedan ser utilizados para servir a ese país por esos diferentes sistemas N GEO.

Con este enfoque, los sistemas N GEO estarían en igualdad de condiciones, independientemente del tamaño del sistema, lo que incentivaría a todos los sistemas N GEO a coordinar, preservar y promover nuevas oportunidades para el crecimiento de la industria en el país.

### C. Obstaculizar el acceso seguro y fiable a las órbitas LEO compartidas

Existe una amenaza adicional para la compartición del espectro porque las órbitas en las que los satélites LEO deben operar para utilizar el espectro son limitadas y, como reconocen los principales expertos,<sup>16</sup> los operadores de mega-constelaciones están en una carrera para ocupar (con un gran número de satélites) una amplia franja de órbitas en el rango de 300 km a 700 km que son importantes para muchos propósitos estratégicos. como las misiones de observación de la Tierra, teledetección<sup>17</sup> y<sup>18</sup> satélites PNT. Estas altitudes también son atractivas para otros fines debido a sus tiempos de decaimiento pasivo asociados para los satélites fallidos (que pueden salir de órbita mucho más rápidamente que desde órbitas más altas).<sup>19</sup>

Los operadores de mega-constelaciones LEO están llevando a cabo una "apropiación de tierras" de estos recursos orbitales al planear operar con tolerancias orbitales innecesariamente amplias, llenando efectivamente cientos de kilómetros de órbitas y obstaculizando la capacidad de otros sistemas LEO para operar de manera segura en órbitas cercanas. Esto afectaría a la capacidad de otros sistemas LEO de utilizar estas órbitas para proporcionar servicios innovadores al público y distorsionaría el equilibrio existente en la órbita LEO, todo lo cual es particularmente crítico de evitar en esta etapa tan temprana de la era del Nuevo Espacio.

El gran número de satélites propuestos para ocupar estas órbitas (más de 34.000 de un solo operador) es un problema suficiente, pero el impacto perjudicial se ve magnificado por las

---

<sup>16</sup> Véase, por ejemplo, "El tiro de Elon Musk a Amazon estalla una pelea de meses por los bienes orbitales de los multimillonarios" (27 de enero de 2021), <https://www.theverge.com/2021/1/27/22251127/elon-musk-bezos-amazon-multimillonarios-satélites-espacio>.

<sup>17</sup> Ver, p. ej., Agencia Espacial Europea, eduspace, "Satélites de observación de la Tierra – Introducción" [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_EN/SEM7YN6SXIG\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/SEM7YN6SXIG_0.html).

<sup>18</sup> Ver "¿Qué son los satélites LEO y por qué son buenos para PNT?" <https://www.orolia.com/what-are-leo-satellites-and-why-are-they-good-for-pnt/>.

<sup>19</sup> Otros sistemas de banda ancha por satélite actuales y futuros funcionan en órbitas diferentes.

tolerancias orbitales excesivamente amplias dentro de las cuales se proponen operar. Un operador LEO propone operar a lo largo *de cientos de kilómetros en la órbita LEO*, incluso en grandes franjas que se extenderían de 290 km a 430 km y de 475 km a 687 km. Como se muestra a continuación en la Figura 3, este resultado se produciría porque busca operar en cualquier lugar desde 50 km por debajo hasta 70 km por encima de cada una de las altitudes nominales de sus diversas capas orbitales.<sup>20</sup>

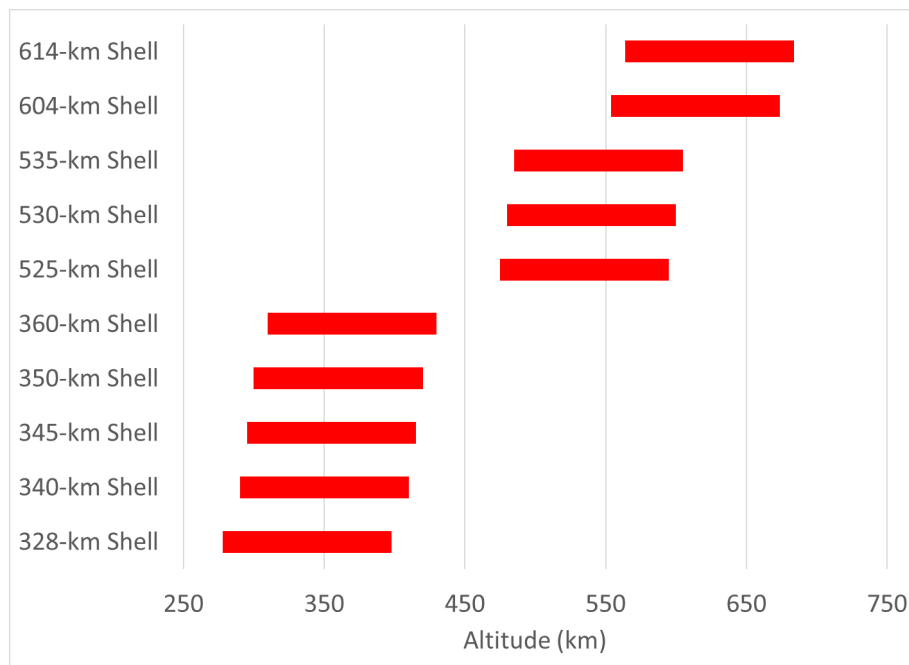


Figura 3: Extensión de las órbitas físicas que se propone consumir en un gran sistema LEO

El efecto neto sería impedir que otros sistemas LEO puedan acceder de manera segura y fiable a aproximadamente el 86 por ciento de las altitudes comprendidas entre 300 km y 700 km, independientemente de la banda de frecuencias (sólo 45 km de altitud entre 430 km y 475 km podrían estar disponibles para otros sistemas NGE0).

El gran sistema LEO tendría un incentivo limitado para permitir que otros sistemas LEO funcionaran en las gamas orbitales representadas en la Figura 3. En particular, dado que los sistemas LEO ya funcionan con tolerancias orbitales mucho más estrechas, no hay ninguna buena razón para permitirle prestar servicios a un país que utiliza capas superpuestas de satélites en órbitas muy amplias que consumen ineficientemente lo que de otro modo se compartiría. Además, ni la administración que autoriza este sistema LEO ni el propio operador LEO han determinado qué parámetros tendrían que cumplirse para permitir con seguridad que otros satélites o constelaciones LEO ocupen, o se superpongan, con las órbitas que este sistema LEO tiene previsto ocupar. Y otros operadores LEO han afirmado lo contrario que los sistemas LEO no pueden compartir con seguridad las mismas órbitas.

<sup>20</sup> Ver Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos, Archivo IBFS No. SAT-AMD-20210818-00105, a las 4 (18 de agosto de 2021). SpaceX planea operar la primera generación de sus satélites Starlink con tolerancias orbitales que se extenderían de 510 km a 580 km.

Por lo tanto, una vez más, este operador LEO podría obstaculizar la capacidad de otros operadores de satélites, incluidos los nuevos participantes, para acceder y utilizar el mismo espectro compartido y los mismos recursos orbitales en aras del interés público. Este operador ya goza de la capacidad de utilizar la órbita terrestre baja independientemente de que la coordinación física con cualquier otro operador haya concluido satisfactoriamente, pero no puede decirse lo mismo de los nuevos participantes (*es decir*, más allá de los que ya utilizan sistemas LEO), que pueden verse disuadidos incluso de intentar implantar sistemas que se superpongan con este sistema LEO.

Una mitigación consistiría en exigir a todo operador de órbita baja que preste servicios a un país que mantenga una tolerancia orbital de +/- 2,5 km para el apogeo y el perigeo de cada satélite, y una tolerancia de 0,5º para cada inclinación orbital que emplee, a fin de garantizar que otros sistemas LEO que traten de servir al país puedan acceder al espacio compartido de órbita terrestre baja, o bien aplicar los requisitos de tolerancia orbital que el regulador nacional considere apropiados para garantizar la capacidad de otros satélites. satélites y sistemas que sirvan a ese país para operar de manera segura dentro de las órbitas ocupadas por grandes constelaciones de órbitas terrestres bajas, o superponerse. Este enfoque se muestra en la Figura 4 a continuación.

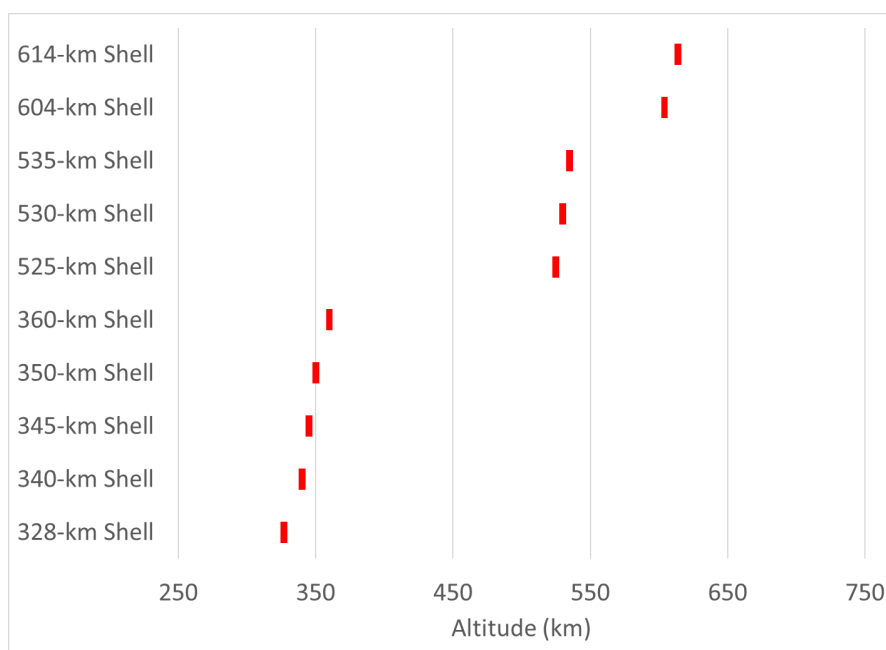


Figura 4: Las tolerancias orbitales razonables dejan espacio para muchos sistemas LEO

#### **D. Consumir más de una parte equitativa del límite agregado de la dfpe para todos los sistemas N GEO**

Como se explica en el Anexo A, un operador LEO tiene previsto explotar su sistema en el marco de múltiples solicitudes presentadas por la UIT, lo que daría lugar a que su sistema superara significativamente los límites agregados de la dfpe de la UIT. Además de que un sistema causa mucha más interferencia perjudicial en las redes GEO que la permitida por el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, obstaculizaría las oportunidades para que otras partes, incluidos los operadores nacionales, exploten sus propios sistemas N GEO,

porque ese sistema consumiría (y de hecho superaría) todo el "presupuesto" agregado de la dfpe que debe prorratearse entre todos los sistemas N GEO que utilizan las mismas frecuencias o superpuestas.

E incluso si ese sistema LEO no consumiera todo el presupuesto agregado de la dfpe, en virtud de la reivindicación de derechos para operar en virtud de muchas solicitudes diferentes de la UIT, el operador de ese sistema LEO tendría una influencia significativa frente a otros sistemas N GEO en cualquier negociación que deba tener lugar sobre la asignación del "presupuesto" agregado de la dfpe entre múltiples sistemas N GEO.

### III. Efectos adversos en las industrias espaciales nacionales

Una posición de liderazgo de uno o dos operadores de órbita terrestre baja con respecto a los recursos N GEO no sólo podría obstaculizar la capacidad de otros operadores de satélites o proyectos de constelaciones para funcionar eficazmente, sino que también representaría una pérdida de valor para las infraestructuras nacionales de comunicaciones por satélite tanto en el sector público como en el privado. Esto incluye a actores de la industria espacial tan diversos como fabricantes, operadores de lanzamientos y programas nacionales de satélites tanto para comunicaciones como para otras aplicaciones LEO.

En particular, si se combina con el control de los operadores N GEO sobre los vehículos de lanzamiento críticos, es fácil imaginar la posibilidad de que se produzcan estos daños.

La pérdida de valor para las economías nacionales y el correspondiente impacto negativo en el empleo sería enorme. Los reguladores nacionales deben garantizar la pertinencia continua de sus bases industriales nacionales existentes, así como de todas las nuevas empresas nacionales que deseen aprovechar las oportunidades que se presentan en la nueva era espacial y que dependen del acceso al espectro y a los recursos orbitales.

Existe un creciente reconocimiento de que existen limitaciones a la explotación de la órbita LEO, que se han expresado alternativamente como límites ambientales,<sup>21</sup> "capacidad de carga"<sup>22</sup> y "tiempo del síndrome de Kessler".<sup>23</sup> Independientemente de la terminología, el

---

<sup>21</sup> Véase, p. ej., Instituto Europeo de Política Espacial, ESPI Report 82 - Space Environment Capacity – Full Report (abril de 2022), <https://espi.or.at/news/espi-report-82-space-environment-capacity>; L. Miraux, "Límites ambientales al crecimiento del sector espacial," *CIENCIA DEL MEDIO AMBIENTE TOTAL* (febrero de 2022), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721059404?via%3Dihub> ("Un Se supone que las limitaciones a la empresa humana en el espacio son de naturaleza puramente técnica y económica terrestre. En este documento se cuestiona esta suposición, al poner de relieve la existencia de límites ambientales al desarrollo actualmente planificado de las actividades espaciales. Se exploran los riesgos derivados de estos límites y se hace hincapié en la importancia del diseño ecológico en el sector espacial."); A. Boley y M. Byers, *Las megaconstelaciones de satélites crean riesgos en la órbita terrestre baja*, *Sci Rep* 11,10642 (2021), págs. 1-3, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89909-7>.

<sup>22</sup> Ver Física Hoy, Toni Feder, "Preguntas y respuestas: Moriba Jah sobre la sostenibilidad del espacio cercano a la Tierra" (31 de marzo de 2022), <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.4.20220331a/full/>.

<sup>23</sup> Ver M. A. Sturza y G. Saura Carretero, Conferencia de Tecnologías Avanzadas de Vigilancia Óptica y Espacial de Maui (AMOS) de 2021, "Oficios de diseño para sistemas de satélites LEO de banda ancha

punto crítico es que los recursos orbitales LEO (como todos los sistemas N GEO) son *limitados*. Como explica un destacado experto:

Creo que vamos a perder la capacidad de usar ciertas órbitas porque la capacidad de carga se va a saturar de objetos y basura. La saturación de la capacidad orbital significa "cuando nuestras decisiones y acciones ya no pueden evitar que ocurran resultados no deseados".<sup>24</sup>

Por lo tanto, corresponde a los reguladores nacionales considerar qué parte de estos recursos -incluidos los recursos espectrales- consumirían los sistemas N GEO que están autorizados a servir a sus países, y qué parte quedaría disponible para los participantes nacionales en la industria espacial y de las telecomunicaciones.

#### IV. Consecuencias adversas para los usuarios finales y los ciudadanos

Las economías y sociedades nacionales dependen cada vez más de los servicios espaciales (como los servicios de localización, los servicios de medios de comunicación por satélite, la predicción meteorológica y los servicios de emergencia). Esta creciente dependencia de las actividades económicas nacionales del espacio viene acompañada de la necesidad de evitar y mitigar los riesgos de perturbación de los activos y la infraestructura basados en el espacio.

El aumento en el número de objetos espaciales, de 2.000 satélites activos a fines de 2018 a aproximadamente 4.000 en la actualidad y probablemente 100.000 o más para fines de la década, una cantidad creciente de desechos orbitales y la creciente congestión resultante de la órbita LEO, aumenta la probabilidad de eventos de colisión que pueden inhabilitar e incluso destruir satélites, y también generar más desechos orbitales.<sup>25</sup> Cada colisión conducirá estadísticamente a más colisiones y, en última instancia, puede conducir a un "cinturón de escombros alrededor de la Tierra",<sup>26</sup> lo que resultará en una serie de colisiones autosostenidas conocidas como el síndrome de Kessler, que podría hacer que ciertas órbitas sean inutilizables para servicios espaciales cívicos, militares y comerciales críticos.

Un notable estudio encargado por la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NSF, por sus siglas en inglés) indica que puede no ser factible mantener el despliegue de un gran sistema N GEO a lo largo del tiempo debido a esta dinámica. Ese estudio de la NSF

---

respetuosos con el medio ambiente" (2021),  
<https://amostech.com/TechnicalPapers/2021/Poster/Sturza.pdf>.

<sup>24</sup> E. Berger, "Experto en desechos espaciales: Las órbitas se perderán y la gente morirá a finales de esta década. Flexionar los músculos geopolíticos en el espacio para dañar a otros ya ha sucedido", *Ars Technica* (14 de diciembre de 2022) (citando a Moriba Jah), <https://arstechnica.com/science/2022/12/space-debris-expert-orbits-will-be-lost-and-people-will-die-later-this-decade/>.

<sup>25</sup> Véase A. Lawrence, M. L. Rawls, M. Jah, A. Boley, F. Di Vruno, S. Garrington, M. Kramer, S. Lawler, J. Lowenthal, J. McDowell y M. McCaughrean, "The case for space environmentalism", *NATURE ASTRONOMY* (22 de abril de 2022), <https://www.nature.com/articles/s41550-022-01655-6>.

<sup>26</sup> Ver D. J. Kessler y B. G. Cour-Palais, "Frecuencia de colisión de satélites artificiales: la creación de un cinturón de escombros" (1978).



pronostica un aumento dramático tanto en las colisiones espaciales como en los nuevos desechos, a partir de unos pocos años; A largo plazo, "los satélites se destruyen [por colisiones con escombros] más rápido de lo que se lanzan".<sup>27</sup> Otro estudio concluye que "se espera que el síndrome de Kessler ocurra en la órbita terrestre baja alrededor de 2048 bajo las recientes tendencias históricas de crecimiento sectorial, y puede ocurrir tan pronto como en 2035 si la economía espacial crece de acuerdo con las proyecciones de los principales bancos de inversión".<sup>28</sup>

En particular, el aumento masivo del tamaño de las constelaciones LEO está impulsando un aumento exponencial en el número de conjunciones (*es decir*, "llamadas cercanas") que se puede esperar que experimente una constelación determinada a lo largo del tiempo, lo que aumenta drásticamente la probabilidad de una colisión en órbita que tendría efectos devastadores en la sostenibilidad y la seguridad espaciales.<sup>29</sup> Como explica un destacado experto: "La ley de los números muy grandes te dirá que pueden ocurrir eventos de muy baja probabilidad si se te dan suficientes oportunidades".<sup>30</sup> Sin embargo, no hay normas o directrices actuales que reflejen la magnitud de estos peligros.

El riesgo de colisión se ve agravado por las tasas de fallos documentadas de los satélites en ciertas constelaciones de la órbita terrestre baja: de hecho, los satélites que no pueden maniobrar no pueden evitar las colisiones, y las tasas de fallos experimentales en las primeras etapas de la vida de una constelación demuestran que ésta no ha sido capaz de mantener un nivel suficientemente bajo de fiabilidad de eliminación.<sup>31</sup> Además, no se pueden predecir todas las colisiones potenciales, e incluso cuando un satélite es maniobrable, no se pueden evitar todas las colisiones potenciales.<sup>32</sup>

---

<sup>27</sup> G. Long, "Los impactos de las grandes constelaciones de satélites", JASON – The MITRE Corporation, JSR-20-2H, nov. 2020, (Actualizado: 21 de enero de 2021), a las 97, [https://www.nsf.gov/news/special\\_reports/jasonreportconstellations/JSR-20-2H The Impacts of Large Constellations of Satellites 508.pdf](https://www.nsf.gov/news/special_reports/jasonreportconstellations/JSR-20-2H%20The%20Impacts%20of%20Large%20Constellations%20of%20Satellites%20508.pdf).

<sup>28</sup> A. Rao y G. Rondina, "Acceso abierto a la órbita y crecimiento desbocado de desechos espaciales", arXiv:2202.07442 [econ. GN] (16 de febrero de 2022), pág. 1, <https://arxiv.org/pdf/2202.07442.pdf>.

<sup>29</sup> Ver Comentarios de la NASA, la FCC de EE. UU. Archivo IBFS No. SAT-AMD-20210818-00105, en 1 (presentado el 8 de febrero de 2022) ("Carta de la NASA") (Con el aumento de las propuestas de grandes constelaciones a la FCC, la NASA ha preocupaciones sobre el potencial de un aumento significativo en la frecuencia de los eventos de conjunción y los posibles impactos en las misiones científicas y de vuelos espaciales tripulados de la NASA.); ("Un aumento de esta magnitud en estas bandas de altitud confinadas trae inherentemente Riesgo adicional de eventos de colisión que generen escombros basados solo en el número de objetos.") (sin cursivas en el original).

<sup>30</sup> <https://twitter.com/ProfHughLewis/status/1509903335251456045> (1 de abril de 2022).

<sup>31</sup> Ver "Jonathan's Space Pages: Starlink Statistics" (Páginas espaciales de Jonathan: estadísticas de Starlink), <https://planet4589.org/space/con/star/stats.html> (detallando una variedad de tipos de fallas y anomalías que involucran satélites Starlink).

<sup>32</sup> Véase la carta de la NASA, pág. 3 ("Teniendo en cuenta las múltiples constelaciones independientes de decenas de miles de naves espaciales y el aumento previsto del número de encuentros cercanos a lo largo del tiempo, la hipótesis de riesgo cero desde el punto de vista del sistema carece de fundamento estadístico").

Estos puntos son particularmente relevantes a la luz de la reciente atención a las consecuencias a corto y largo plazo de una prueba antisatélite (ASAT) exitosa que ocurrió en noviembre de 2021 con el satélite Cosmos 1408. Otro estudio reciente muestra que se puede esperar un resultado similar en caso de que dos grandes satélites LEO colisionen catastróficamente.<sup>33</sup> Ambos tipos de eventos generan un gran número de desechos letales que se propagan a órbitas a cientos de kilómetros del punto de impacto y persisten durante décadas,<sup>34</sup> incluidos los desechos letales *no rastreables* (LNT), que (i) aumentan el riesgo de colisiones de naves espaciales (y víctimas humanas en el espacio), (ii) no se pueden ver y, por lo tanto, no se pueden evitar, y cuyos riesgos no se pueden mitigar de otra manera en la actualidad. y (iii) puede destruir o inutilizar satélites activos y, por lo tanto, perturbar los servicios vitales basados en satélites. De hecho, los expertos explican que LNT "domina el perfil de riesgo de las naves espaciales operativas".<sup>35</sup>

Fallos y colisiones de este tipo afectarían mucho más que a los satélites de la propia constelación LEO. La falla de los satélites LEO, las colisiones en las que se vean implicados satélites LEO y los campos de desechos resultantes afectarían a todos los satélites y constelaciones individuales que ocupen o transiten por la misma órbita o por órbitas superpuestas, lo que podría perturbar el funcionamiento de otros sistemas de satélites críticos, incluidos los situados en LEO y más allá. Y tanto los satélites fallidos como las colisiones catastróficas harían que el entorno orbital fuera más abarrotado y peligroso y haría que el acceso al espacio fuera más costoso y riesgoso para otros, incluidos los satélites que proporcionan servicios de comunicaciones de banda ancha y video DTH, así como aquellos que brindan observaciones espaciales críticas para el pronóstico del tiempo, el monitoreo del clima y las ciencias de la tierra, y PNT.

Estos daños también incluyen los costos y riesgos relacionados con el diseño de satélites y constelaciones N GEO para operar en un entorno más abarrotado (y peligroso), los riesgos y retrasos asociados con el lanzamiento de satélites en y a través de esos entornos abarrotados (*es decir*, en el camino hacia órbitas más altas, incluida la órbita GEO), y los riesgos asociados con la desorbitación de satélites a través de esas órbitas abarrotadas al final de su vida útil.

---

<sup>33</sup> "Las colisiones de satélites tienen las mismas consecuencias que las pruebas ASAT" (noviembre de 2021), <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

<sup>34</sup> Ver "Mito de la órbita autolimpiante" (diciembre de 2021), <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

<sup>35</sup> R. Buchs, "Riesgo de colisión procedente de desechos espaciales: situación actual, problemas y estrategias de respuesta", Lausana: Centro Internacional de Gobernanza de Riesgos de la EPFL (2021), a las 13, [https://go.epfl.ch/irgc\\_space\\_debris\\_report](https://go.epfl.ch/irgc_space_debris_report) ("Los objetos LNT dominan el perfil de riesgo de las naves espaciales operativas. Como son mucho más numerosos que los objetos rastreables y no se pueden evitar, los objetos LNT representan más del 95% del riesgo de colisión de la misión para un satélite LEO típico.

Además, como observaron tanto el Director General de un proveedor de lanzamiento de satélites como<sup>36</sup> la NASA,<sup>37</sup> la aglomeración de satélites LEO de los satélites activos de una gran constelación LEO reduciría el número de ventanas de lanzamiento viables disponibles y, por lo tanto, aumentaría los costos y las demoras asociados con las actividades de lanzamiento de todo tipo, para todos los satélites en todas las órbitas.

Además, en un informe histórico, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) señala el creciente riesgo de un desastre ambiental e industrial irreversible en el espacio.<sup>38</sup> Por lo tanto, el despliegue de grandes constelaciones de órbitas terrestres bajas fuera de un marco y una reglamentación claros para la preservación de los objetos cercanos a la Tierra plantea una posible amenaza directa a la función de los sistemas espaciales clave que se están poniendo en marcha ahora y de los que muchos países pueden beneficiarse en el futuro, como los sistemas GPS, que a su vez "tendrían un impacto directo en la seguridad, la economía y el bienestar" de los ciudadanos.<sup>39</sup>

Los riesgos de colisión y generación de desechos orbitales también se ven afectados considerablemente por la masa y la sección transversal de los satélites LEO, así como por el número de satélites de una constelación y las órbitas particulares que emplean.<sup>40</sup> En lo que es una tendencia inquietante, los vehículos espaciales LEO son cada vez más grandes y masivos, con importantes consecuencias para la sostenibilidad espacial y los riesgos para la seguridad que plantean los satélites individuales, incluso cuando se consideran aisladamente (*por ejemplo*, los riesgos de colisión por satélite), debido al mayor riesgo de colisión asociado con una mayor superficie de sección transversal y a los mayores campos de desechos resultantes cuando estos satélites más masivos chocan con otros objetos espaciales.

En la Figura 5 se ilustra el espectacular aumento de la masa y la superficie de la sección transversal en el diseño de los satélites LEO. *Como se analiza más adelante, esta tendencia tiene serias repercusiones para otras personas que buscan acceder y utilizar el espacio.*

---

<sup>36</sup> J. Wattles, "El espacio se está volviendo demasiado concurrido", advierte el director ejecutivo de Rocket Lab, CNN (8 de octubre de 2020), <https://www.cnn.com/2020/10/07/business/rocket-lab-debris-launch-traffic-scn/index.html> ("Las constelaciones de satélites pueden ser particularmente problemáticas", dijo, "porque los satélites pueden volar bastante juntos, formando una especie de bloqueo que puede evitar que los cohetes se colen").

<sup>37</sup> Carta de la NASA en 4 ("La NASA también está preocupada por la creciente falta de disponibilidad de ventanas de lanzamiento seguras, especialmente para misiones que requieren ventanas de lanzamiento instantáneas o cortas, como las misiones planetarias como Europa Clipper, que se verían significativamente afectadas debido a una oportunidad de lanzamiento perdida").

<sup>38</sup> "Space Sustainability: The Economics of Space Debris in Perspective", OCDE Science, Technology and Industry, Policy Papers, n.º 87 (abril de 2020), <https://www.oecd.org/fr/environnement/space-sustainability-a339de43-en.htm>.

<sup>39</sup> Comisión Europea, Comunicación conjunta al Parlamento Europeo y al Consejo, «Un enfoque de la UE para la gestión del tráfico espacial; Una contribución de la UE que aborda un desafío global" (15 de febrero de 2022), [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/join\\_2022\\_4\\_1\\_en\\_act\\_part1\\_v6.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/join_2022_4_1_en_act_part1_v6.pdf).

<sup>40</sup> Ver M. A. Sturza y G. Saura Carretero, Conferencia de Tecnologías Avanzadas de Vigilancia Óptica y Espacial de Maui (AMOS) de 2021, "Diseño intercambios por sistemas de satélites LEO de banda ancha respetuosos con el medio ambiente" (2021), <https://amostech.com/TechnicalPapers/2021/Poster/Sturza.pdf>.

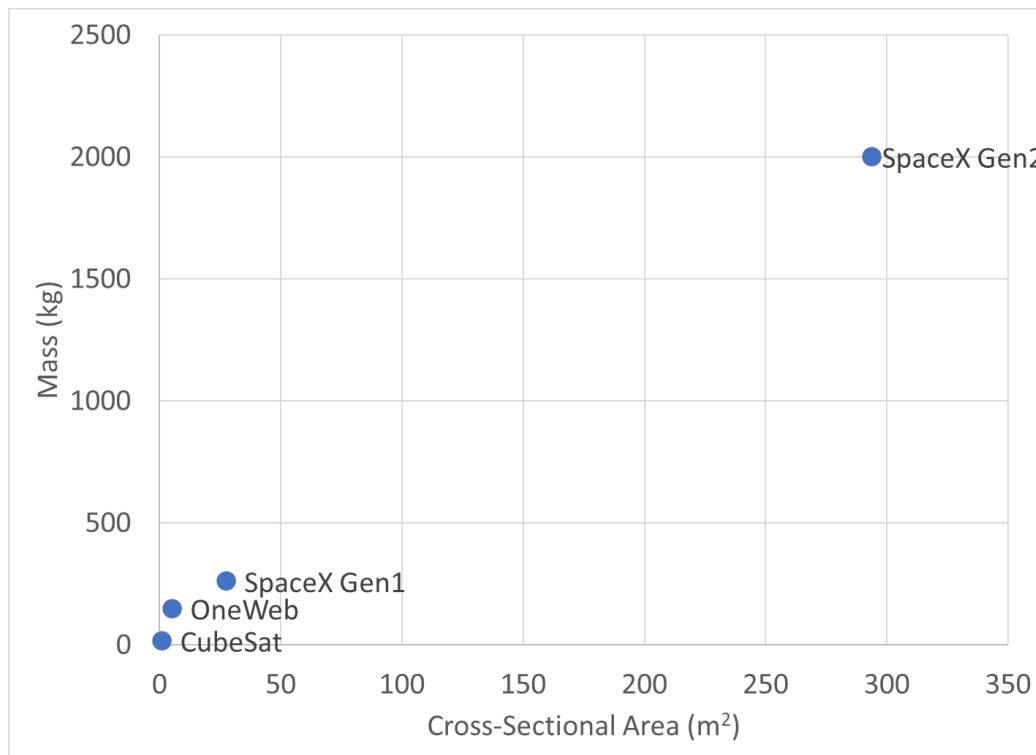


Figura 5: Tendencias de la masa estimada de la nave espacial LEO y de la zona de la sección transversal

Por lo tanto, los reguladores nacionales deberían: i) exigir a los solicitantes de órbita terrestre baja que divulguen la masa y la sección transversal de los satélites LEO propuestos, además del número de satélites de una constelación y las órbitas concretas que emplean, de modo que pueda evaluarse el riesgo agregado que presenta la constelación, y ii) exigir que los solicitantes no introduzcan cambios que aumenten la masa o la superficie de la sección transversal de sus satélites, el número de sus satélites, o las órbitas que planea utilizar, sin notificar ni obtener la aprobación del regulador nacional. Esta información es esencial para permitir el cálculo y la gestión de la contribución total de una constelación LEO al riesgo de colisión y de desechos orbitales.

Un avance muy significativo y positivo se refleja en el modelo (basado en herramientas de medición empírica y análisis cuantitativos) que se ha desarrollado para ayudar a: i) comprender los límites de la explotación espacial de los LEO y la mejor manera de operar dentro de esos límites, y ii) tomar decisiones más informadas sobre la formulación de políticas y la concesión de licencias.

Un estudio reciente titulado "LEO Capacity Modeling for Sustainable Design"<sup>41</sup> estima la "capacidad de carga" de LEO, es decir, la distribución sostenible de la población satelital en LEO. Estima la propagación futura de los desechos, teniendo en cuenta tanto los desechos existentes como la probabilidad de que los objetos que no son desechos se conviertan en

<sup>41</sup> M. Sturza, M. Dankberg, W. Blount, "LEO Capacity Modelling for Sustainable Design", Conferencia sobre Tecnologías Avanzadas de Vigilancia Óptica y Espacial de Maui, 27-30 de septiembre de 2022, <https://amostech.com/TechnicalPapers/2022/Space-Debris/Sturza.pdf>.

desechos dentro de un horizonte temporal determinado. También tiene en cuenta el rendimiento de varias mitigaciones posibles. Esta metodología permite comparar holísticamente las contribuciones a la propagación de desechos en función de las características específicas del sistema y deducir el impacto incremental de los sistemas y características individuales en la capacidad de carga de LEO.

Este estudio arroja muchos resultados significativos, entre ellos: (i) las configuraciones propuestas de segunda generación de dos mega-constelaciones particulares consumirían toda, o casi toda, la capacidad de carga en órbitas LEO cercanas a las ocupadas por esas constelaciones; ii) los satélites menos masivos con una sección transversal más reducida facilitan una mayor capacidad de carga en la órbita terrestre baja; y iii) la eliminación de la población existente de cuerpos de cohetes abandonados no da lugar a un aumento importante de la capacidad de carga de objetos cercanos a la Tierra.

Estos resultados ponen de relieve la necesidad de facilitar la utilización sostenible de la órbita terrestre baja mediante: i) la aplicación de prescripciones en materia de control de acceso orbital y de fiabilidad mínima de los satélites mediante licencias y condiciones de acceso a los mercados que limiten el número de satélites LEO, la masa y la superficie de la sección transversal lanzados a diversas órbitas, y garanticen una cierta probabilidad de eliminación satisfactoria después de la misión; y ii) el desarrollo de regímenes orbitales adecuados para soportar diferentes tipos de sistemas LEO. Por ejemplo, a) altitudes inferiores a 400 km pueden ser adecuadas para satélites no propulsores; b) las altitudes comprendidas entre 400 km y 600 km pueden ser adecuadas para las mega-constelaciones (siempre que se gestione el número de satélites, la masa y la superficie de la sección transversal lanzada); y c) las constelaciones más pequeñas de más de 600 km son probablemente sostenibles en función de la masa y la superficie de la sección transversal.

Cabe destacar que el modelo en que se basa este estudio es útil para: i) ayudar en el diseño de sistemas LEO de banda ancha sostenibles; ii) evaluar el impacto de los sistemas LEO existentes y previstos; y (iii) comprender las implicaciones de múltiples constelaciones grandes LEO que ocupan órbitas vecinas, entrelazadas o superpuestas.

Además, la utilización de un modelo de este tipo puede facilitar: i) la medición cuantitativa de la eficacia absoluta y relativa de los reglamentos y políticas que rigen el acceso al espacio y las operaciones, y la determinación de la eficacia de las medidas correctivas y de mitigación, como las estrategias de remoción de desechos, la vigilancia y el seguimiento espaciales, el conocimiento de la situación espacial y la gestión del tráfico espacial; ii) considerar las interacciones entre todas las misiones y constelaciones, en lugar de limitarse a abordar cada una de ellas individualmente y sobre la base de modelos históricos de flujo de desechos; y iii) fomentar la identificación de las características cuantitativas del diseño del sistema que ralentizan, detienen o invierten la aceleración hacia un punto en el tiempo en el que el acceso al espacio se ve intolerablemente afectado o incluso se pierde.

Por lo tanto, este tipo de modelo ofrece una alternativa cuantitativa a la heurística intuitiva y a las mitigaciones que se están contemplando actualmente para hacer frente a la crisis de los desechos y, por lo tanto, debería permitir la adopción de decisiones más informadas sobre la formulación de políticas y la concesión de licencias.

## V. Efectos ambientales adversos sobre la atmósfera, la astronomía y el cielo nocturno

El aumento del uso del espacio no está exento de costos para el medio ambiente.<sup>42</sup> El rápido desarrollo de grandes constelaciones de órbita LEO corre el riesgo de múltiples tragedias de los bienes comunes, incluidas tragedias para la astronomía terrestre, la vida en la Tierra y la atmósfera superior de la Tierra.<sup>43</sup> Esos costos incluyen: i) la posibilidad de que grandes cantidades de satélites vuelvan a entrar en la atmósfera para dañar la atmósfera de la Tierra y provocar el cambio climático mediante, entre otras cosas, el forzamiento radiativo<sup>44</sup> y el agotamiento de la capa de ozono, lo que aumenta el riesgo de cáncer y otros efectos

---

<sup>42</sup> Véase en general S. Hall, La nueva carrera espacial está causando nuevos problemas de contaminación: La estratosfera de la Tierra nunca ha visto las cantidades de emisiones y desechos de cohetes y satélites que dejará una economía espacial en auge. *Tiempos de Nueva York* (actualizado el 22 de enero de 2024), <https://www.nytimes.com/2024/01/09/science/rocket-pollution-spacex-satellites.html>.

<sup>43</sup> Ver A. Lawrence, M. L. Rawls, M. Jah, A. Boley, F. Di Vruno, S. Garrington, M. Kramer, S. Lawler, J. Lowenthal, J. McDowell y M. McCaughrean, "El caso del ecologismo espacial", *NATURE ASTRONOMY* (22 de abril de 2022), <https://www.nature.com/articles/s41550-022-01655-6>;

Carta del Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales y la Asociación Internacional de Cielo Oscuro a la FCC de EE. UU., IBFS File Nos. SAT-LOA-20200526-00055 y SAT-AMD-20210818-00105 (7 de septiembre de 2022) ("Carta de NRDC e IDA");

A.C. Boley y M. Byers, "Las megaconstelaciones de satélites crean riesgos en la órbita terrestre baja, la atmósfera y en la Tierra", *SCIENTIFIC REPORTS*, 11, artículo número 10642 (20 de mayo de 2021), <https://www.nature.com/articles/s41598-021-89909-7>.

<sup>44</sup> Ver L. Organski, C. Barber, S. Barkfelt, M. Hobbs, R. Nakagawa, Dr. M. Ross, Dr. W. Ailor, "Impactos ambientales de los satélites desde el lanzamiento hasta la salida de órbita y el Green New Deal para la empresa espacial", Aerospace Corporation (diciembre de 2020);

D. Werner, "Aerospace Corp. plantea preguntas sobre los contaminantes producidos durante la reentrada de satélites y cohetes", *SpaceNews* (15 de diciembre de 2020), <https://spacenews.com/aerospace-agu-reentry-pollution/>;

M. N. Ross y L. David, "Un peligro subestimado de la nueva era espacial: la contaminación atmosférica global", *Scientific American* (febrero de 2021), <https://www.scientificamerican.com/article/an-underappreciated-danger-of-the-new-space-age-global-air-pollution/>;

M. N. Ross y K. L. Jones, "Implicaciones de una creciente industria de vuelos espaciales: cambio climático", *JOURNAL OF SPACE SAFETY ENGINEERING* (6 de junio de 2022), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468896722000386>;

Oficina de Rendición de Cuentas del Gobierno de los Estados Unidos, *Grandes constelaciones de satélites: mitigación de los efectos ambientales y de otro tipo*, GAO-22-105166 (29 de septiembre de 2022) ("Primer informe de la GAO de EE. UU."), <https://www.gao.gov/products/gao-22-105166>;

"Los científicos de la NOAA vinculan partículas metálicas exóticas en la atmósfera superior con cohetes y satélites" (16 de octubre de 2023), [https://research.noaa.gov/2023/10/16/noaa-scientists-link-exotic-metal-particles-in-the-upper-atmosphere-to-rockets-satellites/#:~:text=NOAA%20scientists%20investigating%20the%20stratosphere,intense%20heat%20of%20re%2Dentry](https://research.noaa.gov/2023/10/16/noaa-scientists-link-exotic-metal-particles-in-the-upper-atmosphere-to-rockets-satellites/#:~:text=NOAA%20scientists%20investigating%20the%20stratosphere,intense%20heat%20of%20re%2Dentry;);

D. M. Murphy, M. Abou-Ghanem, D. J. Czicz, "Metales de la reentrada de naves espaciales en partículas de aerosol estratosférico", *Actas de la Academia Nacional de Ciencias* (16 de octubre de 2023), <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2313374120>.

negativos para la salud;<sup>45</sup> ii) perjudicar la investigación óptica y radioastronómica crítica al perturbar el cielo nocturno visible;<sup>46</sup> iii) la creación de contaminación lumínica, con los consiguientes efectos negativos en la salud y la calidad de vida de los seres humanos y de las plantas y los animales;<sup>47</sup> y (iv) como ha enfatizado la NASA, perjudicar el funcionamiento de las capacidades críticas de detección y defensa de asteroides.<sup>48</sup>

De hecho, ciertas decisiones tomadas en el diseño del sistema LEO son los factores dominantes que afectan a estos impactos adicionales, como el área de la sección transversal del satélite, la masa, la órbita y el número de satélites, junto con el albedo (o reflectividad) y la composición del material.

Tenemos una tendencia equivocada en cada uno de estos aspectos, como se muestra en la Figura 6, que muestra: (i) el número total de satélites en órbita terrestre baja al 1 de enero de 2022,<sup>49</sup> así como la masa asociada y el área de la sección transversal de esos satélites (en verde); y ii) el aumento exponencial de estos valores que se produciría si se permitiera el despliegue de un solo sistema LEO en particular (en rojo).<sup>50</sup>

---

<sup>45</sup> Ver Carta de NRDC e IDA en 3.

<sup>46</sup> Ver R. Boyle, "Las constelaciones de satélites son una amenaza existencial para la astronomía", *Científico Americano* (7 de noviembre de 2022), <https://www.scientificamerican.com/article/satellite-constellations-are-an-existential-threat-for-astronomy/>;

A. Lawrence, M. L. Rawls, M. Jah, A. Boley, F. Di Vruno, S. Garrington, M. Kramer, S. Lawler, J. Lowenthal, J. McDowell y M. McCaughrean, "El caso del ecologismo espacial", *NATURE ASTRONOMY* (22 de abril de 2022), <https://www.nature.com/articles/s41550-022-01655-6>;

C. Young, "¿El peor escenario de Starlink? Podríamos estar 'justo al borde' del síndrome de Kessler", *INTERESTING ENGINEERING* (11 de agosto de 2022), <https://interestingengineering.com/innovation/worst-case-starlink-scenario-kessler-syndrome>;

Primer informe de la GAO de EE. UU., pág. 1;

Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Ultraterrestre, Unión Astronómica Internacional, IAC, NOIR Lab, Dark and Quiet Skies for Science and Society: Report and Recommendations, (29 de diciembre de 2020), disponible en <https://www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf>.

<sup>47</sup> Carta de NRDC e IDA en 3.

<sup>48</sup> Ver Carta de la NASA en 3 ("Habrá un Starlink en cada imagen de estudio de asteroides tomada para la defensa planetaria contra impactos peligrosos de asteroides, lo que disminuiría la efectividad del estudio de asteroides al hacer que partes de las imágenes sean inutilizables. Esto podría... Tener un *efecto perjudicial en la capacidad de nuestro planeta para detectar y posiblemente redirigir un impacto potencialmente catastrófico.*") (sin cursivas en el original).

<sup>49</sup> Véase el Informe Anual sobre el Medio Ambiente Espacial de la ESA, págs. 52-54 (22 de abril de 2022), [https://www.sdo.esoc.esa.int/environment\\_report/Space\\_Environment\\_Report\\_latest.pdf](https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf) (proporcionando datos utilizados para la "línea de base" del 1 de enero de 2022).

<sup>50</sup> Según los datos que SpaceX proporcionó a la FCC de EE. UU. en su propuesta para expandir su sistema.

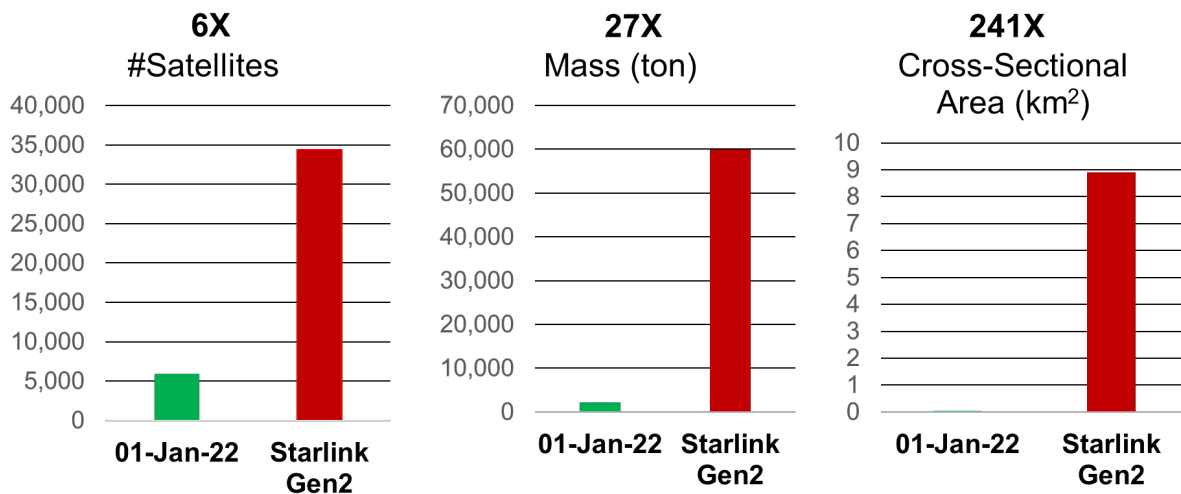


Figura 6: Tendencias en el tamaño, la masa y el área de la sección transversal de la constelación LEO

La revisión de los expertos confirma que el enfoque de décadas de antigüedad que algunos aplican a los efectos ambientales de las mega-constelaciones actuales debe revisarse para tener en cuenta la nueva información disponible sobre esos efectos nunca antes contemplados.<sup>51</sup> Es esencial que estos efectos se tengan en cuenta a la hora de evaluar qué tipos de constelaciones LEO están autorizadas para servir a un país determinado.

Las consecuencias medioambientales de la expansión propuesta de un gran sistema LEO, que no tiene precedentes en su naturaleza e implicaría el despliegue de aproximadamente 90.000 (o más) satélites en total durante 15 años, utilizando un lanzamiento cada seis días, serían graves.<sup>52</sup> Entre otras cosas, el impacto de depositar unas 150.000 toneladas de alúmina en la atmósfera superior cuando sus satélites salgan de órbita<sup>53</sup> tendría sin duda efectos nocivos. Y los hechos (incluidos los proporcionados por la NASA) reflejan que este operador no está protegiendo la astronomía ni preservando el cielo nocturno, y este operador no ha

<sup>51</sup> Ver Oficina de Rendición de Cuentas del Gobierno de los Estados Unidos, *FCC debería reexaminar su proceso de revisión ambiental para grandes constelaciones de satélites*, GAO-23-105005 (noviembre de 2022), a las 28, <https://www.gao.gov/products/gao-23-105005>.

<sup>52</sup> Ver J. Baumgartner, "El desalentador plan de despliegue de Starlink "no deja margen de error", según un analista," *NOTICIAS DEL MUNDO DE LA BANDA ANCHA* (18 de enero de 2022), [https://www.broadbandworldnews.com/author.asp?section\\_id=733&doc\\_id=774668](https://www.broadbandworldnews.com/author.asp?section_id=733&doc_id=774668), Citando "Starlink: Hazlo a lo grande o vete a casa," *MOFFETT NATHANSON* (18 de enero de 2022). "Incluso usando Starship, a razón de 100 satélites por lanzamiento, lograr una constelación de 30.000 aves y mantenerla hasta, digamos, 2030, requeriría lanzar 50.000 satélites, o quinientos cohetes, de aquí a entonces", estima Moffett. "Eso es un lanzamiento de cohete aproximadamente cada seis días... durante nueve años. El simple hecho de mantener la constelación a partir de entonces, si se supone un desgaste anual del 20% (desorbitación), requeriría un nuevo lanzamiento cada seis días. Para siempre".

<sup>53</sup> Basado en la representación previa de SpaceX de que los satélites Starlink de primera generación "consisten en aproximadamente 230 libras de aluminio" y que hay una "fracción de masa del 52% de aluminio" en la alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), entonces 29,988 x 230 / 0.52 = 13,263,923 libras. Teniendo en cuenta los reemplazos de esos satélites Gen2 durante un período de licencia de 15 años y que los satélites Gen2 pueden ser casi ocho veces más masivos, la expansión propuesta de Starlink bien podría resultar en que SpaceX libere alrededor de 150,000 toneladas de alúmina adicionales más allá de las cantidades Gen1 en la atmósfera superior.



demostrado cómo lo haría con un sistema ampliado que incorpora 30.000 satélites operativos adicionales.<sup>54</sup>

Además, un aumento del número de satélites NGEO fallidos, las colisiones catastróficas en las que intervienen NGEO (por cualquier motivo) y los campos de desechos orbitales resultantes harían que el entorno orbital fuera más abarrotado y peligroso, y se correría el riesgo de que se produjera un desastre ambiental irreversible en el espacio sobre el que advierte la OCDE (véase la sección IV supra).

## **VI. Implicaciones para la seguridad nacional**

El espacio es un componente vital de cualquier impulso hacia la autonomía estratégica de cualquier nación, ya que ayuda con el conocimiento de la situación, la toma de decisiones y la conectividad de tecnologías y sistemas, incluidas las aplicaciones de seguridad y defensa nacionales.

La reciente prueba ASAT muestra que las actividades hostiles de los actores soberanos en el espacio representan una amenaza muy importante para el espacio abierto y seguro. Lo mismo puede decirse del riesgo que representan para todos los agentes espaciales las actividades espaciales llevadas a cabo por agentes privados, incluida la generación de un gran número de objetos espaciales adicionales y el riesgo correspondiente de colisiones que den lugar a la creación de desechos y posiblemente a un síndrome de Kessler (véase la sección IV supra). Como ya se ha señalado, según una evaluación de los desechos generados por esa prueba ASAT, una colisión entre dos satélites NGEO generaría una dispersión similar de desechos letales rastreables y no rastreables en el espacio.<sup>55</sup> Las órbitas inutilizables por los desechos espaciales afectarían negativamente a las aplicaciones de defensa y seguridad de la misma manera que afectarían a los casos de uso civil y comercial.

Además, el riesgo de fracaso empresarial en este nuevo entorno es alto, y los fracasos empresariales pueden dejar a un operador sin la capacidad ni el incentivo para desorbitar rápidamente los satélites fallidos, lo que aumenta el riesgo para todos los demás.

*Los países, a través de sus reguladores nacionales, deben ser especialmente conscientes del riesgo que los proyectos "fuera de escala" en órbita terrestre baja, como ciertas grandes constelaciones NGEO de orden, podrían suponer para sus actividades soberanas en el espacio y desde él.*

---

<sup>54</sup> Ver Scientific Reports, "Las megaconstelaciones de satélites crean riesgos en la órbita terrestre baja, la atmósfera y en la Tierra", Artículo número 10642 (20 de mayo de 2021), <https://www.nature.com/articles/s41598-021-89909-7>.

<sup>55</sup> "Las colisiones de satélites tienen las mismas consecuencias que las pruebas ASAT" (noviembre de 2021), <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

## VII. Recomendaciones

A medida que se acelera el ritmo de las actividades espaciales y las sociedades dependen cada vez más de los sistemas basados en el espacio, los riesgos conexos para el interés público y las industrias espaciales nacionales y regionales merecen atención inmediata, incluso en las decisiones sobre concesión de licencias y acceso a los mercados.

Para mitigar los riesgos y costos mencionados anteriormente, los reguladores nacionales deberían llevar a cabo una evaluación independiente de estas cuestiones e imponer condiciones adecuadas tanto a **las autorizaciones de espectro de sistemas N GEO como a las concesiones de acceso a los mercados**, incluidas las siguientes:

### A. *Proteger las redes GEO de las interferencias perjudiciales inaceptables generadas por los sistemas N GEO, en particular requiriendo:*

- Que un sistema N GEO cumpla con los límites de la dfpe de una sola fuente en todo el sistema, y que el regulador nacional examine todos los expedientes del sistema N GEO en virtud de los cuales un sistema N GEO funciona de manera colectiva, y enfocarse en particular en:
  - Si la parte implementada del sistema que se utilizará para servir en los territorios de una nación es capaz de cumplir con los límites de la dfpe; y
  - La integridad de los expedientes del sistema N GEO, por ejemplo, si los ángulos de evasión son consistentes con las máscaras y si las máscaras para diferentes capas orbitales (es decir, la combinación particular de altitudes e inclinaciones de la órbita) son consistentes;

Las inconsistencias en cualquiera de estos puntos pueden usarse para manipular el software actual de la dfpe de la UIT y producir falsos resultados favorables.

- En otras palabras, requerir que un sistema N GEO funcione de manera que no exceda ninguno de los límites de dfpe establecidos para un sistema N GEO individual, como si dependiera de una única notificación de la UIT para todas las operaciones en co-frecuencias, y asegurar que los parámetros establecidos en los expedientes son consistentes con los propios expedientes y con los satélites que se utilizarán para proveer servicios en los territorios de la nación;
- Un operador de un sistema N GEO debe proporcionar, como parte del proceso de solicitud:
  - El número de haces de satélite utilizados para transmisiones en la misma frecuencia en la misma zona o en zonas superpuestas en un momento dado;
  - Una demostración de cómo el sistema N GEO evita la interferencia perjudicial a las redes GEO creada por los lóbulos laterales de las antenas terrenas y de satélite, y los lóbulos posteriores de las antenas de las estaciones terrenas, en particular cuando se emplean antenas de antenas en fase; y
  - Un examen de los casos de interferencia perjudicial dentro de los territorios nacionales del regulador que no hayan sido probados por el examen limitado realizado por la UIT (y el regulador lo verificará con su propio análisis);

- Que un sistema N GEO mantenga un ángulo adecuado de evasión del arco GEO cuando preste servicio a su territorio, teniendo en cuenta las características reales de las redes GEO afectadas (tales como la temperatura de ruido del receptor de satélite y la ganancia de la antena, y los tamaños y características de los terminales de usuario);
- Que los sistemas N GEO no causen interferencia perjudicial inaceptable en las redes GEO y que no reclamen la protección contra la interferencia perjudicial de las redes GEO;
- Que los sistemas N GEO tengan una característica operativa que les permita interrumpir inmediatamente las emisiones de radiofrecuencia para garantizar el cumplimiento de este requisito de no interferencia perjudicial, y cesar las emisiones cuando se notifique una interferencia perjudicial inaceptable;
- Si se produce interferencia perjudicial en una red GEO, los sistemas N GEO deben cesar sus operaciones y no reanudarlas hasta que aborden la causa de dicha interferencia perjudicial, entre otras cosas, aumentando la separación angular, reduciendo la potencia y dando forma diferente a los haces de antena;
- Todos los sistemas N GEO que prestan servicios a un país determinado, como colectivo, no deben exceder los límites agregados de la dfpe; y
- Si se detecta interferencia perjudicial combinada causada a una red GEO por señales transmitidas por múltiples sistemas N GEO, y no es posible identificar el sistema N GEO que genera la interferencia perjudicial, los operadores de sistemas N GEO cooperarán entre sí y adoptarán las medidas técnicas necesarias para eliminar la interferencia perjudicial.

**B. *Garantizar que los sistemas N GEO compartan frecuencias y órbitas con otros N GEO, en particular requiriendo:***

- Que los sistemas N GEO limiten la capacidad de obstaculizar el uso de recursos orbitales limitados y compartidos de N GEO por parte de terceros mediante:
  - Operar con sólo  $1/n$  de los ángulos de visión en un país determinado, donde  $n$  es el número de sistemas N GEO autorizados a prestar servicio a ese país en la misma banda de frecuencias;
  - Coordinarse de buena fe y por adelantado con otros sistemas N GEO para que todos los *ángulos* de mirada puedan ser utilizados para servir a ese país por diferentes sistemas N GEO; y
  - Mantener una tolerancia orbital de  $\pm 2,5$  km para el apogeo y el perigeo de cada satélite N GEO, y una tolerancia de  $0,5^\circ$  para cada inclinación orbital que emplee el sistema N GEO, a fin de garantizar que otros sistemas N GEO puedan acceder al espacio LEO compartido (o cumplir con los demás requisitos de tolerancia orbital que el regulador nacional considere apropiados para asegurar la capacidad de otros satélites y sistemas que sirvan a su territorio para operar en las mismas, o superpuestas, órbitas ocupadas por el sistema N GEO).

**C. *Garantizar la seguridad y la sostenibilidad del espacio gestionando el riesgo de colisión global de la totalidad de un sistema N GEO durante toda la vida orbital de cada satélite, y a medida que las características del sistema y el entorno orbital puedan cambiar, en particular:***

- Evaluando la **totalidad del riesgo de colisión** creado por todos los satélites de un gran sistema N GEO en su conjunto, teniendo en cuenta:
  - Riesgos durante todo el período en que cada satélite de la constelación permanezca en órbita y en todas las órbitas que pueda ocupar (inyección, operación y eliminación posterior a la misión);
  - Aumento del riesgo de colisiones debido a cambios en el entorno orbital (como la ruptura o explosión de satélites, la colisión de desechos con otros desechos y la ruptura de más, y el despliegue de sistemas N GEO adicionales, no sólo el entorno tal como existía en el pasado);
  - Características del sistema N GEO (número de satélites, órbitas utilizadas, área total de la sección transversal y masa de todos los satélites, confiabilidad del subsistema, redundancia, blindaje y técnicas operativas para reducir el riesgo de fallas del sistema) y cualquier cambio propuesto posteriormente a esos parámetros.
  
- Teniendo en cuenta en el análisis agregado del riesgo de colisión de un sistema N GEO:
  - Tolerancias orbitales empleadas, tanto de altitud como de inclinación;
  - Riesgo de colisión con objetos espaciales de todos los tamaños, rastreables o no, incluidos los objetos letales no rastreables;
  - Fiabilidad continua de las capacidades críticas de mando y propulsión necesarias para tratar de maniobrar para evitar colisiones, y probabilidad de que esos sistemas críticos puedan resultar dañados por desechos imposibles de rastrear, demasiado pequeños para fragmentar el satélite (teniendo en cuenta las tasas de fallos de vida temprana cuando estén disponibles);
  - Número de satélites que han fallado o han perdido maniobrabilidad;
  - Medios para coordinar la prevención de colisiones con otros sistemas de satélites;
  - Riesgo de colisiones dentro de la constelación N GEO (debido a todas las causas, incluidos los satélites fallidos, dentro de ese sistema);
  - Riesgos conocidos con un gran número (potencialmente millones por año) de conjunciones previstas entre un gran sistema N GEO y otros objetos espaciales (*por ejemplo*, un gran número de maniobras para evitar algunas colisiones crea otros riesgos de colisión);
  - Interacciones de todos los satélites de un gran sistema N GEO con todos los demás objetos de su entorno (incluidas las órbitas superpuestas y que se intersectan) durante las maniobras de elevación de la órbita de los satélites ascendentes, teniendo en cuenta las trayectorias de desintegración activa y pasiva de los satélites en fase de eliminación orbital, así como de los satélites activos en servicio.
  
- Evitar la aplicación de supuestos simplificadores, tales como:
  - Existencia de supuestas "órbitas autolimpiantes";
  - Eficacia de los controles "autónomos" para evitar colisiones; y
  - Falacia de que los satélites maniobrables tienen "riesgo cero" de colisión.

- D. Adoptar condiciones adecuadas para abordar los tipos de daños ambientales discutidos anteriormente en relación con la atmósfera de la Tierra, el cielo oscuro y la radioastronomía y la astronomía óptica.***
- E. Requerir que un operador N GEO no modifique las características de su sistema LEO (radiofrecuencia, ángulo de evasión, características orbitales, número de satélites o área o masa de la sección transversal del satélite) sin el consentimiento previo de un regulador nacional (con el fin de mantener sus autorizaciones en el país).***
- F. Requerir a cada sistema N GEO que presente, semestralmente, un informe que demuestre el cumplimiento de las obligaciones vinculadas a las autorizaciones otorgadas.***

## **ANEXO A:**

**Ejemplos de infracciones de los límites de la DFPE↓  
(Fuchsstadt, Alemania)**

## Anexo A: Ejemplos de incumplimientos de los límites de la $dfpe\downarrow$ (Fuchsstadt, Alemania)

En este análisis se calculan las superaciones de los límites de interferencia perjudicial de la UIT para las configuraciones Starlink de primera y segunda generación, sobre la base de las orientaciones proporcionadas en la Recomendación UIT-R S.1503-3. Evalúa los niveles previstos de interferencia perjudicial generados por el sistema Starlink con respecto a una estación terrena situada en Fuchsstadt (Alemania) (50,118°N. 9,924°E) que se comunica con satélites de órbita geoestacionaria (GEO) que prestan servicio a Alemania, situados a 17,6° de longitud E (H2M-17,6E) que funcionan en las bandas Ku y Ka.

### A-I. Antecedentes

La UIT ha establecido niveles admisibles de interferencia perjudicial en las redes GEO procedentes de sistemas no GEO, como Starlink, en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. La superación de estos niveles infringiría el requisito de la Regla 22.2 de Radiocomunicaciones de que:

*"Los sistemas de satélites no geoestacionarios no causarán interferencia perjudicial inaceptable a las redes de [] satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite y del servicio de radiodifusión por satélite que funcionen de conformidad con el presente Reglamento."*

Estos límites de interferencia perjudicial se especifican como límites de densidad de flujo de potencia equivalente ( $DPPE\downarrow$ ) de una sola fuente para sistemas individuales no GEO (en los Cuadros 22-1A y 22-1B para el SFS y en el Cuadro 22-1D para el SRS), y límites de  $dfpe\downarrow$  para todos los sistemas N GEO de todos los operadores considerados conjuntamente (en la Resolución 76 de la UIT).

Los límites se especifican como curvas de función de distribución acumulativa (cdf). Cada curva límite se define, para una anchura de banda de referencia y un diámetro de antena de referencia, mediante una serie de puntos, valores de  $dfpe\downarrow$  (dBW/m<sup>2</sup>) y valores asociados para porcentajes de tiempo durante los cuales  $dfpe\downarrow$  no puede rebasarse la  $dfpe$ . Las curvas límite completas se obtienen interpolando entre esos puntos.<sup>56</sup> Por lo tanto, para cualquier valor de la  $DFPE\downarrow$ , hay un porcentaje de tiempo en el que no se puede exceder ese valor. Del mismo modo, para cada porcentaje de tiempo entre el 0% y el 100%, hay un valor de  $EPFD\downarrow$  que no se puede superar.

Cualquier rebasamiento de esos niveles de  $dfpe\downarrow$ , ya sea para el valor del 100% del tiempo, el valor del 10%, el valor del 1% o para cualquier otro porcentaje del valor del tiempo, constituye una infracción del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y puede dar lugar a interferencia perjudicial en las redes GEO que degrade el servicio y cause pérdidas de

<sup>56</sup> RR 22.5C.5 Para cada diámetro de antena de referencia, el límite consiste en la curva completa en un gráfico lineal (dB) para la  $dfpe\downarrow$  niveles y logarítmicos para los porcentajes de tiempo, con líneas rectas que unen los puntos de datos.

capacidad. Esto incluye la televisión GEO directa al hogar y las redes del SRS, así como las redes del SFS GEO de banda ancha.

Sobre la base de los datos proporcionados en una determinada notificación de datos de entrada de la DFPE de la UIT (que consiste en bases de datos del SIE y de máscara), la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) de la UIT realiza una evaluación limitada de los niveles de dfpe que puede generar un sistema no GEO *con respecto a una combinación particular de emplazamiento de estación terrena y emplazamiento de satélite GEO*. Este "examen" utiliza un paquete informático desarrollado en colaboración con Transfinite para calcular los niveles previstos de dfpe que se producirían con respecto a esa notificación concreta de satélites no GEO en esas circunstancias limitadas. Como se explica más adelante, ***estas circunstancias limitadas tienen poca relación con la interferencia perjudicial que cabe esperar que Starlink produzca en Alemania***.

El examen de la BR es en realidad una comprobación puntual limitada, basada en la «geometría del caso más desfavorable» (WCG), en un emplazamiento particular de la estación terrena GEO (ES) y en un emplazamiento particular del satélite GEO, que se identifica como la geometría que maximiza el nivel instantáneo de dfpe no GEO↓ para un caso específico de los límites del Cuadro 22 (servicio, frecuencia, diámetro de antena y diagrama de radiación).<sup>57</sup> Ese valor máximo de la DFPE↓ se produce normalmente durante un período de tiempo muy corto y, por lo tanto, se encuentra en la esquina inferior derecha de la curva de la DFPE↓ dcf pertinente (*es decir*, la alineación del sistema no GEO con la ubicación orbital GEO que produce el nivel de interferencia perjudicial instantánea más alto, durante un porcentaje muy pequeño del tiempo, normalmente del orden del 0,001%, o menos). En este examen no se tiene en cuenta la capacidad de un sistema no GEO para satisfacer los límites de la dfE↓ en cualquier otro emplazamiento de la estación terrena GEO ni con respecto a ningún otro emplazamiento orbital GEO.

Además, la UIT no evalúa la capacidad de un operador no GEO para funcionar realmente de manera coherente con los datos de entrada de la DFPE suministrados por el operador, y se ha planteado la preocupación de que algunas entradas de los archivos de datos facilitados a la UIT sean incompatibles con las leyes de la física. Lo más importante es que, en última instancia, corresponde al operador del sistema no GEO llevar a cabo sus operaciones en plena conformidad con todos los límites de la dfpe↓, independientemente de cualquier evaluación limitada realizada inicialmente por la UIT. Además, es difícil atribuir interferencia perjudicial a un determinado sistema no GEO una vez que está en funcionamiento, especialmente cuando más de un sistema no GEO funciona en las mismas frecuencias o en frecuencias superpuestas. Algunos de estos factores son la razón por la que la agencia espacial francesa, CNES, ha recomendado que los reguladores de frecuencia exijan a los solicitantes que proporcionen información más detallada que permita un análisis de la interferencia perjudicial previsible con otros sistemas, existentes o futuros.<sup>58</sup>

---

<sup>57</sup> Véase en general Recomendación UIT-R S.1503.

<sup>58</sup> Carta del CNES a la ARCEP sobre la solicitud de autorización de uso de radiofrecuencia por parte de Starlink, Ref. DS/DAI/D-2022-0006202 (9 de mayo de 2022).



De manera crítica, los niveles de  $dfpe\downarrow$  calculados para geometrías distintas de las identificadas por el algoritmo WGC en la Recomendación UIT-R S.1503 que se aplica en el programa informático Transfinite pueden superar la curva cdf límite de  $dfpe\downarrow$  en cualquier momento. Concretamente, esto puede ocurrir en diferentes emplazamientos de las estaciones terrenas GEO en la Tierra, y con emplazamientos de satélites GEO diferentes de los identificados por el algoritmo S.1503 WCG. Un análisis de esas otras geometrías puede llevarse a cabo con el software de DFPE Visualyse de Transfinite, disponible en el mercado, que utiliza el mismo algoritmo y el mismo motor de cálculo de  $dfpe$  que en el programa informático que desarrolló para la UIT, con una característica añadida que permite ajustar manualmente la geometría (ubicación de la estación terrena GEO y ubicación del satélite GEO), de modo que el cumplimiento de *todos los límites de la  $dfpe$ , en todas las emplazamientos de la estación terrena GEO y para todas las emplazamientos de satélites GEO*. Esto es particularmente valioso cuando se desea un examen de la interferencia perjudicial prevista en los servicios GEO en un país determinado, o en una de sus redes de satélites GEO.

Recomendación UIT-R. S.1503-3 explica la necesidad de cumplir con todos los límites de la DFPE en todas las ubicaciones y para todas las geometrías. Específicamente:

*Los límites de  $dfpe$  establecidos en el Artículo 22 son aplicables a todas las estaciones terrenas GEO y a todos los ángulos de puntería hacia la parte del arco GEO visible desde esa estación terrena. [] Sigue siendo necesario que el operador no GEO cumpla los límites de  $dfpe$  establecidos en el Artículo 22 para todas las geometrías [], incluidas las pruebas de redes GEO específicas, como se indica en el § A1.3.<sup>59</sup>*

El software Transfinite Visualyse EPFD utilizado en este análisis permite precisamente ese tipo de evaluación requerida por S.1503-3. Evalúa el impacto esperado del sistema Starlink para una estación terrena GEO situada en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO situado a 17,6° E de longitud que sirve a Alemania.

Este análisis utiliza i) las constelaciones definidas por los archivos de entrada de la DFPE de SpaceX para las notificaciones concretas de la UIT que ha especificado como pertinentes (datos que varían en algunos aspectos de los datos facilitados inicialmente en las notificaciones de la UIT), y ii) la configuración concreta del despliegue orbital que especificó SpaceX, todo ello durante el proceso de concesión de licencias en la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos.

En particular, este análisis no sugiere que Starlink *no pueda* funcionar de manera conforme con el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Este análisis muestra que SpaceX *no planea* operar de una manera que cumpla con los límites de EPFD $\downarrow$  en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Para cumplir con esos límites de  $dfpe\downarrow$ , Starlink podría emplear varias combinaciones de su propia elección de i) número de satélites, ii) parámetros orbitales específicos, iii) máscaras de emisiones de densidad de flujo de potencia (PFD), iv) máscaras de emisiones de potencia

---

<sup>59</sup> Recomendación UIT-R S.1503-3, § D3.

isótropa radiada (EIRP) efectivas, v) ángulos de evasión de la red GEO y vi) parámetros de reutilización de frecuencias.

## **A-II. Análisis de las violaciones de la EPFD↓ por parte de 4.408 satélites en la configuración de primera generación de Starlink**

A continuación, se presentan ejemplos de superaciones de la dfpe↓ para la configuración Starlink de primera generación de 4.408 satélites, que, cuando se ha probado únicamente con la combinación WCG de emplazamiento de estaciones terrenas GEO y longitud de satélite GEO, ha recibido un resultado favorable en el marco del proceso de «comprobación aleatoria» de la UIT<sup>60</sup> descrito anteriormente. A modo de ejemplo, la WCG para el límite del SFS a 10,7 GHz y 1,2 m es una estación terrena GEO en el océano a unos 200 km de la costa de África Occidental con un satélite GEO a unos 1,5° de longitud E.

Este análisis corresponde a una estación terrena GEO situada en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en banda Ku situado a 17,6° de longitud E. Los casos que se describen a continuación en los que↓ se infringen los límites de la DFPE en un 1%, 10% e incluso 100% de las veces son los más preocupantes e infringen el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. La interferencia perjudicial generada a esos niveles podría degradar los niveles de servicio y causar pérdidas de capacidad a las redes GEO.

Las siguientes cifras muestran que las solicitudes Starlink STEAM-1 y STEAM-2 superan la Directiva sobre la dfpe presentada en virtud del artículo 22↓ los límites de los Cuadros 22-1A, 22-1B y 22-1D en las bandas Ku y Ka para una estación terrena GEO situada en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO situado a 17,6° de longitud E, aunque no supere los límites de la denominada WCG<sup>61</sup>. Las superaciones máximas se muestran en Cuadro A-1: Ejemplo de exceso de crestas STEAM-1 y STEAM-2 en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E. Las combinaciones de otras estaciones terrenas y emplazamientos de satélite que prestan servicio a Alemania podrían dar lugar a violaciones de los límites de la UIT de mayor envergadura que estos ejemplos.

---

<sup>60</sup> [319520108 STEAM-1 ResultsSummary.pdf \(itu.int\)](#) y [319520109 STEAM-2B ResultsSummary.pdf \(itu.int\)](#).

<sup>61</sup> Los datos de la dfpe subyacentes a los diagramas WCG se generaron con el programa informático de la UIT sobre la dfpe utilizando las bases de datos de entrada de la dfpe STEAM disponibles en la UIT en [Datos de la DFPE y resultados del examen de la DFPE \(itu.int\)](#).

Cuadro A-1: Ejemplo de exceso de crestas STEAM-1 y STEAM-2 en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

Sistema	Servicio	Freq	Diámetro de Antena	Patrón de Radiación	Superación Pico	Porcentaje del Tiempo	Figura
VAPOR-1	FSS	10,7 GHz	1.2	S.1428	6,3 dB	0.50%	A-1
VAPOR-1	FSS	11,7 GHz	1.2	S.1428	5,5 dB	0.50%	A-2
VAPOR-1	BSS	11,7 GHz	0.45	BO.1443	5,3 dB	93.58%	A-3
VAPOR-1	BSS	11,7 GHz	0.6	BO.1443	4,1 dB	59.58%	A-4
VAPOR-1	FSS	12,2 GHz	1.2	S.1428	5,1 dB	0.50%	A-5
VAPOR-1	BSS	12,2 GHz	0.45	BO.1443	4,9 dB	91.48%	A-6
VAPOR-1	BSS	12,2 GHz	0.6	BO.1443	3,7 dB	59.58%	A-7
VAPOR-1	FSS	12,5 GHz	1.2	S.1428	4,8 dB	0.50%	A-8
VAPOR-1	BSS	12,5 GHz	0.45	BO.1443	4,7 dB	90.89%	A-9
VAPOR-1	BSS	12,5 GHz	0.6	BO.1443	3,5 dB	60.10%	A-10
VAPOR-2B	FSS	17,8 GHz	1	S.1428	3,3 dB	10.00%	A-11

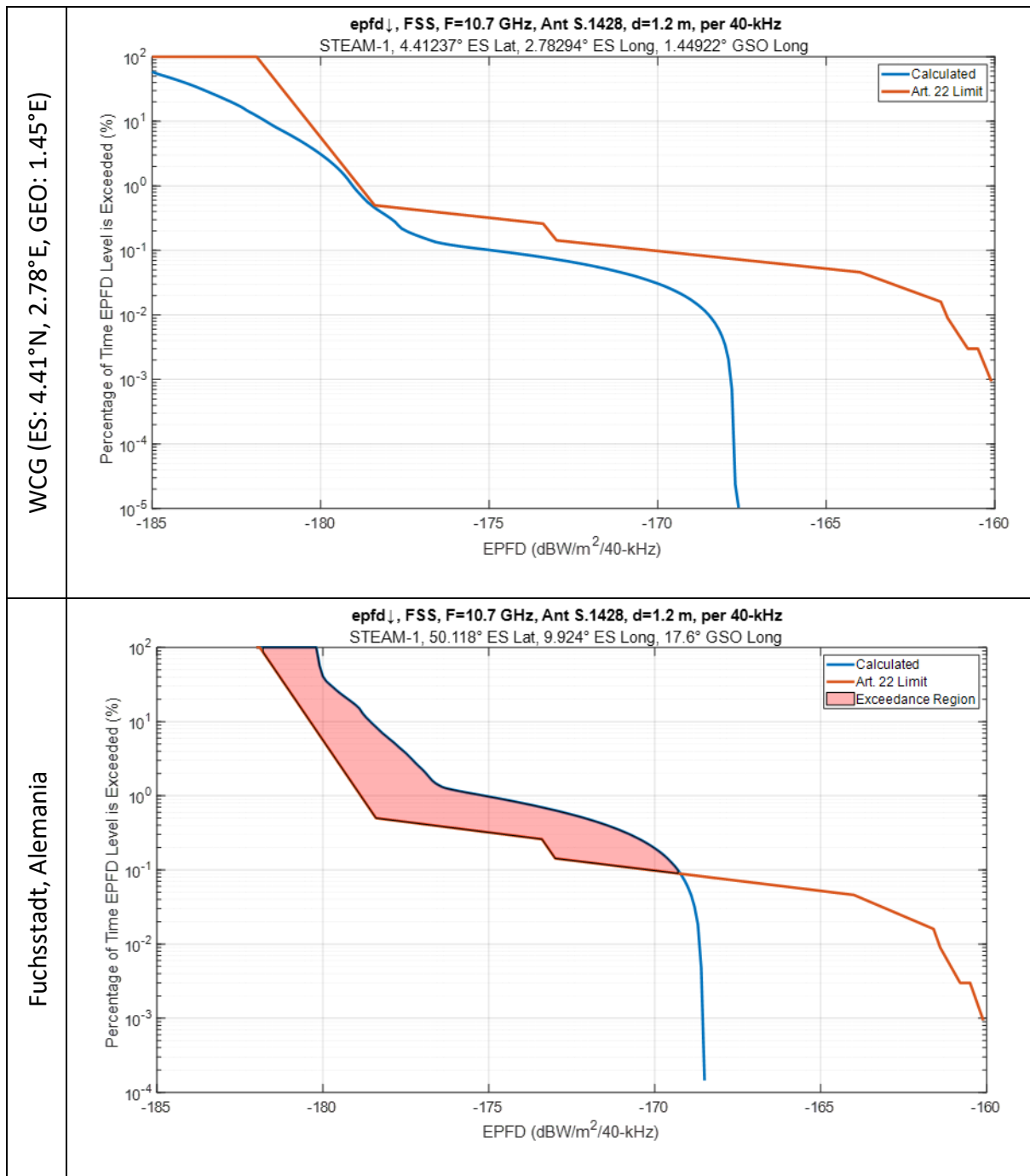


Figura A-1: Comparación de la DFPE STEAM-1↓ a 10,7 GHz con estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

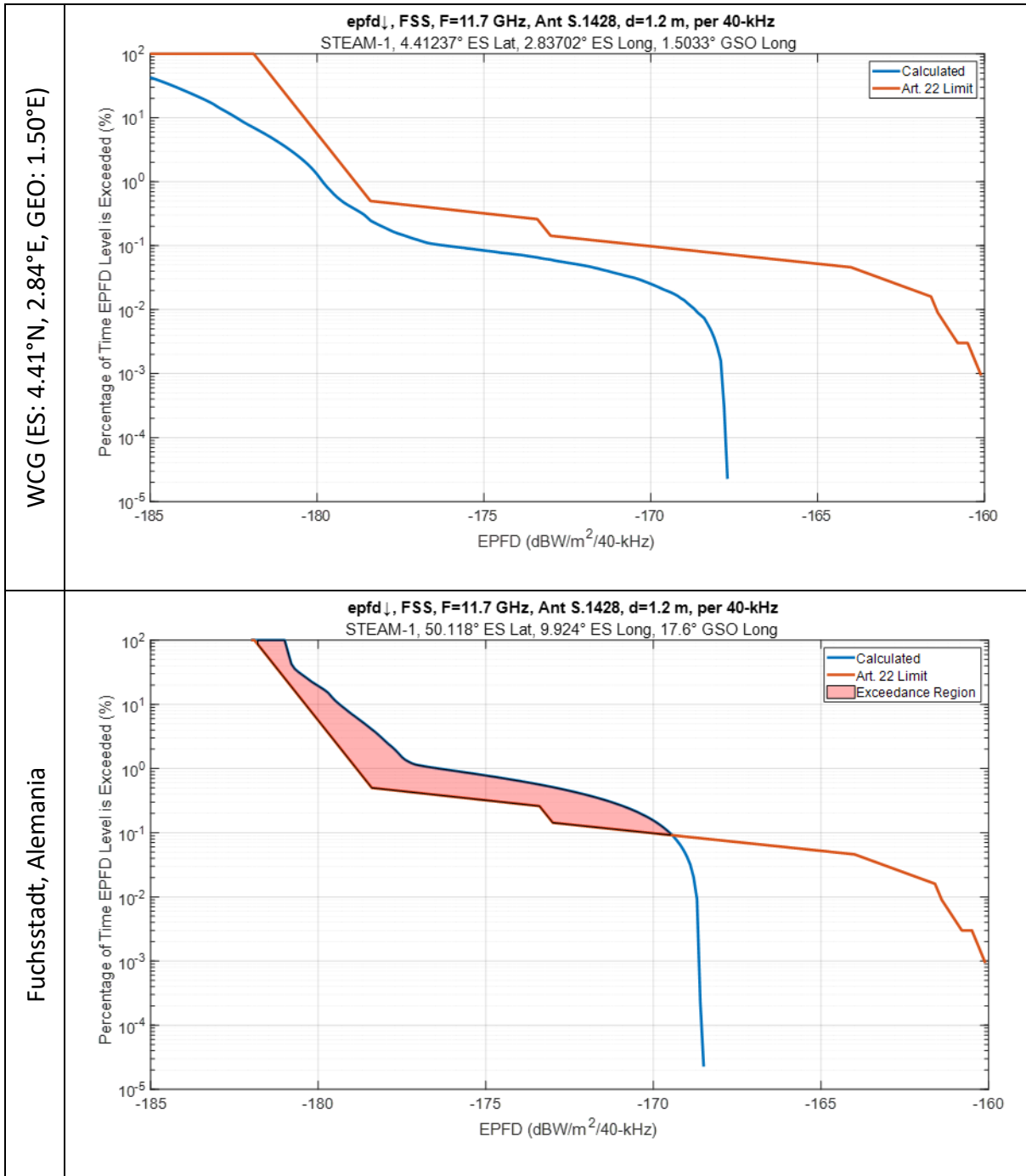


Figura A-2: Comparación de la DFPE STEAM-1↓ a 11,7 GHz con una estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

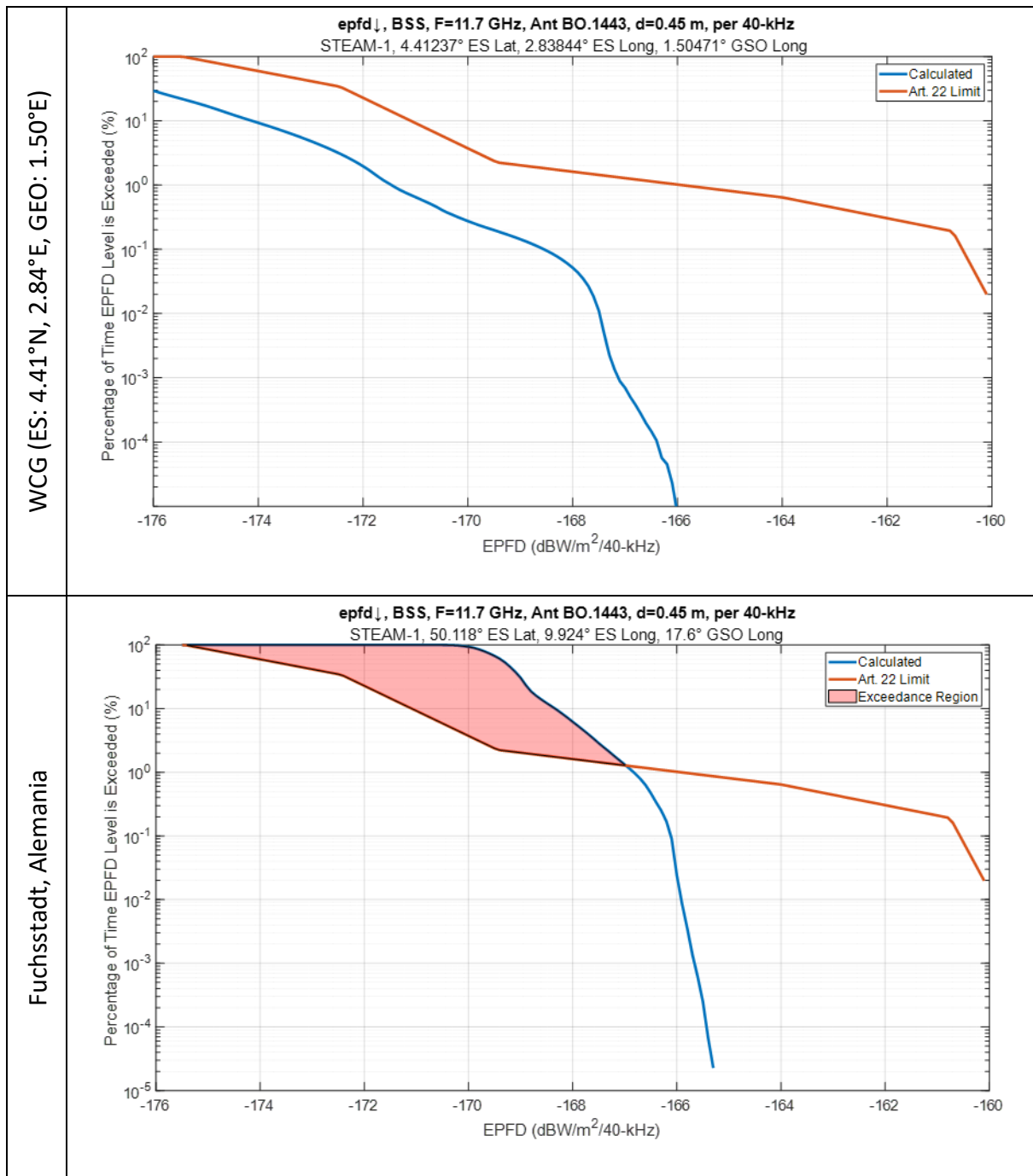


Figura A-3: Comparación de la DFPE STEAM-1↓ a 11,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 cm para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

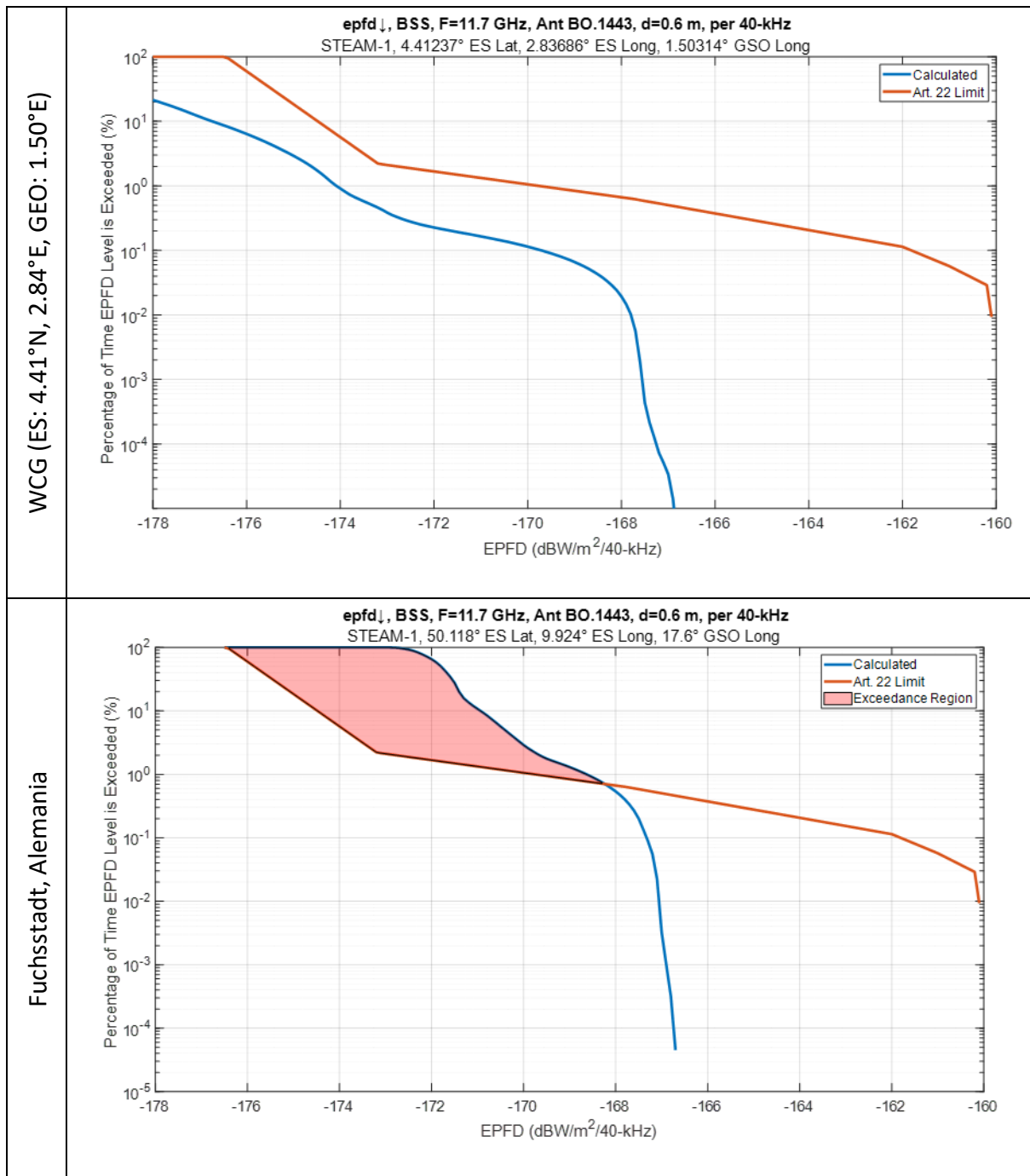


Figura A-4: Comparación de la dfpe STEAM-1 ↓ a 11,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

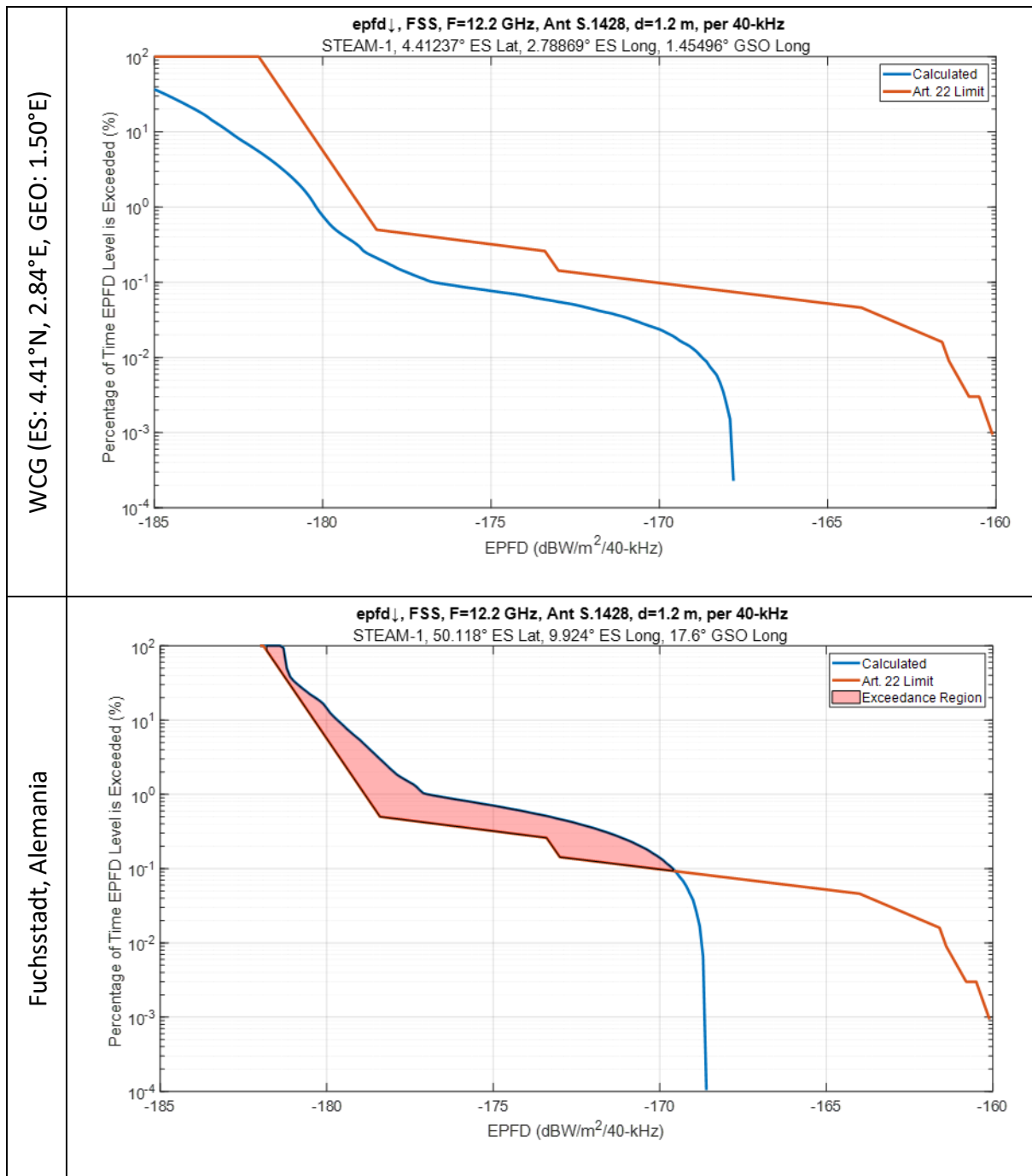


Figura A-5: Comparación de la  $dfpe$  STEAM-1 ↓ a 12,2 GHz con una estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E



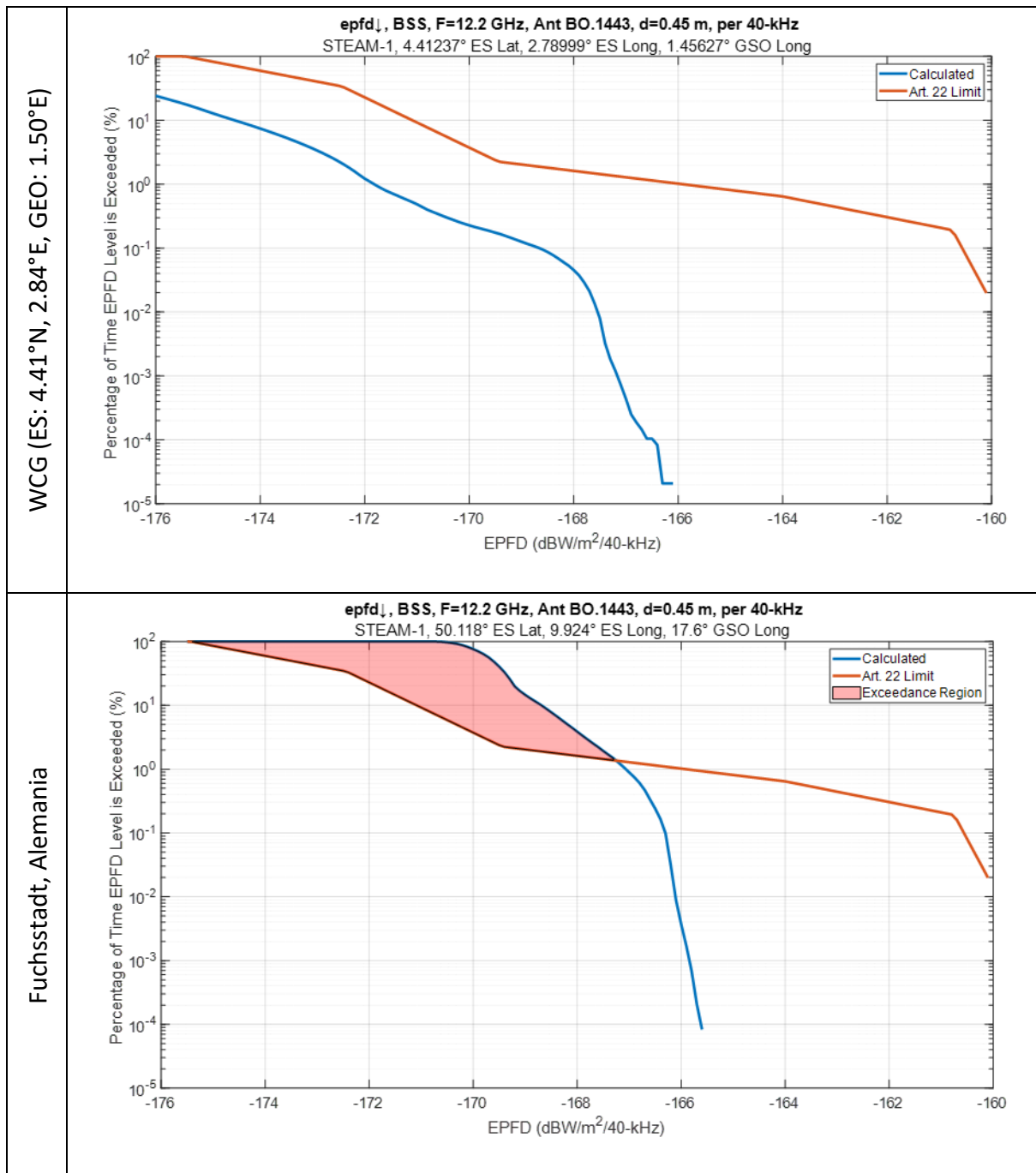


Figura A-6: Comparación de la  $dfpe$  STEAM-1↓ a 12,2 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 cm para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

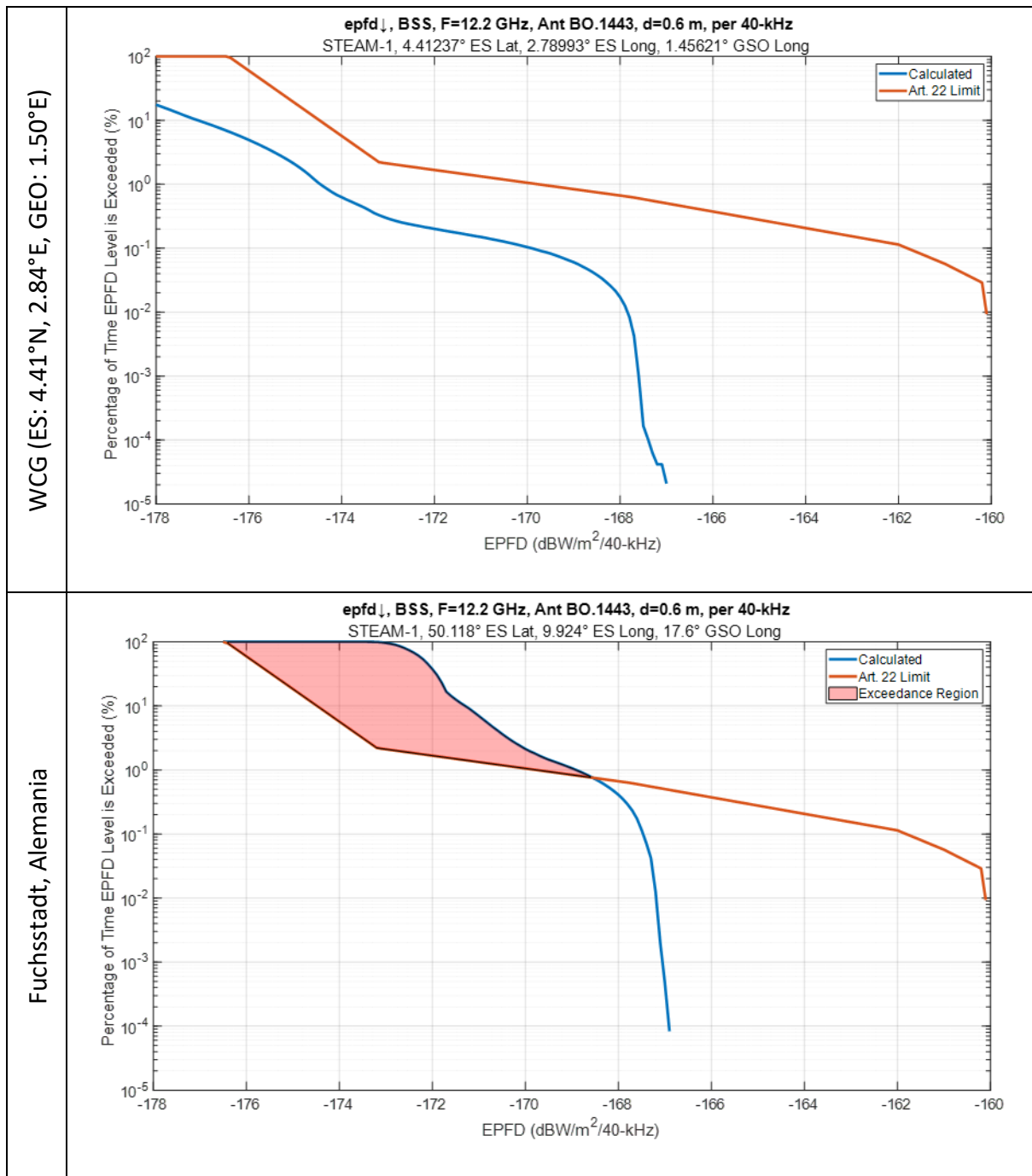


Figura A-7: Comparación de la dfpe STEAM-1↓ a 12,2 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N, 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

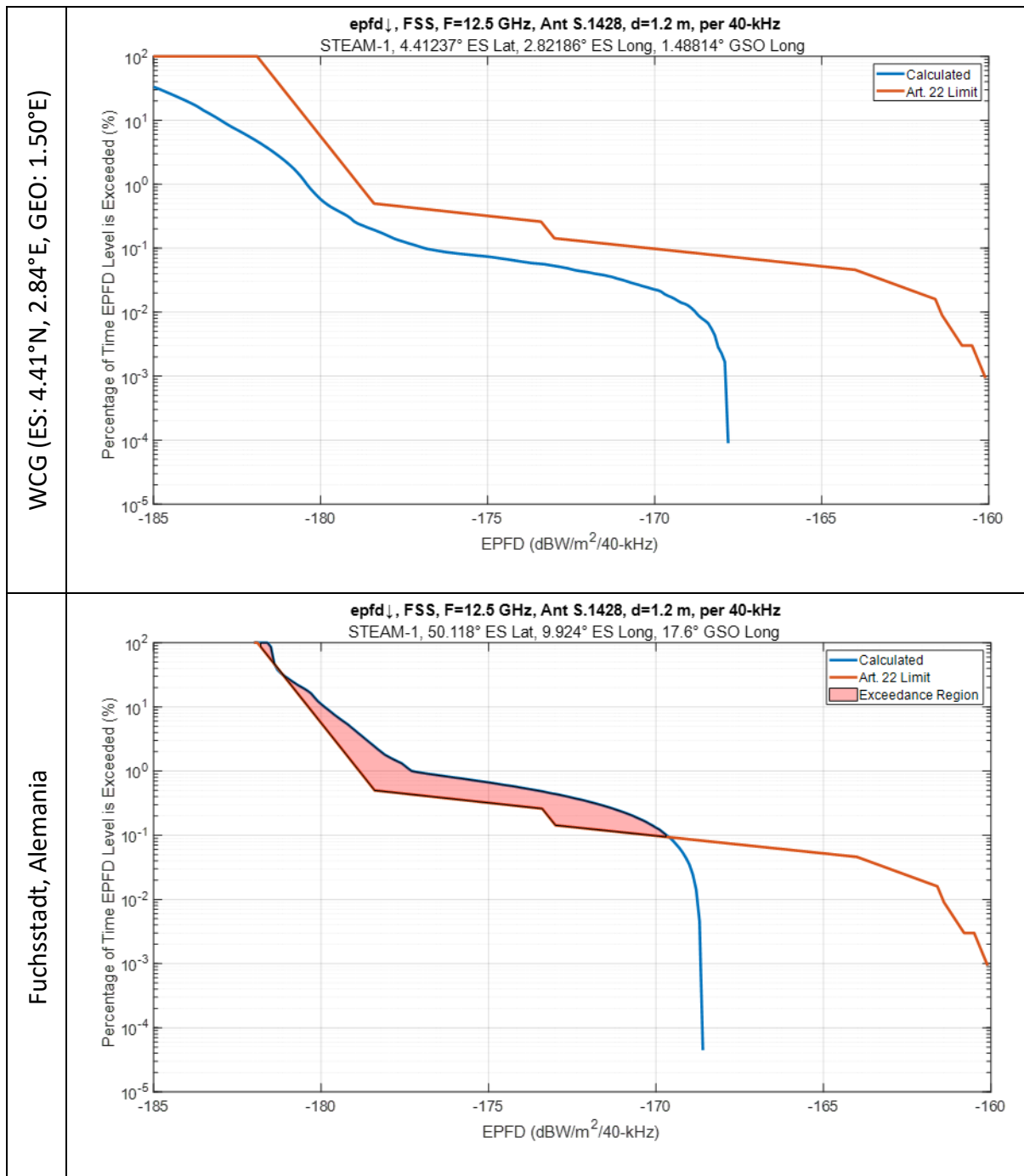


Figura A-4: Comparación de la DFPE STEAM-1↓ a 12,5 GHz con una estación terrena de 1,2 m GEO para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

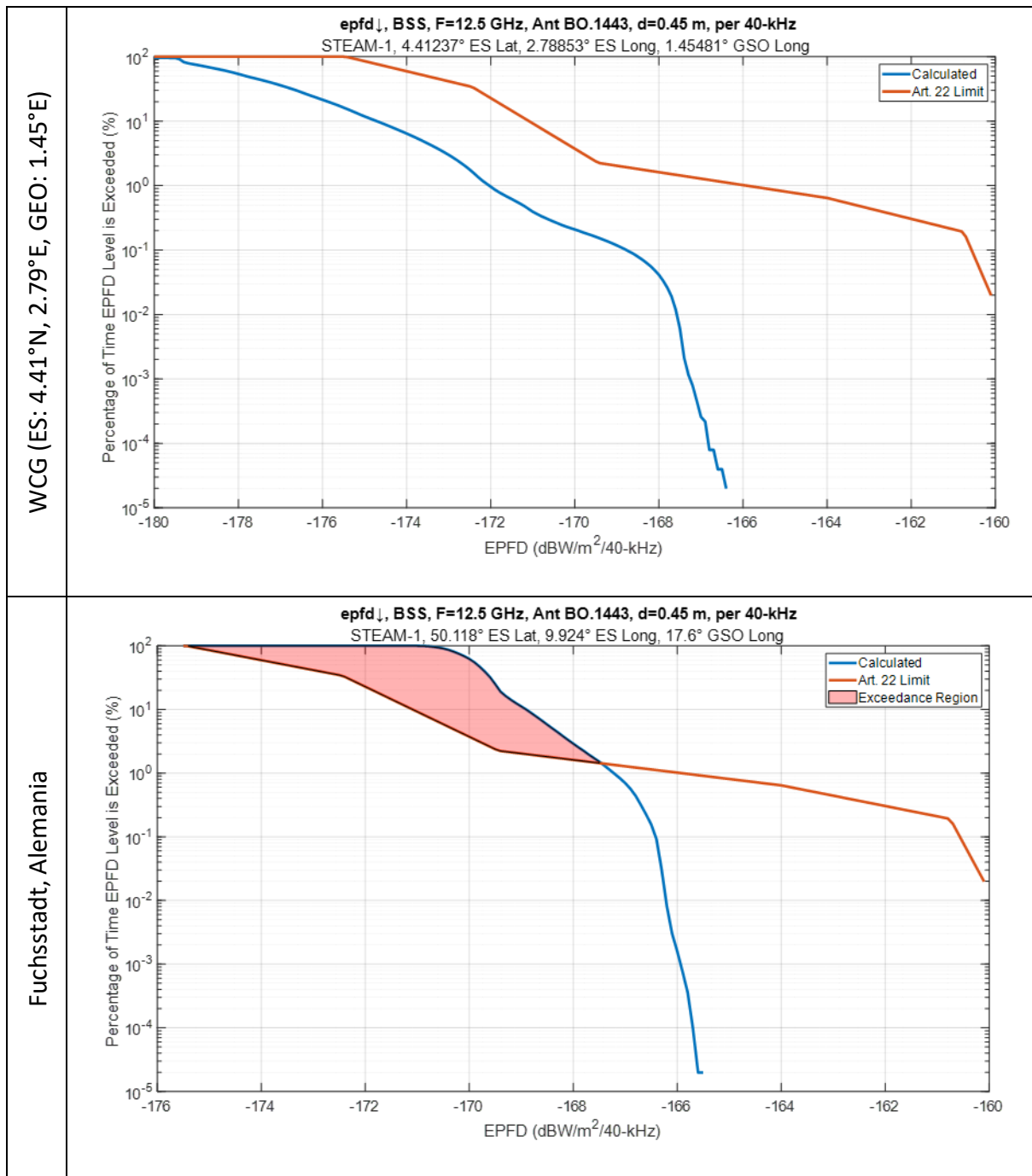


Figura A-9: Comparación de la  $dfpe$  STEAM-1 ↓ a 12,5 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

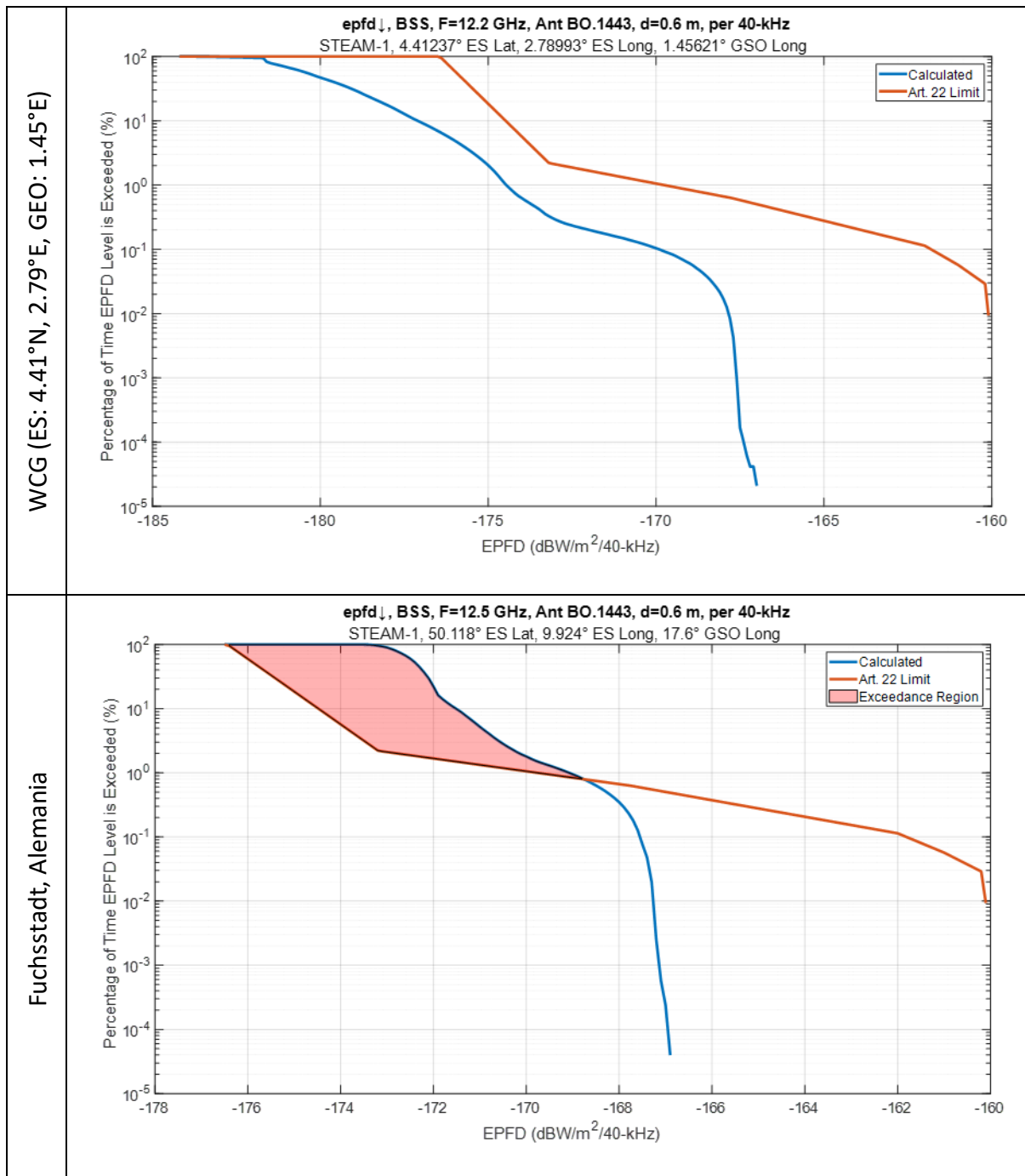


Figura A-10: Comparación de la DFPE STEAM-1 a 12,5 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

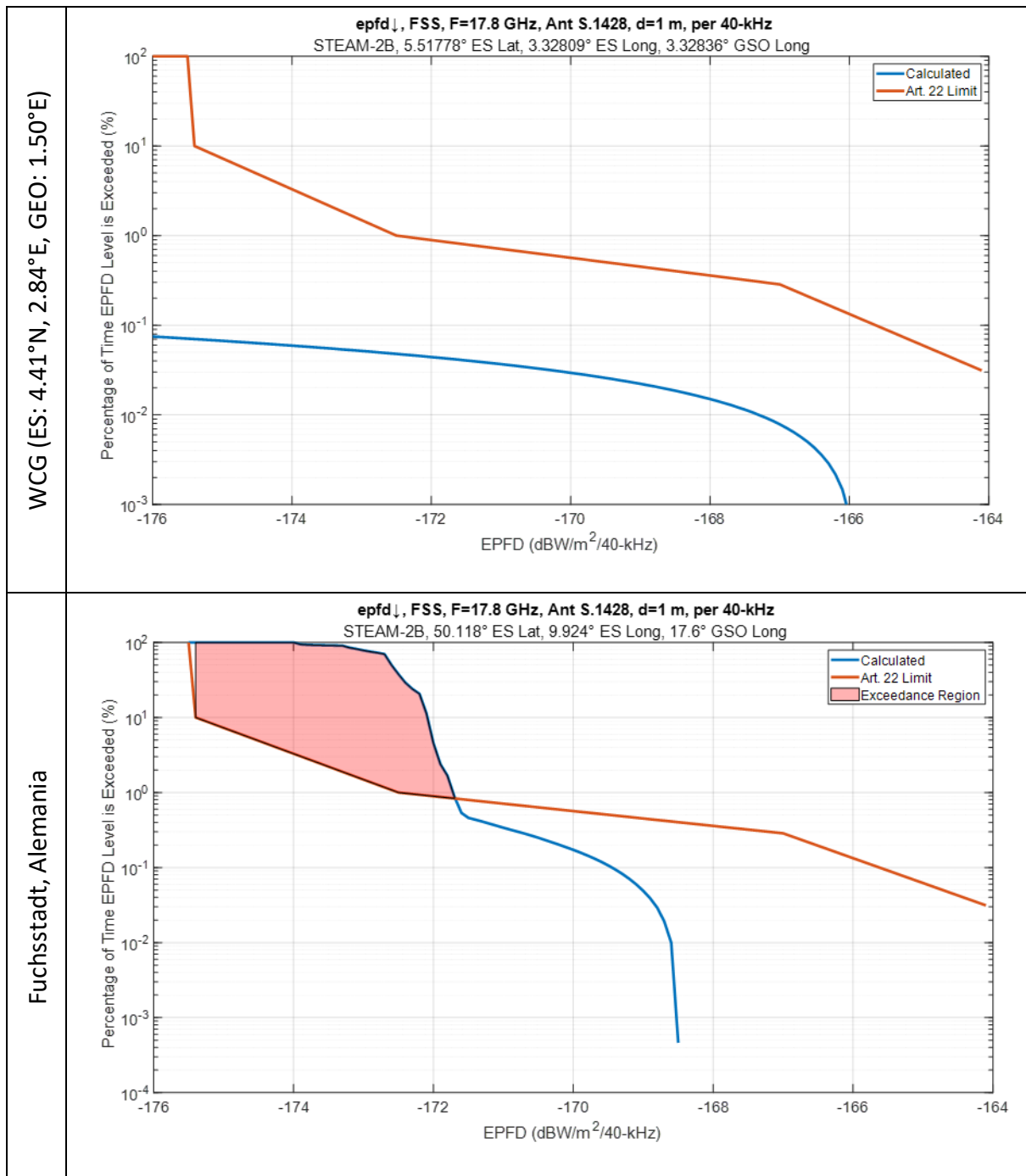


Figura A-11: Comparación de la DFPE STEAM-2↓ a 17,8 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

### **A-III. Análisis de las violaciones de la EPFD↓ por parte de 29.988 satélites adicionales en la configuración de segunda generación de Starlink**

A continuación, se presentan ejemplos de superaciones de la  $dfpe$ ↓ para los 29.988 satélites adicionales de la configuración Starlink de segunda generación, que aún no ha sido evaluada por la UIT. SpaceX propone operar esos satélites adicionales en virtud de 18 expedientes diferentes de la UIT.<sup>62</sup> Como se muestra a continuación, Starlink supera los límites de la DFPE del artículo 22↓ del Cuadro 22-1B para la banda de 17,8 a 18,6 GHz con varias de estas notificaciones, incluso cuando se evalúan individualmente. Además, cuando se consideran conjuntamente las 18 solicitudes presentadas por la UIT, las superaciones de la  $dfpe$ ↓ son sustancialmente mayores.

Este análisis corresponde a una estación terrena GEO situada en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en banda Ka situado en 17,6° de longitud E. Los casos que se describen a continuación en los que se espera que se infrinjan los límites de la DFPE↓ el 1%, el 10% e incluso el 100% de las veces son los más preocupantes e infringen el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. La interferencia perjudicial generada a esos niveles podría degradar los niveles de servicio y causar pérdidas de capacidad a las redes GEO.

Cabe destacar que este análisis no tiene en cuenta el efecto agregado de los satélites Starlink explotados en virtud de notificaciones de la UIT distintos de los enumerados en la nota de pie de página que figura a continuación, como los 4.408 satélites de primera generación examinados anteriormente.

#### **A. Excesos de la DFPE↓ de segunda generación de Starlink en virtud de solicitudes individuales presentadas en la UIT**

El Cuadro A-2: Ejemplo de excesos máximos de SpaceX Gen2 en Fuchsstadt (Alemania) (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO a 17,6°E para la banda 17,8-18,6 GHz con un diámetro de antena de la estación terrena GEO de 1 m-2 muestra ejemplos de DFPE↓ superadas que existen para la configuración Starlink de segunda generación cuando se examinan aisladamente las diversas 18 notificaciones subyacentes de la UIT. Las combinaciones de otras estaciones terrenas y emplazamientos de satélite que prestan servicio a Alemania podrían dar lugar a violaciones de los límites de la UIT de mayor envergadura que estos ejemplos.

---

<sup>62</sup> Las notificaciones pertinentes del sistema de la UIT son: USASAT-NGSO-3N, USASATNGSO-3O, USASAT-NGSO-3P, USASAT-NGSO-3Q, USASAT-NGSO-3R1, USASATNGSO-3R2, USASAT-NGSO-3S1, USASAT-NGSO-3S2, USASAT-NGSO-3S3, USASAT-NGSO-3T1, USASAT-NGSO-3T2, USASAT-NGSO-3T3, USASAT-NGSO-3U1, USASAT-NGSO-U2, USASAT-NGSO-3V1, USASAT-NGSO-3V2, USASAT-NGSO-3W1 y USASAT-NGSO-3W2.

Cuadro A-2: Ejemplo de excesos máximos de SpaceX Gen2 en Fuchsstadt (Alemania) (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO a 17,6°E para la banda 17,8-18,6 GHz con un diámetro de antena de la estación terrena GEO de 1 m

Sistema	Pico Superación	Porcentaje del Tiempo	Figura
USASAT-NGSO-3V-2	3,2 dB	10%	A-12
USASAT-NGSO-3W-1	3,2 dB	10%	A-13
USASAT-NGSO-3W-2	3,2 dB	10%	A-14

Las siguientes cifras contrastan estas violaciones de la EPFD↓ en Alemania con los resultados de la WCG. A modo de ejemplo, el WCG<sup>63</sup> para el límite del SFS de 17,8 GHz y 1,0 m, calculado para el sistema USASAT-NGSO-3V-2, es una estación terrena GEO en Tathlith Arabia Saudita con un satélite GEO situado cerca de 5° de longitud E.

Como puede verse, la configuración Starlink de segunda generación es claramente incompatible con el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

---

<sup>63</sup> Los datos de la DFPE subyacentes a los gráficos WCG se generaron con el programa informático de la UIT sobre la dfpe utilizando las bases de datos de entrada de la dfpe STEAM proporcionadas por SpaceX para cada una de las 18 notificaciones Gen2 de la UIT.



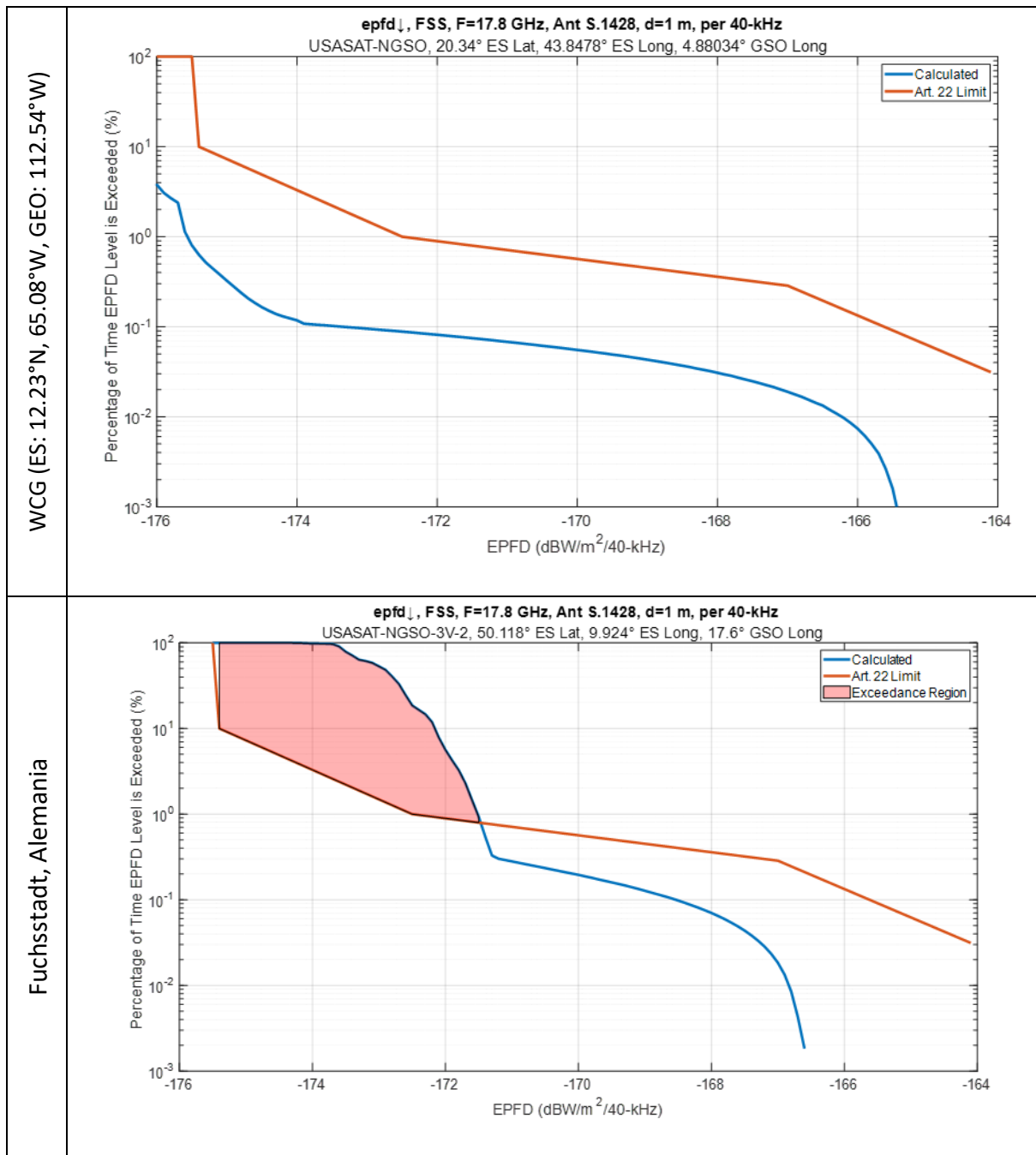


Figura A-12: Comparación de la  $dfpe$  USASAT-NGSO-3V-2 $\downarrow$  en la banda 17,8 – 18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con satélite un GEO en 17,6°E

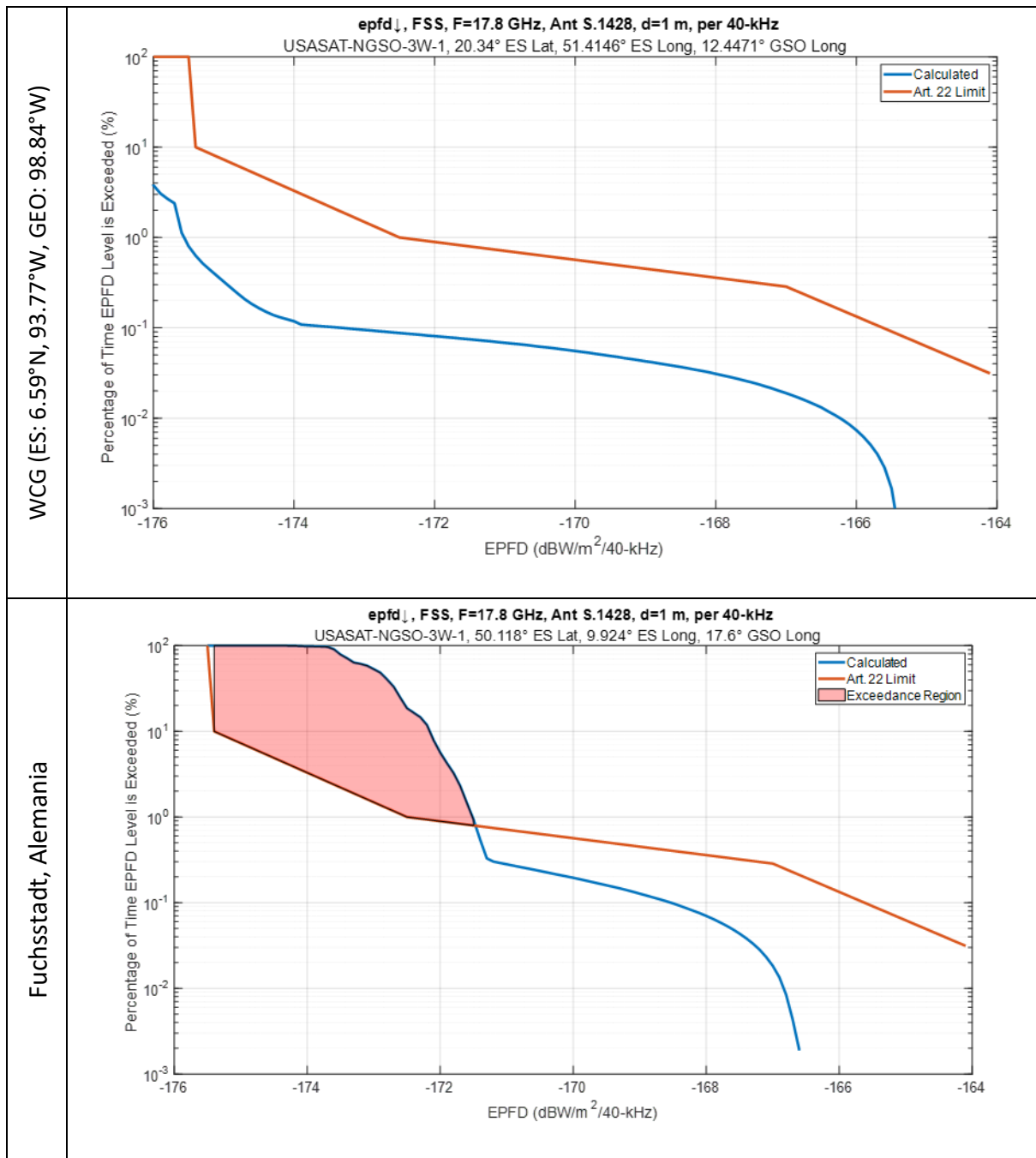


Figura A-13: Comparación de la dfpe USASAT-NGSO-3W-1↓ en la banda 17,8-18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

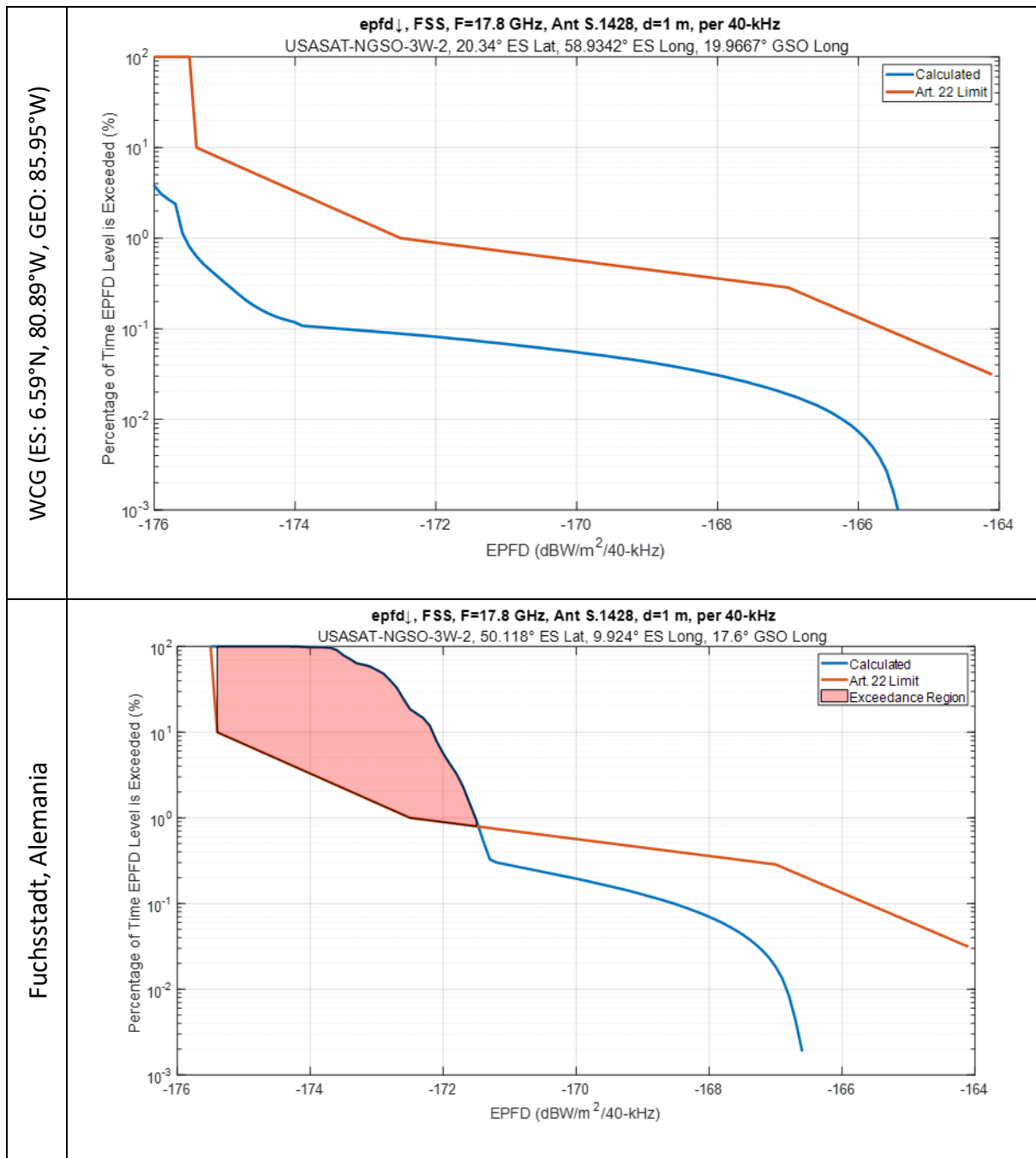


Figura A-14: Comparación de la dfpe USASAT-NGSO-3W-2 en la banda 17,8-18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con satélite GEO en 17,6°E

## B. Excesos de la DFPE↓ de segunda generación de Starlink bajo expedientes combinados en la UIT

En esta sección se evalúan los niveles de interferencia perjudicial generados por los 29.988 satélites Starlink de segunda generación adicionales que operan en virtud de las 18 nuevas solicitudes de SpaceX, y se comparan esos niveles de interferencia perjudicial con los límites aplicables de la DFPE↓ de una sola fuente del Artículo 22 de la UIT y los límites de dfpe↓ agregados de la Resolución 76 de la UIT. En particular, SpaceX *ha* dejado claro que sus 29.988 satélites adicionales funcionarían como un único sistema no GEO.<sup>64</sup>

Se generaron curvas combinadas de dfpe↓ para los 29.988 satélites que operan en el marco de estas 18 notificaciones con una estación terrena GEO de 1 m en la banda 17,8-18,6 GHz, utilizando los archivos de entrada de la dfpe proporcionados por SpaceX para cada una de esas 18 notificaciones de la UIT. La estación terrena GEO está situada en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con el satélite GEO a 17,6° de longitud E. Las 18 funciones de densidad de probabilidad de la DFPE↓ resultantes (pdf) para cada uno de los casos identificados en los límites de la dfpe↓ del artículo 22 y la Resolución 76 se combinaron, utilizando técnicas estándar para la suma de variables aleatorias independientes,<sup>65</sup> para generar las curvas combinadas de la DFPE↓ cdf.

En la figura A-15 se muestran los resultados de este análisis y se representan: i) la curva de la CDF del límite de una sola fuente del artículo 22; ii) la curva de la CDF del límite agregado de la Resolución 76; y iii) la curva combinada de la DFPE CDF para 29.988 satélites Starlink generada utilizando la metodología descrita anteriormente. **El análisis muestra que Starlink superaría tanto los límites de una sola entrada del artículo 22 como los límites agregados de la Resolución 76 para todos los porcentajes de tiempo y todos los niveles de dfpe. Las superaciones de cresta son 9,4 dB por encima del límite del artículo 22 y 4,0 dB por encima del límite de la Resolución 76, cada una de ellas con un 10% del tiempo.**<sup>66</sup>

---

<sup>64</sup> Véase, por ejemplo, Oposición consolidada a las peticiones y respuesta a los comentarios de Space Exploration Holdings, Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos, Expediente IBFS Nº SAT-LOA-20200526-00055 y SAT-AMD-20210818-00105, en 3, (que confirma que SpaceX tiene la intención de operar un único "sistema Gen2").

<sup>65</sup> Las técnicas relevantes utilizadas se discuten en la mayoría de los libros de texto sobre teoría de la probabilidad. Véase, por ejemplo, Marco Taboga, *Sumas de variables aleatorias independientes*, STATLECT, disponible en <https://www.statlect.com/fundamentals-of-probability/sums-of-independent-random-variables> (última visita el 24 de agosto de 2022); Alex Tsun, *Circunvolución*, disponible en [https://courses.cs.washington.edu/courses/cse312/20su/files/student\\_drive/5.5.pdf](https://courses.cs.washington.edu/courses/cse312/20su/files/student_drive/5.5.pdf) (última visita el 24 de agosto de 2022).

<sup>66</sup> No tiene en cuenta el efecto agregado de los 4.408 satélites de primera generación examinados anteriormente.

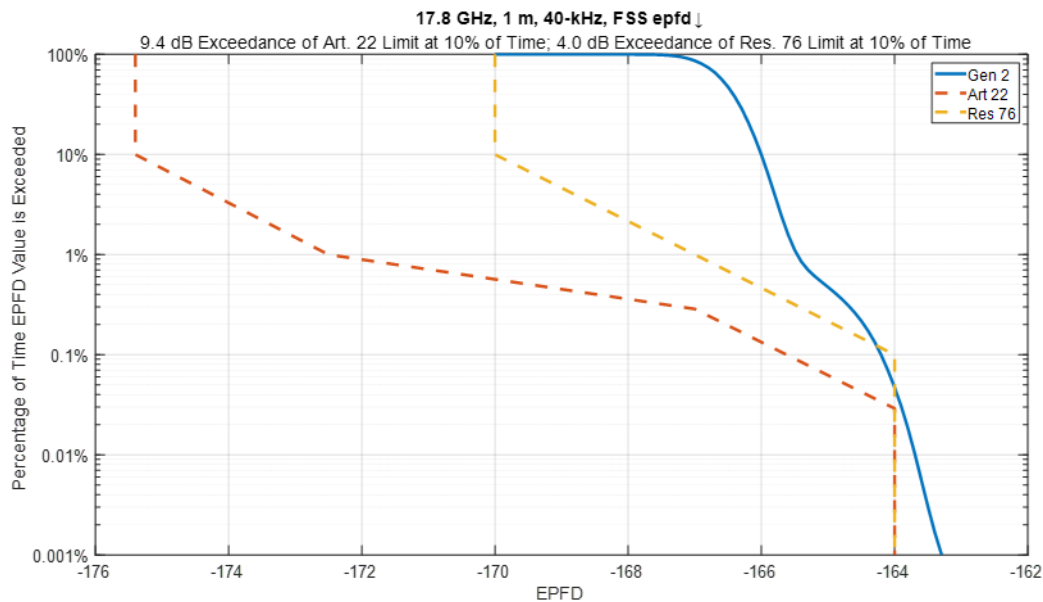


Figura A-15: DFPE↓ combinada para 29.988 satélites Starlink Gen2 en la banda 17,8-18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO wn 17,6°E

Una vez más, la Recomendación UIT-R S.1503 es instructiva. Se basa en la premisa de que los parámetros especificados en los ficheros de entrada de la DFPE pertinentes reflejan la forma en que un sistema no GEO funcionaría realmente una vez implantado. Entre otras cosas, la metodología se basa en todos los satélites que podrían contribuir a los niveles de dfpe generados por todo el sistema que se consideran conjuntamente. Así, por ejemplo, en esa Recomendación se prevé explícitamente que, cuando una constelación grande sea divisible en "subconstelaciones" separadas, el cumplimiento de la dfpe se evaluará en toda la constelación en su conjunto.<sup>67</sup>

<sup>67</sup> Recomendación UIT-R S.1503-3, § A2.4 (en el que se especifican los tipos de constelaciones que pueden evaluarse utilizando procedimientos especificados y se señala explícitamente que "[l]as denominaciones pueden contener subconstelaciones con diferentes parámetros orbitales y forma...").

#### A-IV. Excedencia del expediente STEAM-1 con Número de identificación (ID)121520025

La Circular Internacional de Información sobre Frecuencias (Servicios Espaciales) N° 2981 (del 4 de octubre de 2022) de la BR emitió un resultado "favorable" para el ID 121520025 del STEAM-1. Esta versión modificada del STEAM-1 corresponde a la configuración actual de 4.408 satélites en cuatro capas (540 km, 550 km, 560 km y 570 km).

Al igual que con el anterior resultado favorable del STEAM-1 (ID 114520273), que se ha informado anteriormente, a pesar de que esta nueva presentación recibió un resultado favorable de la BR, supera los límites de DFPE↓ del artículo 22 de los Cuadros 22-1A y 22-1D para una estación terrena GEO situada en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO situado a 17,6°E de longitud<sup>68</sup>. Las excedencias máximas se muestran en el Cuadro A-1. Las combinaciones de otras estaciones terrenas y emplazamientos de satélite que prestan servicio a Alemania podrían dar lugar a violaciones de los límites de la UIT de mayor envergadura que estos ejemplos.

Cuadro A-1: Ejemplo de excedencias máximas de STEAM-1 (ID 121520025) en Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con satélite un GEO en 17,6°E

Sistema	Servicio	Freq	Diámetro de Antena	Patrón de Radiación	Excedencia Pico	Porcentaje de Tiempo	Figura
STEAM-1	FSS	10,7 GHz	1,2 m	S.1428	0,6 dB	0.79%	A-16
STEAM-1	BSS	12,7 GHz	0,45 m	BO.1443	4,2 dB	89.75%	A-17
STEAM-1	BSS	12,7 GHz	0,6 m	BO.1443	3,1 dB	71.6%	A-18

<sup>68</sup> Los datos de la dfpe subyacentes a los diagramas WCG se generaron con el programa informático de la UIT sobre la dfpe utilizando las bases de datos de entrada de la dfpe STEAM disponibles en la UIT en [Datos de la DFPE y resultados del examen de la DFPE \(itu.int\)](#).

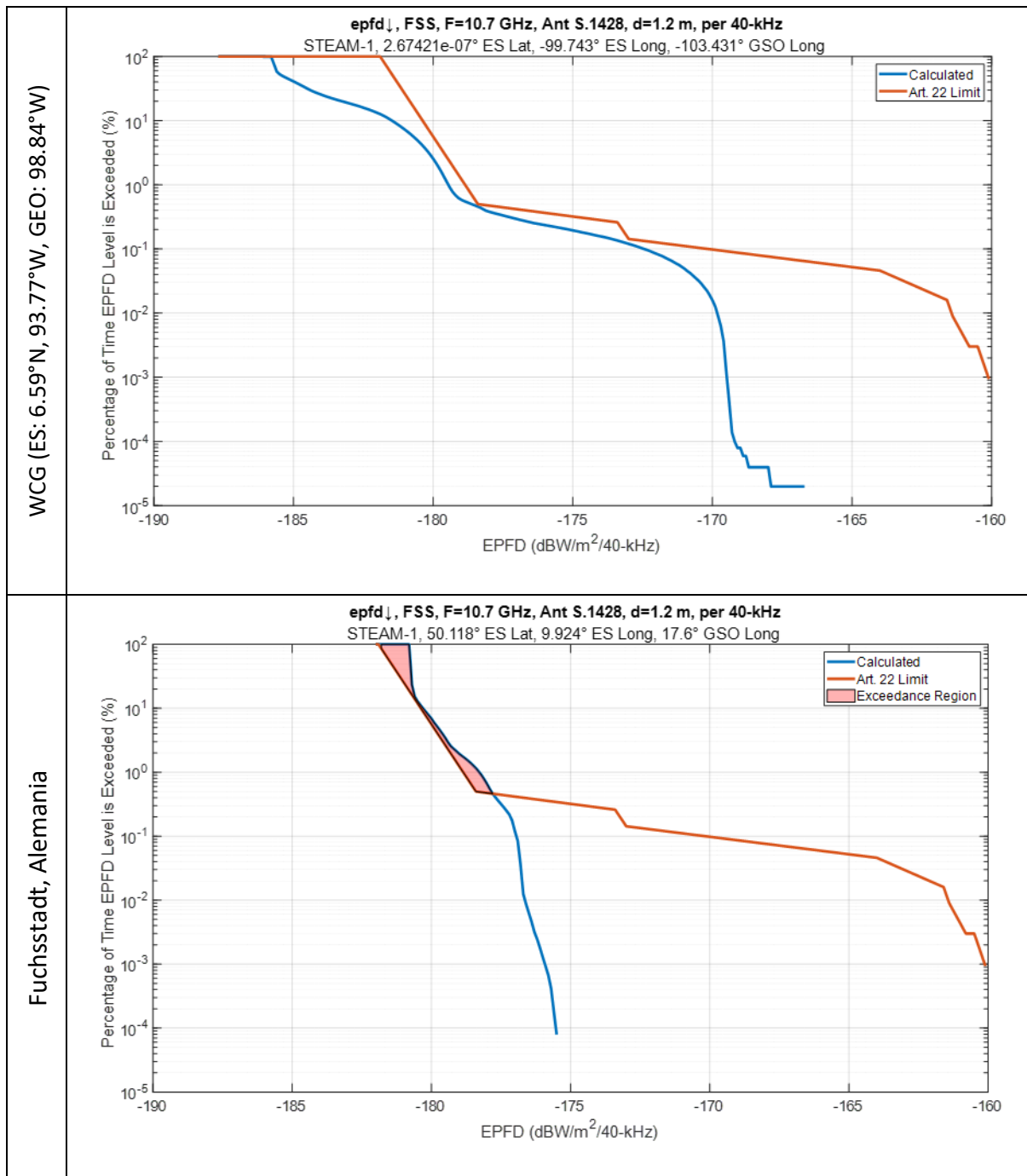


Figura A-16: Comparación de la  $dfpe_{\downarrow}$  STEAM-1 (ID 121520025) a 10,7 GHz con una estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

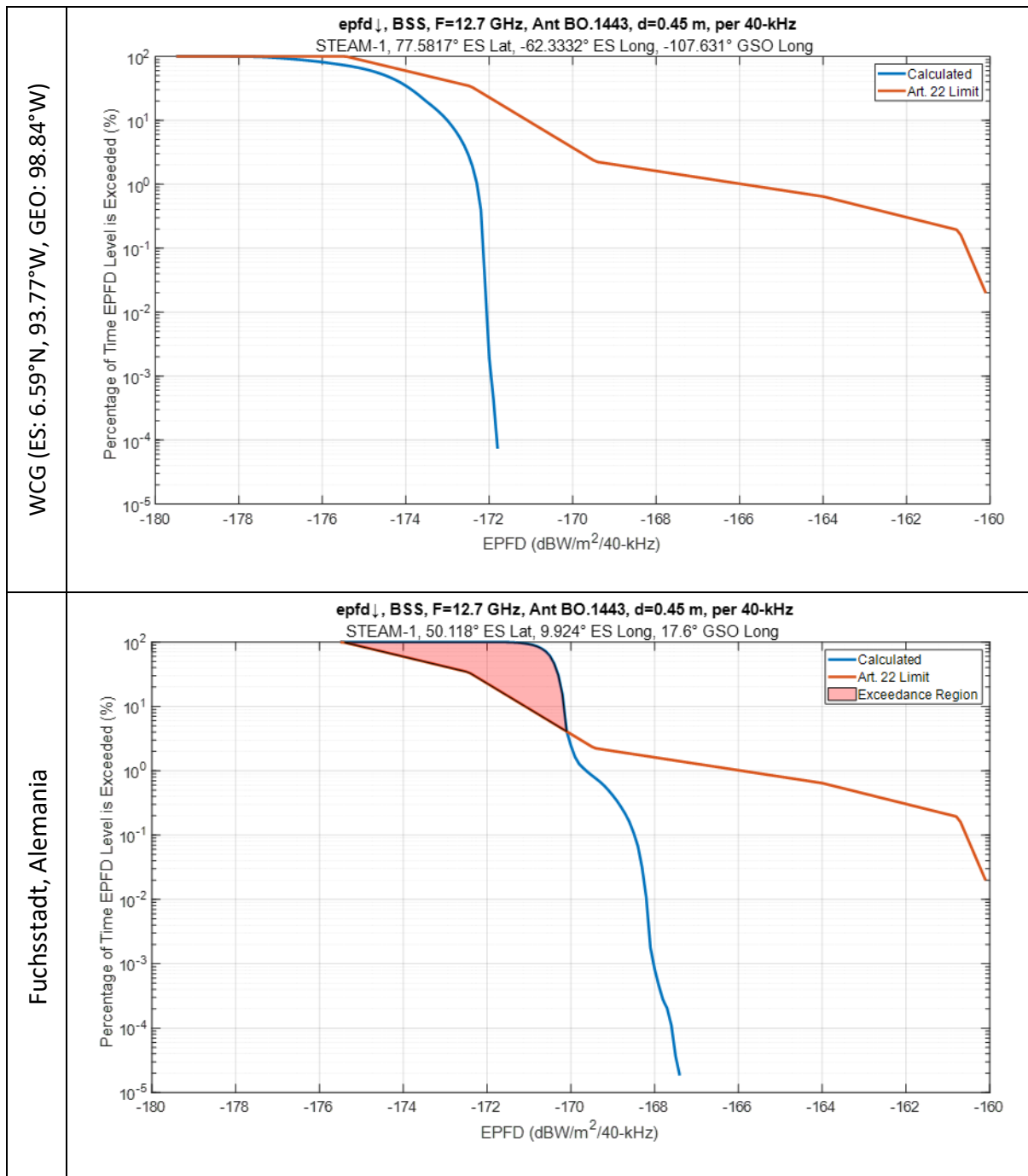


Figura A-17: Comparación de la  $dfpe_{\downarrow}$  STEAM-1 (ID 121520025) a 12,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E



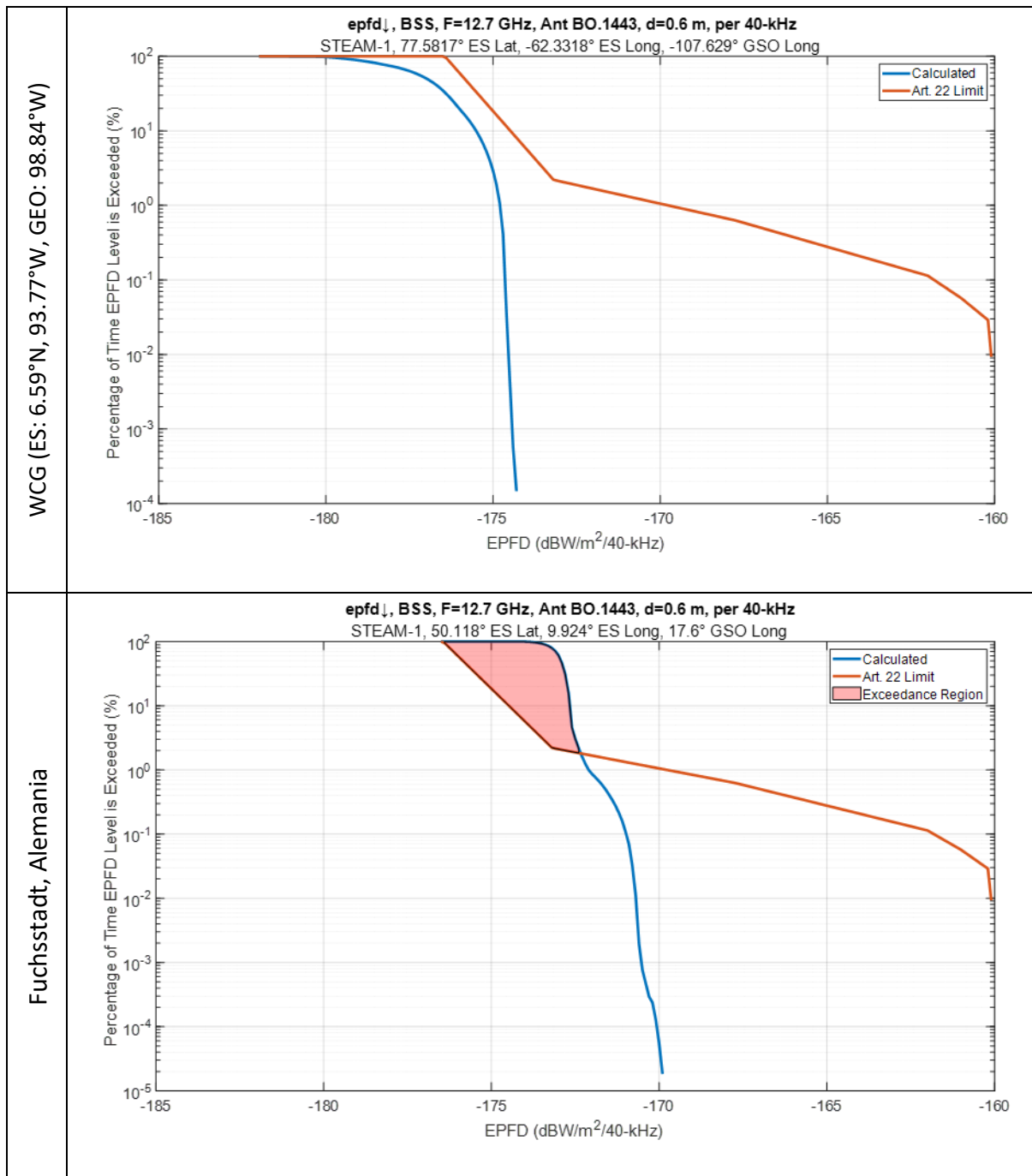


Figura A-18: Comparación de la  $dfpe \downarrow$  STEAM-1 (ID 121520025) a 12,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N, 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

## **ANEXO B:**

### **Obstaculizando el acceso equitativo a las bandas de frecuencias de NGEO**

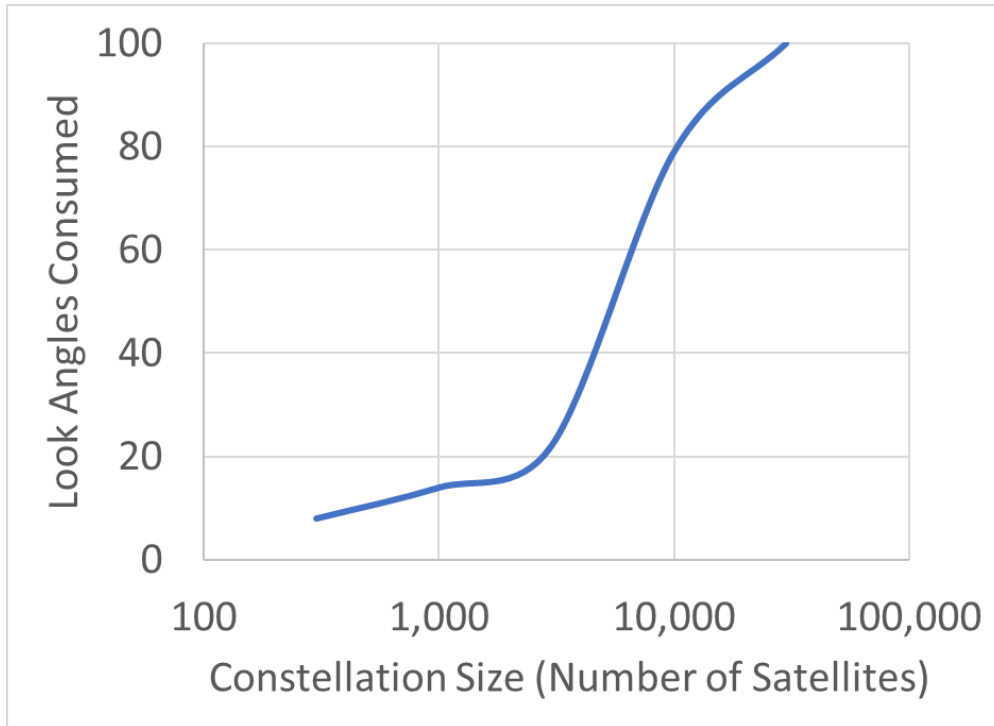
## Anexo B: Obstaculizando el acceso equitativo a las bandas de frecuencias de N GEO

El efecto adverso de los grandes sistemas N GEO sobre los sistemas N GEO más pequeños se ilustra en el Cuadro B-1 que figura a continuación, que muestra la probabilidad de que un sistema N GEO de un cierto tamaño bloquee a otro sistema N GEO de diferente tamaño. Se modelaron sistemas representativos N GEO con 100, 300, 1.000, 3.000 y 10.000 satélites. La probabilidad de bloqueo (el sistema bloqueado no es capaz de encontrar uno de sus satélites con suficiente separación angular de un satélite del sistema que bloquea para evitar la interferencia perjudicial) se calculó mediante simulación de Monte Carlo. Los porcentajes reflejan la cantidad de tiempo que puede esperarse que se produzcan eventos de interferencia perjudicial en línea cercanos.

		Número de satélites del Sistema que bloquea				
		300	1,000	3,000	10,000	30,000
Satélites del sistema bloqueado	300	-	9.4%	36.3%	96.9%	100.0%
	1,000	0.0%	-	9.5%	92.4%	100.0%
	3,000	0.0%	0.0%	-	89.0%	100.0%
	10,000	0.0%	0.0%	0.0%	-	100.0%
	30,000	0.0%	0.0%	0.0%	50.7%	-

**Cuadro B-1: Porcentaje de tiempo en que un sistema N GEO de gran tamaño obstaculiza a los sistemas de N GEO más pequeños**

Como se refleja en el Cuadro B-1, las constelaciones más grandes tendrían un impacto significativo en los sistemas N GEO más pequeños, ya que los sistemas más pequeños experimentarían bloqueos prácticamente todo el tiempo. El impacto adverso del gran sistema también puede ilustrarse examinando los "ángulos de visión" que se bloquearían en función del tamaño de la constelación de las N GEO. En la Fig. B-1 infra se muestra el porcentaje de ángulos de visión disponibles que consumirían los sistemas N GEO en función del número de satélites que incorporan. Como muestra la Figura B-1, una constelación N GEO de 10.000 satélites bloquearía alrededor del 79 por ciento de los ángulos de visión disponibles desde la ubicación de una estación terrena, y una constelación N GEO de 30.000 satélites bloquearía ***prácticamente todos los ángulos de visión disponibles desde esa misma ubicación.***



**Figura B-1: Porcentaje de ángulos de visión utilizados en función del tamaño de la constelación N GEO**

La capacidad de las grandes constelaciones N GEO para "bloquear" los sistemas de N GEO más pequeños reduciría efectivamente la capacidad disponible para esos sistemas más pequeños.

Lo más importante es que el sistema N GEO de mayor tamaño, en sí mismo nunca se "bloquearía" ni sufriría ninguna reducción en la capacidad disponible, como resultado del funcionamiento de los sistemas de N GEO más pequeños. Esto se debe a que podría aprovechar la diversidad de satélites que ofrece el número extremadamente grande de satélites en el sistema; En el caso de que se produjera un evento de interferencia perjudicial en línea en el que afecte un satélite, éste podría simplemente desviarse a través de otro satélite.

En particular, y como se examinó en el punto 1.B supra, una solución consistiría en adoptar una condición en las licencias que exigiera la división del "ángulo de observación", en virtud de la cual los sistemas N GEO que prestan servicio al país en frecuencias superpuestas dividirían la gama de acimuts de satélite vistos desde un emplazamiento de la Tierra siempre que exista la posibilidad de interferencia perjudicial en ese emplazamiento. Por ejemplo, en tales ocasiones, un sistema sólo funcionaría con satélites situados al Oeste de ese emplazamiento, mientras que el otro sistema sólo funcionaría con satélites situados al Este de ese emplazamiento. Mientras cada sistema tenga un satélite disponible en su dirección asignada que no esté dentro del ángulo mínimo de evasión de un satélite en el otro sistema, no habrá reducción de capacidad. El mismo nivel de división del "ángulo de visión" se produciría independientemente del número de satélites en una constelación N GEO dada. Cada operador soportaría la misma carga por defecto, en ausencia de algún otro resultado coordinado. Este enfoque permitiría que múltiples sistemas N GEO accedan y utilicen los recursos de espectro disponibles de manera equitativa.



## Consulta Pública IFT- México

### Portada:

Viasat agradece la oportunidad de responder a la consulta pública sobre “Cuestionario sobre prospectiva de solicitud y asignación de Recursos Orbitales en México”. Viasat cree que este es un momento oportuno para que México escuche a la industria, revise el entorno regulatorio y atraiga más operaciones satelitales y considere posibles cambios en la forma en que protege los servicios satelitales de los que depende hoy.

Viasat es un proveedor global de soluciones de comunicaciones que cree que todos y todo puede estar conectado, y que opera hoy en México, entre otros:

- Conectando a millones de mexicanos en áreas desatendidas y no cubiertas a través de nuestro programa de Internet Comunitario,
- Ampliando la red de Altán Redes para asegurar su meta de cubrir al 92% de los mexicanos.
- Conectando más de 1,400 escuelas para CFE/TEIT,
- Conectando pasajeros y tripulaciones de aeronaves y buques,
- Proporcionando comunicaciones de emergencia y respuesta a desastres, y apoyando a la industria petrolera con conectividad de banda ancha satelital, inteligencia artificial y herramientas de ciberseguridad.

Estamos comprometidos con el mercado mexicano y creemos que los servicios satelitales pueden ser una parte importante de la combinación de servicios de comunicaciones que el país necesitará en el siglo XXI. Creemos que México pone de relieve temas importantes y urgentes, particularmente en las preguntas 41 a 43, y solicitamos respetuosamente a la administración mexicana que aborde el tema de la regulación de las órbitas y el espectro de las órbitas LEO para garantizar la sostenibilidad de la industria para el futuro.

### Respuesta de Viasat a las preguntas 1-4:

En lugar de proporcionar “sí/no” al conjunto de recursos orbitales descritos en el Anexo I, Viasat insta a la administración mexicana a centrarse en atraer el crecimiento continuo de los sistemas satelitales, en particular los sistemas de satélites de órbita geosíncrona (GEO) del Servicio Fijo por Satélite (SFS) y del Servicio de Radiodifusión por Satélite (SRS) de los que México depende hoy para la conectividad en todo el país. Estos sistemas requieren entornos reglamentarios estables y una protección continua contra la interferencia procedente de otros servicios, así como de sistemas de satélites No Geoestacionarios (NGEO).

Además, la administración mexicana debe considerar las características que hacen que una administración sea atractiva para los operadores que buscan prestar servicios bajo los expedientes presentados ante la UIT por esa administración. Entre ellas figuran un entorno reglamentario estable, el acceso a espectro suficiente, la prioridad en la lista de solicitudes presentadas a la UIT, la protección nacional en las bandas atribuidas a los servicios por satélite y la capacidad de la

administración para gestionar eficazmente la coordinación con otras administraciones según sea necesario.

Viasat reconoce que México tiene un acceso significativo a las asignaciones que actualmente no se utilizan, particularmente en las bandas planificadas. Un proceso de licitación pública, especialmente para cualquier banda no planificada en Ku y Ka, sería contraproducente. En el caso de derechos sobre recursos orbitales obtenidos como resultado del proceso de petición de parte interesada, el costo estimado debe establecerse antes de iniciar el proceso. Instamos a la administración mexicana a que considere cómo flexibilizar el uso de las posiciones orbitales mexicanas y, al mismo tiempo, mantener el mercado abierto que ha convertido a México en un mercado clave para muchos operadores de la industria satelital.

**Respuesta de Viasat a la pregunta 5:**

- Sin comentarios.

**Respuesta de Viasat a la pregunta 6:**

- Sin comentarios.

**Respuesta de Viasat a las preguntas 7-11:**

Viasat no ve barreras significativas para ingresar al mercado mexicano, ya sea con un recurso orbital mexicano o uno extranjero. Viasat cree que la mayor parte del crecimiento en la industria satelital continuará desarrollándose en la banda Ka y se expandirá a las bandas Q / V y E / W. Estas tendencias han demostrado ser la forma más rentable de conectar a millones de personas en México y la región de las Américas. Dado que las bandas Ka, Q/V y E/W son bandas no planificadas de la UIT, es importante reconocer que estos satélites pueden utilizar expedientes satelitales de varias administraciones para dar servicio a toda una región.

**Respuesta de Viasat a las preguntas 12-13:**

Viasat ha tomado nota del creciente nivel de interés de la administración mexicana en la gestión de los recursos orbitales ante la UIT. Creemos que México podría ser una administración atractiva para presentar solicitudes de expedientes satelitales ante la UIT. La larga historia de México en la protección del espectro satelital y la apertura del mercado reflejan bien este actuar.

Viasat señala que un marco reglamentario claro y adecuado para los N GEO podría respaldar los objetivos de México en este ámbito, al proporcionar a los operadores tanto GEO como N GEO una mayor claridad sobre sus derechos y obligaciones derivados de la presentación de solicitudes de expedientes satelitales ante la UIT a través de México.

**Respuesta de Viasat a la pregunta 14:**

Viasat no prevé ningún cambio necesario en el marco legal en este momento.

### **Respuesta de Viasat a las preguntas 15-18:**

Viasat cree que las consideraciones para el otorgamiento de Concesiones de Recursos Orbitales es un factor que las empresas deben observar, junto con los costos regulatorios continuos, los posibles beneficios de acceso al mercado y la voluntad de las administraciones de luchar para proteger los intereses de las partes interesadas del sector privado. Una estimación de los costos para el otorgamiento de la concesión antes de iniciar el proceso sería útil para la toma de decisiones.

### **Respuesta de Viasat a las preguntas 19-23:**

Viasat alienta al Estado mexicano a enfocarse en crear un entorno propicio para la prestación de más servicios en lugar de priorizar estrictamente el uso de los recursos orbitales mexicanos. Por ejemplo, garantizar que los operadores de satélites puedan entrar en el mercado rápidamente, con poca carga regulatoria mientras encuentran su lugar en el mercado, es esencial para atraer más inversiones en el sector y ofrecer nuevos servicios a los consumidores.

Además, Viasat insta a México a promover un marco regulatorio satelital orientado a garantizar la certidumbre y el uso sostenible de espectro y órbitas NGE0. Como sabe la administración mexicana, el incipiente despliegue de grandes constelaciones de satélites NGE0 (las llamadas "mega constelaciones") amenaza el entorno regulatorio que ha facilitado decenas de miles de millones de dólares en inversiones en México solo en la última década. Véanse nuestras respuestas a las preguntas 41 a 43 para obtener más información sobre este tema.

### **Respuesta de Viasat a las preguntas 24-29:**

En la experiencia de Viasat, la administración mexicana, incluyendo el IFT y la SICT entre otras dependencias, tienen un proceso muy claro y transparente para entender las políticas para llevar los servicios de comunicaciones satelitales al mercado mexicano. La sugerencia de la pregunta 28 para una sección satelital específica del sitio web del IFT es buena, y Viasat estaría de acuerdo con el desarrollo de esta propuesta. Con respecto a la Pregunta 29, Viasat estaría de acuerdo con consultas públicas más frecuentes y de alcance delimitado sobre cuestiones de política satelital en México, incluida la gestión de las mega-constelaciones NGE0 y la protección de los servicios de satélites GEO y NGE0 contra interferencias inaceptables de grandes constelaciones NGE0, así como el desarrollo de requisitos para que los titulares de licencias de sistemas NGE0 (tanto de constelaciones extranjeras como de bandera mexicana) en México se adhieran a las regulaciones para promover el uso sostenible de la órbitas LEO y de los recursos de espectro asociados.

Por ejemplo, México no debería simplemente permitir la provisión de servicios a través de un expediente satelital extranjero notificado ante la UIT, si hacerlo afectaría negativamente a los intereses nacionales o a la soberanía. Esas consecuencias podrían deberse a que el sistema extranjero consumiría indebidamente los escasos recursos orbitales o del espectro, causaría interferencias inaceptables o aumentaría indebidamente el riesgo de colisión o de víctimas humanas, dañaría el cielo nocturno, interferiría con la astronomía u otras misiones científicas vitales,



o causaría de otro modo efectos ambientales indeseables en el espacio, en la atmósfera o aquí en la superficie de la Tierra. Más bien, México debería, como lo hacen otras administraciones, evaluar cualquier solicitud de acceso al mercado para evaluar los beneficios netos para México, y también determinar el impacto esperado en la capacidad de promover sus propios intereses nacionales y soberanía en el espacio, incluso mediante el despliegue de sus propias capacidades satelitales para la defensa nacional, los programas gubernamentales y el desarrollo económico y social.

Esta política de sistemas N GEO para las mega-constelaciones daría a México una posición de liderazgo en la región, ya que sólo Brasil ha adoptado reglas independientes para las grandes constelaciones (>1.000 satélites). Estados Unidos ha propuesto normas que se remontan a 2018, pero la mayoría de ellas aún no se han implementado. La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de la UIT de 2023 (CMR-23) proporcionó un marco para el estudio de la regulación de sistemas N GEO a nivel internacional. Esto se describe en el Anexo I del presente documento. Esto incluye nueve características distintas:

**i) No se introdujeron cambios en el Artículo 22:** La Conferencia afirmó la necesidad de mantener el *statu quo* de la protección de las redes GEO por parte de las N GEO, rechazando una propuesta de futuro punto del orden del día para la CMR-27 o la CMR-31 con miras a modificar o sustituir los límites existentes de la dfpe; ordenó que no se utilizaran estudios de dfpe existentes o nuevos en la Comisión de Estudio 4 del UIT-R para eludir esta decisión y que no se produjeran "consecuencias reglamentarias" (es decir, cambios en el Reglamento de Radiocomunicaciones) de cualquier trabajo de este tipo en la CMR-27.

**ii) Cumplimiento de la dfpe agregada:** mediante reuniones de consulta, evaluar y garantizar el cumplimiento por parte de los sistemas N GEO de los límites agregados de la dfpe, reducir los niveles de dfpe de los sistemas N GEO si se superan los límites.

**iii) Tolerancias orbitales de sistemas N GEO:** limitan significativamente la tolerancia orbital dentro de la cual puede funcionar un sistema N GEO una vez en órbita.

**iv) Nueva atribución en 17,3-17,7 GHz para satélites GEO y N GEO en la Región 2:** ampliación de los límites actuales de la dfpe del Artículo 22 a esta nueva atribución.

**v) Sostenibilidad espacial:** En las Actas de la Plenaria de la CMR-23 se subraya la urgente necesidad de que los resultados del UIT-R apoyen la sostenibilidad a largo plazo, centrándose en: i) prevenir la interferencia perjudicial de los N GEO y garantizar su utilización racional, equitativa, eficiente y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas y los recursos orbitales asociados, y ii) la desorbitación y eliminación seguras y eficientes de sistemas N GEO una vez finalizada su vida útil.

**vi) Hitos de sistemas N GEO:** se adoptó un enfoque modificado basado en hitos para los sistemas N GEO a fin de garantizar que el Registro Maestro refleje siempre el despliegue real de los sistemas N GEO (incluso después del despliegue completo del sistema) y mejorar la utilización eficiente de los recursos orbital/espectro.

**vii) Punto 1.5 del orden del día de la CMR-27: "Acuerdo explícito" de N GEO:** medidas reglamentarias para limitar las operaciones no autorizadas de las estaciones terrenas de sistemas N GEO en los territorios nacionales "y cuestiones conexas relacionadas con la zona de servicio de los sistemas de satélites en órbita no geostacionaria".

**viii) Punto 1.6 del orden del día de la CMR-27: "Acceso equitativo" en banda Q/V:** medidas técnicas y reglamentarias para los satélites N GEO y GEO en banda Q/V a fin de garantizar un acceso equitativo.

**ix) Punto 1.16 del orden del día de la CMR-27: Zonas de silencio radioeléctrico para sistemas N GEO:** disposiciones técnicas y reglamentarias para proteger la radioastronomía en las zonas de silencio radioeléctrico de la interferencia combinada causada por los sistemas N GEO.

Viasat ha promovido el desarrollo de normas para prevenir el riesgo de colisión indebido en la órbita terrestre baja y garantizar el acceso al espectro tanto GEO como N GEO en el futuro. Esta investigación, y otros materiales útiles, se pueden encontrar en la *sección de Política Espacial* del sitio web de Viasat<sup>1</sup>. Viasat también proporciona dos libros blancos en el anexo de estos comentarios que son instructivos para las administraciones que comienzan a considerar la reglamentación de sistemas N GEO, a saber:

**Anexo II:** Garantizando la innovación y oportunidades de crecimiento en la nueva era espacial <sup>2</sup>

**Anexo III:** Gestión de los riesgos de mega-constelaciones en Órbita LEO<sup>3</sup>

#### **Respuesta de Viasat a las preguntas 30 y 31:**

Viasat ha realizado varios trámites con el IFT y la SICT en el último año, y encontró que la administración mexicana es clara, transparente y abierta a empresas como Viasat. Valoramos nuestra continua cooperación con la administración mexicana. En este sentido, sería aún mejor que una solicitud se analizara en función de las frecuencias específicas solicitadas y no en función de todas las frecuencias contenidas en el expediente registrado en la UIT.

#### **Preguntas 32-34:**

- Sin comentarios.

#### **Preguntas 35 a 37:**

- Sin comentarios.

#### **Respuesta de Viasat a la pregunta 38:**

Viasat cree que hay una creciente convergencia entre las redes satelitales y terrestres. Esta convergencia permite el 5G como una "red de redes" que utiliza múltiples tecnologías para satisfacer las necesidades de conectividad de los clientes dondequiera que estén. Ciertamente, la geografía y

---

<sup>1</sup> Ver: <https://www.viasat.com/about/what-we-believe/space-policy/>

<sup>2</sup> Ver: [https://www.viasat.com/content/dam/us-site/corporate/documents/Ensuring%20Innovation%20and%20New%20Opportunities%20in%20the%20New%20Space%20Age%20\(A4\).pdf](https://www.viasat.com/content/dam/us-site/corporate/documents/Ensuring%20Innovation%20and%20New%20Opportunities%20in%20the%20New%20Space%20Age%20(A4).pdf)

<sup>3</sup> Ver: [https://www.viasat.com/content/dam/us-site/corporate/documents/Viasat%20White%20Paper-Managing%20Mega-Constellation%20Risks%20in%20LEO%20\(A4\).pdf](https://www.viasat.com/content/dam/us-site/corporate/documents/Viasat%20White%20Paper-Managing%20Mega-Constellation%20Risks%20in%20LEO%20(A4).pdf)

la distribución de la población de México excluyen que la dependencia sea exclusiva en las redes terrestres para el 5G. Viasat participa activamente en el desarrollo de estándares dentro del 3GPP que apoyen el 5G y el futuro 6G. Viasat también está trabajando para asegurar el futuro del Servicio Móvil por Satélite (MSS) en las bandas L y S como parte de un sólido ecosistema de activos. El uso del SMS será fundamental para cerrar la brecha de conectividad.

Para ayudar a facilitar este desarrollo, Viasat es miembro fundador de la Alianza de Servicios Móviles por Satélite (MSSA), junto con Omnispace, Ligado, Terrestar y Yahsat. La MSSA tiene una visión de la integración de servicios de redes terrestres y no terrestres (NTN) para ofrecer conectividad escalable, sostenible y asequible a cualquier dispositivo, en cualquier momento y en cualquier lugar. Permite más de 100 MHz de espectro de banda L y S interoperable basado en estándares para D2D a través de múltiples redes del SMS en todo el mundo. La industria satelital puede proporcionar y complementar servicios en áreas rurales, granjas, zonas industriales y lugares suburbanos, por igual dentro de las redes 4G, 5G y 6G futuras.

**Pregunta 39:**

- Sin comentarios.

**Respuesta de Viasat a las preguntas 40:**

Viasat insta a la administración mexicana a adoptar un régimen de homologación que reconozca la aprobación y homologación de organizaciones extranjeras (por ejemplo, la FCC de Estados Unidos, la ANATEL de Brasil y la CE en Europa) que mejoraría el proceso ya que los equipos a utilizar en México se considerarían automáticamente como aprobados. Esto debería aplicarse tanto a las redes de bandera mexicana como a las redes extranjeras. Esto daría a los operadores de satélites y a los consumidores más opciones para ofrecer productos que cumplan con las normas y que no causen daños en el entorno del espectro en México y alinearía a México con los estándares de otros países líderes.

**Respuesta de Viasat a las preguntas 41 a 43:**

Viasat apoya incondicionalmente la inclusión de "obligaciones relacionadas con la gestión, el control y la mitigación de los residuos espaciales". Viasat advierte, sin embargo, que estas obligaciones deben aplicarse a todos los licenciarios, y no sólo a los que utilizan expedientes satelitales mexicanos, y deben ser suficientes para evitar la creación de dichos desechos cuando sea posible, y hacer frente a situaciones en las que las técnicas tradicionales de maniobrabilidad fallan o simplemente son inadecuadas. Se trata de un ámbito de reglamentación que debe ampliarse para abarcar los satélites NGE0, en particular en órbita terrestre baja (LEO), que son responsables del aumento de la masa y la congestión en la órbita terrestre baja, lo que aumenta el riesgo de colisiones que generan desechos y pone en peligro a toda la industria espacial, incluso cuando esas naves espaciales LEO son maniobrables. Esto se debe a dos razones importantes. En primer lugar, esas normas para la sostenibilidad del espacio NGE0 aún no se han adoptado de manera uniforme en todo el mundo, aunque está surgiendo un nuevo marco reglamentario para algunos aspectos de esta cuestión en diversas jurisdicciones y también a través de decisiones de la UIT (véase el Anexo I).

Dichas normas deben aplicarse de manera uniforme a todos los sistemas de satélites NGEO que soliciten acceso a los mercados en México, independientemente de la administración notificante. Si México sólo las aplicara a expedientes satelitales nacionales, podría reducir el atractivo de México como administración notificante para los operadores de mega-constelaciones NGEO que tratan de evitar las consecuencias del diseño, el despliegue y la operación de las constelaciones NGEO que son excesivamente riesgosas o que consumen en exceso los escasos y frágiles recursos orbitales y el espectro. En segundo lugar, confiar en la regulación de licencias de lanzamiento por parte de otra administración (no mexicana) crea un único punto de falla desde el punto de vista de la política. También fomenta comportamientos de búsqueda de oportunidades para dichas licencias en el lugar que aplique la menor supervisión en el espacio. De hecho, adoptar reglas iguales para las constelaciones extranjeras y nacionales:

- Es eficaz porque los sistemas LEO comerciales dependen del acceso a los mercados mundiales para su viabilidad económica, incluso en mercados importantes como México;
- Establece la igualdad de condiciones para todos los operadores comerciales; y
- Puede ser una herramienta eficaz para promover un comportamiento comercial sostenible, aunque no sea adoptado universalmente por todas las naciones del mundo.

En particular, la industria de los satélites comerciales ya navega con éxito por diversas reglamentaciones nacionales y regionales que difieren de una jurisdicción a otra, incluidas las normas relativas al espectro crítico y los recursos orbitales. Por ejemplo, la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos (FCC, por sus siglas en inglés) requiere que todos los sistemas satelitales no autorizados en Estados Unidos que pretendan acceder al mercado cumplan con los requerimientos de los Estados Unidos, aun cuando estos mismos requerimientos varíen de las (i) convenciones internacionales o (ii) de los de la administración que autorizó el sistema de satélites.<sup>4</sup>

Tales requisitos de acceso a los mercados podrían reflejarse en las concesiones y autorizaciones emitidas por la administración mexicana y garantizar que el riesgo de colisión asumido por toda la constelación NGEO durante su vida operativa no exceda el nivel aceptable establecido en la autorización. A estas constelaciones no geoestacionarias, compuestas por un gran número de estaciones espaciales, también se les debe requerir, mediante condiciones establecidas en la autorización, que eviten la interferencia con otros sistemas y servicios autorizados, como las redes GEO, otras constelaciones NGEO, la observación del espacio lejano, la astronomía y la observación de la Tierra. Véase también la sección VII del anexo II del presente documento para obtener recomendaciones específicas sobre la concesión de licencias para las constelaciones NGEO.

#### **Preguntas 44-48:**

- Sin comentarios.

---

<sup>4</sup> Véase, p. ej., Kinéis, Petición de resolución declaratoria para acceder al mercado de EE. UU. utilizando un sistema de satélites de órbita terrestre baja, FCC 21-118 (publicado el 19 de noviembre de 2021)(el sistema de satélites francés está sujeto a las normas y políticas nacionales de los Estados Unidos; EE.UU. se negó a basarse en las de la administración de licencias o de la UIT). Ese es el enfoque mediante el cual los Estados Unidos han efectuado cambios de política en todo el mundo sin menoscabar el atractivo del mercado estadounidense.



ANEXO I: Resultados de la CMR-23 en el Reglamento de los NGEO



## ANEXO II: Garantizando la Innovación y Oportunidades de Crecimiento en la Nueva Era Espacial

# Regulación Satelital en la CMR-23:

Resultados en 2023 y hoja de ruta hacia 2027

# CMR-23, Dubái:

## Un hito para el sector de satelital

- > Número de delegados en la CMR-23: 3.900
  - > Delegados en la AR: 1.300
- > Países participantes: 163
  - > Incluyendo 88 de nivel ministerial
- > Se abordaron un gran número de cuestiones relacionadas con satélites
- > La sostenibilidad del espacio, el acceso equitativo, la protección de sistemas GEOs y cuestiones relativas a operaciones ilegales no deseadas de sistemas NGEOs sobre territorios nacionales fueron los principales temas de la conferencia.
- > La UIT sentó las bases de un marco reglamentario para las grandes constelaciones de sistemas NGEOs



# CMR-23 Marco Regulatorio para Grandes Constelaciones NGEOs

➤ La CMR-23 reaccionó a la evidente necesidad de un marco para regular las grandes constelaciones NGEO:

(i) **No cambios al Artículo 22:** la CMR-23 no aprobó el adoptar un futuro Punto del Orden del Día (POD) para la CMR-27 o la CMR-31 con miras a modificar o sustituir los límites existentes de la DFPE; dispuso que no se utilizarán estudios de DFPE, existentes o nuevos, en la Comisión de Estudio 4 del UIT-R que deberá estar enfocado a continuar la protección de redes GSO y no ser utilizado para evadir la decisión de no adoptar un futuro POD.

(ii) **Cumplimiento de la DFPE agregada:** evaluar y garantizar el cumplimiento por parte de los sistemas NGEOs de los límites de la DFPE agregada, así como reducir los niveles de DFPE en caso de que se superen los límites establecidos.

(iii) **Tolerancias orbitales de sistemas NGEOs:** limitación significativa de la tolerancia orbital dentro de la cual puede funcionar un sistema NGEO una vez en órbita

iv) **Nueva atribución en 17.3-17.7 GHz** para satélites GEOs y NGEOs en la Región 2 (extendiendo la aplicación de los límites actuales de la DFPE en virtud del Artículo 22)

# CMR-23 Marco Regulatorio para Grandes Constelaciones NGEOs

> La CMR-23 reaccionó a la evidente necesidad de un marco para regular las grandes constelaciones NGEOs:

(v) **Sostenibilidad espacial:** En las Actas de la Plenaria de la CMR-23 se subraya la urgente necesidad de que los resultados del UIT-R apoyen la sostenibilidad a largo plazo, haciendo hincapié en:

i) prevenir la interferencia perjudicial, por y entre redes NGEOs y garantizar su utilización racional, equitativa, eficiente y económica del espectro de radiofrecuencias y de los recursos orbitales asociados, y

ii) la desorbitación y eliminación seguras y eficientes de las ONGD tras el final de su vida útil;

vi) **Hitos de sistemas NGEOs:** adoptó un enfoque modificado basado en hitos para los sistemas NGEOs a fin de garantizar que el Registro Maestro refleje siempre el despliegue real de los sistemas NGEOs, incluso después del despliegue completo del sistema, y mejorar el uso eficiente de los recursos orbital-espectro.

# CMR-23 Marco Regulatorio para Grandes Constelaciones NGEOs

> La CMR-23 previó el desarrollo continuo del marco para regular las grandes constelaciones NGEOs, encomendando a la CMR-27 que abordara:

vii) **Punto 1.5 del Orden del Día de la CMR-27:** "Acuerdo explícito" - Medidas reglamentarias para limitar las operaciones no autorizadas de las estaciones terrenas de sistemas NGEOs en los territorios nacionales

viii) **Punto 1.6 del Orden del Día de la CMR-27:** «Acceso equitativo» en la banda Q/V - Medidas técnicas y reglamentarias para los satélites NGEOs y GEOs en la banda Q/V a fin de garantizar un acceso equitativo.

ix) **Punto 1.16 del Orden del Día de la CMR-27:** Zonas de silencio radioeléctrico de NGEOs: disposiciones técnicas y reglamentarias para proteger la radioastronomía en las zonas de silencio radioeléctrico de la interferencia combinada causada por sistemas NGEOs.

# Preservando los límites de DFPE del artículo 22

- > La Conferencia no adoptó una propuesta de Punto del Orden del Día de la CMR-27 para revisar y sustituir las protecciones de DFPE del Artículo 22.
- > Más de 60 países expresaron en voz alta y en repetidas ocasiones su firme oposición a la propuesta de unas pocas grandes constelaciones de organizaciones no gubernamentales de abrir y modificar los límites de la DFPE del artículo 22 para permitir una mayor interferencia en las redes GEOs
  - > La gran mayoría de las administraciones demostraron su compromiso con los sistemas GEOs como parte importante del futuro del sector satelital.
  - > La no adopción de esta propuesta garantiza un entorno reglamentario estable, y protege las oportunidades de sistemas nacionales de seguridad y desarrollo económico tanto de sistemas GEOs como NGEOs bajo un marco regulatorio de largo plazo bajo el cual ambos sistemas han progresado a la fecha.

# Preservando los límites de DFPE del artículo 22

> El acta de la 11ª Sesión Plenaria (del miércoles 13 de diciembre de 2023, a las 15:45 horas, p. 5) dice:

"Estudios técnicos sobre los límites de la DFPE para la protección continua de las redes GEOs del SFS y del SRS

La CMR-23 invita al UIT-R a realizar estudios técnicos sobre los límites de DFPE mencionados en el número 22.5K, a fin de garantizar la protección continua de las redes GEOs del SFS y del SRS, y a informar a la CMR-27 de los resultados de los estudios, sin consecuencias reglamentarias. Este trabajo no debe presentarse en el marco del Punto 9.1 del Orden del Día.

Así se acordó".

# Preservando los límites de DFPE del artículo 22

- No se trata de un Punto Futuro del Orden del Día (PFOD) relativo a la DFPE. La Resolución 804, Anexo I, dice que los PFOD deben
  - Tener la expectativa de cambios en el Reglamento de Radiocomunicaciones
  - Abordar cuestiones que no pueden abordarse en otras actividades del UIT-R
- No está destinado a servir como petición de acción en la CMR-27 en virtud del POD 9.1 (Actividades generales del sector de radiocomunicaciones)
- Los estudios deben enmarcarse en el sentido de que garanticen la protección continua de las redes GEOs del SFS y del SRS a la luz de las grandes constelaciones NGEOs; sin más flexibilidad para que los NGEOs interfieran
- El trabajo actual en WP4A; Mejoras para un modelado más preciso de la interferencia de la DFPE, como puede ser el impacto agregado de los lóbulos laterales

# El Orden del Día de la CMR-27 impulsa la regulación de los NGEOs

- > 1.1: Estudios sobre la utilización de las ESIM (ETEM) en banda Q/V para GEOs y NGEOs
- > 1.3: Nuevos estudios sobre el uso de estaciones de pasarelas de NGEOs en 51,4-52,4 GHz evaluarán si los GEOs y NGEOs pueden coexistir en la banda y si es una banda de expansión adecuada para NGEOs
- > 1.5: Nuevos estudios sobre el desarrollo de medidas reglamentarias para prevenir la prestación no autorizada de servicios por parte de sistemas NGEOs (el llamado "Acuerdo Explícito")
  - > Cubre las direcciones Tierra-Espacio y Espacio-Tierra
- > 1.16: Protección de sirtios de radioastronomía (zonas de silencio radioeléctrico) de la interferencia de los NGEOs
- > 7: Acceso equitativo entre sistemas NGEOs en aplicación de la Resolución UIT-74

A confirmar por WP4A

# Sostenibilidad espacial: Resolución 74 de la AR-23

- En la Resolución 74 se pide que se realicen nuevos estudios sobre las actividades de sistemas NGEOs relacionadas con el uso sostenible del espectro de frecuencias radioeléctricas y los recursos asociados a la órbita de los satélites, entre ellos:
  - Evaluación de la interferencia y mitigación de sus efectos entre sistemas NGEOs para promover la sostenibilidad a largo plazo y el uso equitativo del espectro y los recursos orbitales, teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo y la situación geográfica ciertos países.
  - Crear un sitio web del UIT-R sobre cuestiones relacionadas con los sistemas NGEOs
  - Colaborar e intercambiar información con otras organizaciones pertinentes de las Naciones Unidas, incluida la Oficina de Asuntos del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas (UNOOSA) y la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos (COPUOS).



# Implementación de la Resolución 74 de la AR-23

- > No todo se incluye en los Puntos del Orden del Día: Minutas de la 11ª sesión plenaria (miércoles 13 de diciembre de 2023, a las 15:45, pág. 5):
- > «La CMR-23 invita a los Estados Miembros a participar activamente en la aplicación de la Resolución UIT-R 74 (AR-23) presentando contribuciones a las Comisiones de Estudio del UIT-R interesadas y apoyando las actividades técnicas asociadas para garantizar la utilización racional, equitativa, eficiente y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas y los recursos orbitales asociados, prestando especial atención a los sistemas de satélites no GEOs, incluida la compatibilidad entre sistemas.»

# Expansión continua satelital en la CMR-27

## > Temas del SMS

- > 1.12: Nuevos estudios sobre atribuciones de banda estrecha para Internet de las cosas (IoT) por debajo de los 2 GHz
- > 1.13: Nuevos estudios sobre el re-uso del espectro para los servicios móviles terrestres por satélite para complementar la cobertura de redes terrestres IMT
- > 1.14: Nuevas atribuciones para el SMS

# Expansión continua satelital en la CMR-27

- > 1.4: Nuevos estudios sobre la posible nueva atribución de GEOs del SFS y NGEOs de Asia Pacífico en la banda 17,3-17,7 GHz: En los estudios se estudiará la posibilidad de ampliar la atribución del SFS en la banda a la Región 3 de la UIT, incluso con los límites actuales de la DFPE del Artículo 22 para proteger las redes GEOs de la interferencia de los NGEOs
- > 1.15: Nuevos estudios sobre el espectro lunar: estudios sobre posibles nuevas atribuciones de servicios de investigación espacial (espacio-espacio) para el desarrollo futuro de las comunicaciones en la superficie lunar y entre la órbita lunar y la superficie lunar.

# Operaciones de Viasat en México



# Viasat en México

Gracias a la protección y apoyo a las operaciones de los sistemas geoestacionarios y bandas de frecuencias atribuidos a servicios satelitales, se han alcanzado grandes beneficios.

- > En México, Viasat ha conectado 1,400 escuelas como proveedor de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) / Internet Para Todos
- > Hemos extendido la cobertura de Altán Redes para llevar servicios a poblaciones dentro y fuera de su compromiso de cobertura
- > En 2024, la asociación de Viasat con PSYDEH en Hidalgo fue premiado con el premio bronce de Anthem en la categoría "Programa o Plataforma de Educación o Alfabetización"
- > Viasat lanzó su Programa de Embajadoras de Viasat en 52 comunidades en 11 estados con el objetivo de llevar Internet asequible y confiable a comunidades donde Viasat presta servicio.

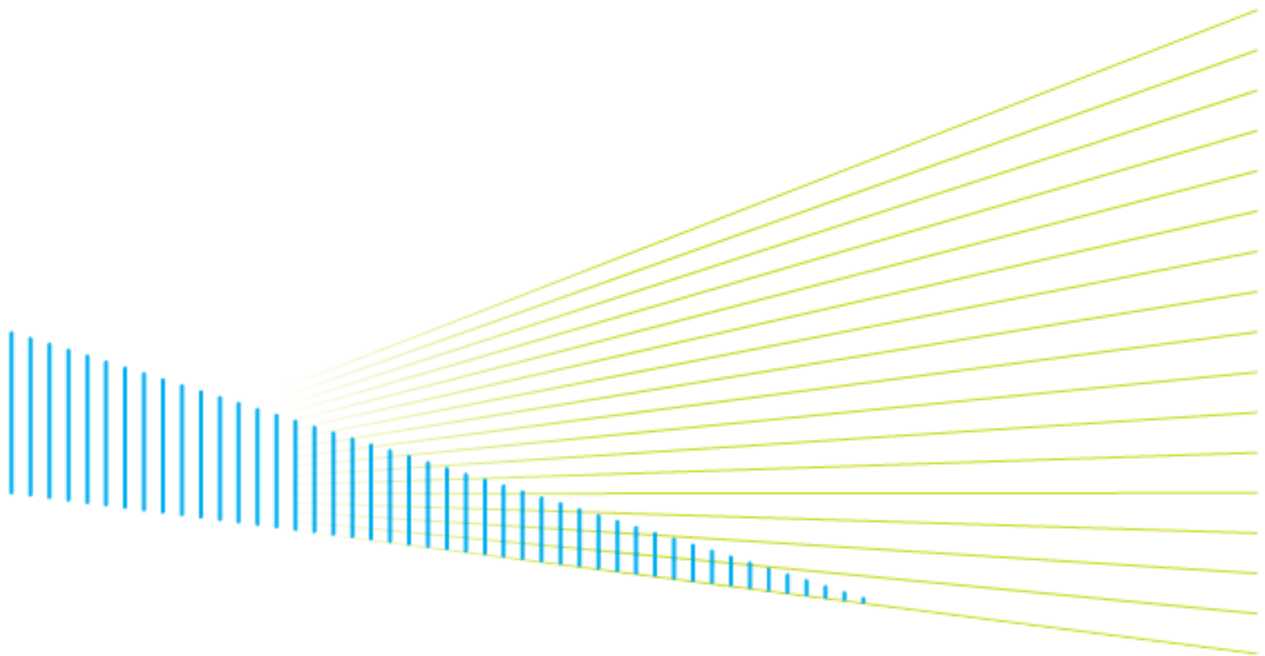
Hemos prestado Comunicaciones de emergencia en situaciones de desastres naturales, como fue el caso del huracán Otis en Guerrero

Gracias

The image features a dark blue background with numerous small, bright white stars of varying sizes, creating a starry night sky effect. In the lower portion of the image, there is a large, abstract, multi-colored shape that transitions from a bright blue on the left to a light green in the middle, and finally to a bright yellow on the right. The word "Gracias" is written in a clean, white, sans-serif font on the left side of the image.

Actualizado a noviembre de 2022

# Gestión de Riesgos de Megaconstelaciones en Órbita LEO



## Índice

Resumen ejecutivo .....	1
I. Riesgo de colisión y síndrome de Kessler .....	5
II. Evaluación del riesgo de colisión .....	6
III. Consecuencias de la colisión .....	10
<i>a. La naturaleza de los residuos creados por colisiones.....</i>	10
<i>b. La persistencia y las consecuencias de los residuos creados por colisiones.....</i>	13
IV. Límites de modelado que existen con el uso de LEO .....	15
V. Las fuerzas del mercado no son adecuadas para mitigar los riesgos en LEO.....	19
VI. Debe tenerse en cuenta el riesgo agregado presentado por cada sistema LEO .....	20
VII. Los riesgos de colisión del sistema LEO dependen del número de satélites .....	22
VIII. Los sistemas de prevención de colisiones no mitigan todos los riesgos .....	23
IX. Otros problemas medioambientales .....	25
X. Conclusión .....	27

## Resumen ejecutivo

Una concepción común es: “El espacio es grande. Realmente grande. Simplemente no creerás lo grande, enorme y sorprendente que es”.<sup>1</sup> Sin embargo, la parte del espacio cerca de la Tierra que se puede utilizar para actividades humanas es un recurso finito, frágil y en riesgo de sobreexplotación, al igual que los recursos de la Tierra. Esto es particularmente cierto ahora que el coste del lanzamiento ha caído precipitadamente. Las economías de escala que permiten cargas útiles pequeñas y baratas están impulsando la inversión en naves espaciales económicas, y las normas establecidas que impulsaron un vuelo seguro durante décadas están siendo destruidas.

Con el crecimiento exponencial de los residuos espaciales y el tamaño de las constelaciones de satélites en Low Earth Orbit (LEO), está cada vez más claro que los “recursos” disponibles no serán lo suficientemente grandes como para soportar el funcionamiento seguro y sostenible de un número ilimitado de satélites.

Debido a esto, astrofísicos, astrónomos, científicos, grupos de expertos, legisladores, políticos y reguladores por igual, están expresando preocupación por la creciente congestión en la órbita LEO y por un comportamiento indebidamente arriesgado:

---

<sup>1</sup> D. Adams, *La guía de los lanzadores al Galaxy* (Nueva York: Harmony Books, 1979), en 73.



“Estamos haciendo tanto desorden en el espacio que rodea a nuestro planeta como en el propio planeta”.<sup>2</sup>

“Es una carrera hasta el límite en términos de conseguir todo lo posible para reclamar recursos orbitales”.<sup>3</sup>

“El acaparamiento de todo el territorio bueno es una queja razonable”.<sup>4</sup>

“El surgimiento de mega-constelaciones en órbita terrestre baja plantea el riesgo de negar el acceso a la órbita LEO y al espectro radioeléctrico al imposibilitar operar allí de forma segura y sostenible. Debería preocuparnos a todos y es hora de hacer algo al respecto”.<sup>5</sup>

“Cuando lanzamos docenas de satélites en pocas semanas, eliminamos la capacidad del entorno de informarnos de las consecuencias no deseadas de nuestras acciones, y no podemos predecir cuál es realmente el estado de equilibrio dinámico”.<sup>6</sup>

“A medida que el entorno orbital de la Tierra se congestiona cada vez más, las preocupaciones sobre su sostenibilidad a largo plazo, la posible sobreexplotación y el riesgo de interferencia se están volviendo cada vez más claros y compartidos entre los legisladores, los líderes de la industria y el mundo académico”.<sup>7</sup>

“Ahora nos encontramos en una encrucijada: si no encontramos formas de gestionar el tráfico espacial, nuestras actividades espaciales pasadas y presentes pondrán en peligro la seguridad y sostenibilidad del espacio exterior y, como resultado, a nuestra capacidad futura de confiar en el espacio como facilitador de servicios clave en beneficio de la humanidad”.<sup>8</sup>

---

<sup>2</sup> H.E. S. Bint Yousif Al Amiri, Ministro de Estado de Tecnología Avanzada, EAU, <https://www.economist.com/the-world-ahead/2020/11/17/easier-access-to-space-imposes-new-environmental-responsibilities-on-humanity>.

<sup>3</sup> Dr. M. K. Jah, profesor adjunto, Departamento de Ingeniería Aeroespacial y Mecánica de Ingeniería, Universidad de Texas en Austin, [https://www.wsj.com/articles/elon-musks-satellite-internet-project-is-too-risky-rivals-say-11618827368?mod=searchresults\\_pos1&page=1](https://www.wsj.com/articles/elon-musks-satellite-internet-project-is-too-risky-rivals-say-11618827368?mod=searchresults_pos1&page=1).

<sup>4</sup> Dr. J. McDowell, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, <https://www.theverge.com/2021/1/27/22251127/elon-musk-bezos-amazon-billionaires-satellites-space>.

<sup>5</sup> M. Alotaibi, Gobernador Adjunto de Radio Spectrum, Comisión de Comunicaciones y Tecnología de la Información de Arabia Saudí (CITC), <https://www.spaceintelreport.com/saudi-regulator-itu-must-address-leo-crowding-debris-and-sustainability-before-the-orbit-is-rendered-unusable/>.

<sup>6</sup> A. Lawrence, M. L. Rawls, M. Jah, A. Boley, F. Di Vruno, S. Garrington, M. Kramer, S. Lawler, J. Lowenthal, J. McDowell y M. McCaughrean, El caso del medioambientalismo espacial, NATURE ASTRONOMY (22 de abril de 2022), <https://www.nature.com/articles/s41550-022-01655-6>.

<sup>7</sup> Instituto Europeo de Política Espacial, Capacidad *del Espacio y Medio Ambiente: Perspectivas políticas, normativas y diplomáticas sobre modelos basados en umbrales para la seguridad y sostenibilidad* espaciales (11 de abril de 2022), en 39, <https://www.espi.or.at/reports/space-environment-capacity/>.

<sup>8</sup> Comisión Europea, Comunicación Conjunta al Parlamento Europeo y al Consejo: Un enfoque de la UE para la gestión del tráfico espacial; una contribución de la UE para abordar un desafío global (JOIN (2022) 4 final), en 1, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022JC0004&from=EN>.

“[Se necesitan urgentemente cambios nacionales e internacionales significativos en el uso del espacio cercano para preservar el acceso y la utilidad futura de los valiosos recursos naturales del espacio y de nuestros cielos compartidos”.<sup>9</sup>

Estos expertos están hablando de (i) la pérdida de acceso seguro a la órbita LEO, (ii) la monopolización de recursos orbitales por parte de algunos actores, (iii) el daño al cielo nocturno, la atmósfera de la Tierra y el medio ambiente humano, y (iv) la amenaza resultante para el funcionamiento continuo, seguro y fiable, y la futura implementación innovadora de sistemas espaciales en todo el mundo. Esto incluye sistemas espaciales en los que confían por igual los consumidores, empresas comerciales, la investigación científica y la defensa, incluidos aquellos que proporcionan comunicaciones vitales, posicionamiento, navegación, sincronización (PNT) y datos y servicios de observación de la Tierra.

Las preocupaciones de estas voces líderes reflejan la realidad de que existen límites sobre los tipos y cantidad de satélites que pueden ocupar la órbita LEO de forma sostenible.

La reciente población sin precedentes de la órbita LEO está provocando congestión que aumenta significativamente el riesgo de colisiones, lo que puede tener un amplio y duradero impacto en el acceso al espacio por parte de todos, incluso en órbitas muy por encima y por debajo de los puntos de colisión. Cabe destacar que el riesgo de colisión es creado por más que tan solo los satélites que no son maniobrables. Es un riesgo agregado que se escala con el tamaño de la constelación, y está impulsado por factores como (i) la masa y el área transversal de los satélites en el sistema (considerando los efectos de los cambios en el diseño inicial y a lo largo del tiempo), y (ii) el número esperado de conjunciones (*es decir*, “llamadas cercanas”) con satélites en funcionamiento, satélites por desorbitar, y otros residuos orbitales durante la vida orbital de cada satélite del sistema, y en cada órbita que ocupan, desde el lanzamiento hasta la reentrada en la atmósfera de la Tierra.

Cabe destacar que el número de objetos de residuos espaciales rastreables y no rastreables es grande y sigue creciendo. También lo hace el número de eventos de conjunción previstos. Esto significa que incluso un evento de baja probabilidad puede ser probable que ocurra cuando se evalúa la totalidad de un sistema de órbita LEO, y el agregado de todos los objetos espaciales que encuentra durante la vida útil de ese sistema LEO.

Esta creciente congestión también afecta las órbitas LEO que pueden ser utilizadas por otras naciones para operar sus satélites y los términos bajo los cuales se pueden compartir esas órbitas.

Cuando el coste de acceder al espacio era elevado, el interés propio motivaba estándares de atención rigurosos debido al coste proporcional del fracaso. El término “calificado para el espacio” alguna vez significó los más altos estándares de calidad y confiabilidad de la industria, incluso en las duras condiciones del espacio. Esos altos costes y riesgos una vez fomentaron un ecosistema seguro, porque el número de objetos en el espacio era limitado y las herramientas para gestionarlos eran adecuadas.

---

<sup>9</sup> J. C. Barentine, et al., Reimagining Near-Earth Space Policy in a Post-COVID World, Virginia Policy Review, Vol. XV, número 1 (primavera de 2022), en 59, [https://issuu.com/virginiapolicyreview/docs/virginia\\_policy\\_review\\_volume\\_xv\\_issue\\_i](https://issuu.com/virginiapolicyreview/docs/virginia_policy_review_volume_xv_issue_i).

Con barreras económicas superadas, el interés propio y el bien público están divergiendo rápidamente. Como ha reconocido la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos (FCC), el nuevo enfoque adoptado por algunos operadores tiene el potencial de crear externalidades negativas significativas, porque los costos de las operaciones insostenibles e inseguras de un operador no son asumidos en su totalidad, ni si quiera en su mayor parte, por ese operador.<sup>10</sup> En su lugar, esos costes son asumidos por todos los que utilizan o se benefician del uso del espacio. En consecuencia, se incentiva a ciertos operadores individuales a priorizar sus propios intereses a corto plazo por encima de los intereses a largo plazo en el uso del espacio por parte de todos<sup>11</sup>: una verdadera tragedia de los bienes Comunes.

Dados los potentes incentivos económicos, simplemente no podemos confiar en las “mejores prácticas” o directrices (ya sean creadas a nivel nacional o internacional) para producir los resultados correctos, es decir, sostenibles, seguros y responsables.

Como enfatizan algunos líderes expertos y una institución legal prominente, (i) necesitamos tomar medidas preventivas ahora a nivel nacional porque simplemente no *alcanzaremos el consenso internacional a corto plazo*,<sup>12</sup> y (ii) es fundamental abordar los posibles daños nacionales en la etapa de licenciamiento o acceso al mercado, porque son “una de las decisiones muy particulares, si no la única, adoptadas por [una nación] que condiciona la prestación de servicios [satélites]” en su territorio.<sup>13</sup>

A menos que los reguladores hagan responsables a los operadores de operar de manera segura y sostenible, corremos un grave riesgo de llegar pronto a un punto de inflexión que deje a la órbita LEO inutilizable durante décadas, o incluso siglos. Las organizaciones internacionales están empezando a tomar nota, pero se está haciendo muy poco. Mientras

---

<sup>10</sup> Véase, por ejemplo, *Mitigación de residuos orbitales en la nueva era espacial*, Notificación de reglamentación propuesta y Orden de reconsideración, 33 FCC Rcd 11352 (2018), en ¶ 89, <https://www.fcc.gov/document/fcc-launches-review-rules-mitigate-orbital-space-debris-0> (“La generación de residuos por actividades en órbita es una externalidad negativa, y es una que podría conducir a la degradación de los comunes del entorno orbital de la Tierra”).

<sup>11</sup> *Id.* (“Aunque el problema de los residuos es una consideración significativa para el uso a largo plazo de los recursos orbitales, dichas consideraciones pueden no desempeñar un papel significativo en la toma de decisiones económicas a corto plazo. Los operadores satelitales individuales pueden tener interés en preservar el entorno orbital terrestre para sus operaciones continuas, pero el deseo de evitar los costos a corto plazo asociados con la desorbitación de satélites para mitigar el riesgo de residuos podría anular esos intereses a largo plazo. Dados estos incentivos, a largo plazo, es probable que la población de residuos continúe creciendo y podría dar lugar a un aumento exponencial de la población de residuos de modo que el uso de ciertas configuraciones orbitales valiosas ya no sea económicamente viable”).

<sup>12</sup> R. Buchs, *Opciones de política para abordar el riesgo de colisión por residuos espaciales*, Lausana: El Centro Internacional de Gobernanza de Riesgos de EPFL (2021), en ii, <https://infoscience.epfl.ch/record/290171?ln=en> (“Dado que la perspectiva de alcanzar un consenso a corto plazo es muy baja, se aconseja a los gobiernos que tomen medidas unilaterales pero coordinadas mejorando sus normativas nacionales”).

<sup>13</sup> Le Conseil d’État *invalidación del acceso al mercado de Starlink*, conclusiones del ponente, Caso n.o 455321, 5 de abril de 2022 (Francia).

tanto, un pequeño número de actores compiten para llenar el cielo y monopolizar órbitas valiosas.

La clave para evitar catástrofes es reducir el riesgo de colisión desde el principio, requiriendo que los sistemas de órbita LEO operen dentro de perfiles de riesgo razonables. Cada nación que autoriza sistemas ya sea para ocupar la órbita LEO o para tener acceso a sus dominios nacionales en, o por encima de la Tierra, puede definir y aplicar políticas para garantizar que esos sistemas sean seguros. Una mejor conciencia situacional del espacio y la gestión del tráfico espacial son útiles, pero al igual que la aviación en la Tierra, existen límites en la densidad del tráfico espacial que se puede gestionar de forma segura. El problema principal es aglomerar demasiados objetos en regiones espaciales valiosas por tan solo una o dos naciones individuales o actores comerciales.

No es necesario aceptar estos riesgos o consecuencias. Los sistemas innovadores pueden ofrecer un mejor servicio, garantizar la sostenibilidad del espacio y permitir que todas las naciones compitan y ganen su lugar de forma justa en la economía del Nuevo Espacio. Se han desarrollado herramientas analíticas que nos permiten comprender las consecuencias de implementar ciertas constelaciones LEO antes de colocarlas en órbita. Los reguladores nacionales tienen el poder de garantizar que los sistemas que autorizan o permiten servir en sus países no supongan una amenaza para sus propios intereses nacionales, o para la seguridad espacial, y que múltiples actores puedan compartir los recursos orbitales limitados de la órbita LEO de forma equitativa.

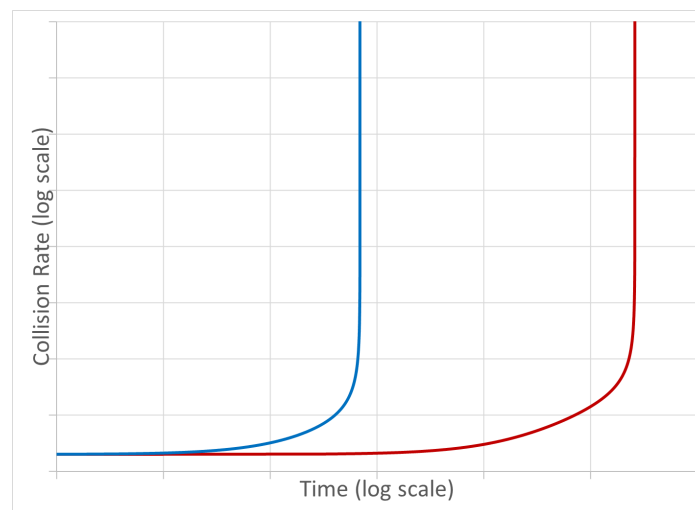
## **I. Riesgo de colisión y síndrome de Kessler**

El rápido ritmo de lanzamientos de satélites destinados a ocupar grandes porciones de órbitas LEO está creando conciencia sobre el síndrome de Kessler. El síndrome de Kessler, presentado por primera vez por Donald J. Kessler de la NASA en 1978, se produce cuando la reacción positiva (*es decir, colisiones en cascada*) conduce a un crecimiento exponencial en la densidad de residuos espaciales. La densidad de residuos aumenta después de cada colisión, lo que aumenta la tasa de colisiones futuras y aumenta aún más la densidad de residuos hasta que la tasa de colisión se vuelve tan alta que impacta a todos los satélites. Como se analiza a continuación, estudios recientes muestran que esto es una amenaza real debido al diseño de ciertas mega-constelaciones de órbita LEO.

La naturaleza insidiosa de la reacción positiva es que podemos llegar a un punto de inflexión donde el síndrome de Kessler se vuelve inevitable sin siquiera darnos cuenta. Si se alcanza un punto de inflexión, toda la humanidad observaría de forma impotente como la basura espacial se multiplica incontrolablemente. Sin una intervención oportuna, nos arriesgamos a poner fin a la era espacial y a atrapar a la humanidad en la Tierra bajo una capa de su propia basura por siglos, o incluso milenios. No solo un fin abrupto de la exploración espacial, sino también la pérdida de todos los beneficios de la tecnología espacial, incluida la navegación, la previsión meteorológica, las mediciones del clima e incluso la banda ancha satelital (el propósito previsto de las mega-constelaciones que se están implementando). Lejos de hacer de la humanidad una especie multiplanetaria, el síndrome de Kessler pondría fin a esa visión.

Por supuesto, aumentar la conciencia sobre estos riesgos es diferente de aumentar el entendimiento que permite una intervención oportuna y adecuada. La combinación de las consecuencias irreversibles del síndrome de Kessler y el ritmo acelerado de lanzamientos de satélites de mega-constelación en la órbita LEO, hace que sea imperativo (como se analiza más adelante), que empleemos un modelo utilizando métricas cuantitativas que nos ayuden a comprender tanto lo cerca (o distante) que estamos de un punto de inflexión, así como lo rápido que nos estamos acercando a él. Esas mismas métricas también pueden ayudarnos a entender cómo mitigar la situación, por ejemplo, aplicando requisitos adecuados de seguridad y sostenibilidad del espacio a una constelación de órbita LEO antes de que se autorice el prestar servicios sobre un territorio.

Se puede modelar el síndrome de Kessler para que se produzca cuando el número de objetos en el espacio crezca sin límites, o equivalentemente, cuando la tasa de colisión se vuelve infinita (Figura 1). Al observar la tasa de colisión, y sus derivados con respecto a los factores contribuyentes, nos indica qué factores debemos ajustar para evitar catástrofes, o al menos retrasarlas (al cambiar la curva sustancialmente a la derecha).



*Figura 1. Gráfico Log-Log de la tasa de colisión frente al tiempo (dos curvas con diferentes puntos de inclinación)*

De hecho, solo a través de las mediciones cuantitativas habilitadas por este modelo predictivo podemos esperar comprender qué pasos son necesarios para garantizar que podamos maximizar el uso de recursos orbitales limitados y compartidos, al tiempo que creamos un entorno operativo seguro y sostenible del que las generaciones futuras puedan beneficiarse.

***Hasta que sepamos dónde nos encontramos, nos arriesgamos a tratar los síntomas del problema y a no abordar la causa raíz, especialmente si nos centramos en asuntos como la gestión del tráfico espacial (STM), la conciencia situacional espacial (SSA) y la eliminación de grandes residuos (como cuerpos de cohetes) fuera del contexto de un modelo predictivo útil.***

## II. Evaluación del riesgo de colisión

Los riesgos de colisión en la órbita LEO se analizan adecuadamente a lo largo de ciclos orbitales de vida. Los sistemas grandes se implementan gradualmente y los satélites se reponen a medida que fallan, alcanzan el final de su vida útil y se reemplazan por modelos más capaces. Se puede suponer razonablemente que esta reposición continuará hasta que el sistema ya no sea económicamente viable. El resultado es un proceso continuo de elevación y puesta en fase de la órbita, y una combinación de desorbitación activa y pasiva. Además, se pueden esperar cambios en el entorno operativo a lo largo de la vida útil de un sistema que aumenten el riesgo de colisión, a medida que se lanzan más satélites en la órbita LEO, que se propagan los residuos existentes y que los satélites fallan o explotan.

Como muestran los datos resaltados en la Tabla 1, los operadores de seis grandes constelaciones de órbita LEO recibirán individualmente casi de 1 millón a más de 10 millones de advertencias de conjunción espacial (encuentros) al año, lo que requiere de casi 100 000 a más de 1,2 millones de maniobras al año para intentar evitar un total de 695 colisiones durante 15 años, que de otro modo se esperarían que ocurrieran.<sup>14</sup> A medida que mejore el rendimiento de los sistemas de vigilancia espacial, el número de objetos rastreados aumentará drásticamente hasta alrededor de los 200 000 (desde los 24 243 actuales) conforme el tamaño rastreable disminuya de 10 cm a 2 cm, aumentando el promedio de encuentros en la Tabla 1 en un factor de 8 a 12.<sup>15</sup> A pesar de permitir que se esquiven más objetos, este desarrollo aumentaría la carga sobre los sistemas de STM en un orden de gran magnitud, aumentando las probabilidades de que un error humano, de software o de máquina tenga consecuencias catastróficas.

---

<sup>14</sup> SpaceX, como operador de sus constelaciones Gen1 y Gen2 Starlink, recibiría casi 11 millones de advertencias al año (o un promedio de una cada 3 segundos), lo que requeriría más de 1,2 millones de maniobras al año (o un promedio de una cada 26 segundos) para evitar un promedio de 30 colisiones al año.

<sup>15</sup> D. L. Oltrogge, Keeping Space Sustainable for Current and Future Generations, Space Generation Advisory Council (SGAC) Conference, París, Francia (15 de septiembre de 2022), en 31, <https://comspoc.com/Resources/Content/>.

Constelación	Altitud (km)	Inc. (°)	#Satellites	Encuentros promedio a lo largo de 15 años		
				Advertencias	Maniobras	Colisiones
Amazon Kuiper	590 - 630	33 - 51.9	3,236	8,500,000	945,000	24
Ciencia AST	700	98	243	1,460,000	163,000	4
Astra	380 - 700	0 - 98	13,620	24,154,000	2,685,900	67
Espacio Galaxy	500	63.5	1,000	4,430,000	493,000	12
Guangwang	508 - 1145	30 - 85	12,992	31,915,000	3,546,000	89
Hughes HVNET	1150	55	1,440	986,000	110,000	3
Iridium	778	86.4	75	725,000	80,400	2
Lynk	500	97.5	2,000	15,500,000	1,730,000	43
OneWeb	1200	55 - 87.9	716	2,168,000	241,100	6
OneWeb Gen2	1200	40 - 87.9	6,372	14,270,000	1,576,000	39
Sfera	870	98	640	4,860,000	540,000	14
SpaceX Gen1	540 - 570	53 - 97.6	4,408	75,420,000	8,366,000	209
SpaceX Gen2	340 - 614	33 - 148	29,988	86,314,000	9,914,600	248
SpaceX VLEO	335 - 346	42 - 53	7,518	7,760,000	861,000	22
GIRAR	830	55	1,190	7,090,000	788,000	20
Telesat Gen2	1015 - 1329	50 - 99	1,671	1,380,000	153,800	4
Telesat Gen1	1015 - 1329	50 - 99	298	288,500	32,070	1

Tabla 1. Número medio de encuentros a lo largo de 15 años (Catálogo actual de 24.243 objetos)<sup>16</sup>

Cada vez que un operador no maniobra un satélite en respuesta a una advertencia de conjunción de baja probabilidad, existe un riesgo de colisión distinto de cero. Además, cada vez que un operador realiza una maniobra, existe otra probabilidad distinta de cero de que la maniobra provoque una colisión. En ambos casos, con millones de advertencias conjuntas cada año, incluso los eventos extremadamente raros (“six sigma”) pueden llegar a ser probables.

Los satélites que no pueden maniobrar no pueden evitar colisiones. Esto, independientemente de si la colisión es con otros satélites no maniobrables del mismo sistema LEO, con satélites inactivos de un tercero, o con residuos orbitales de cualquier forma o tamaño.

La pérdida de maniobrabilidad puede deberse a fallos de subsistemas del satélite en la cadena de maniobra (*p. ej.*, propulsión, comando) o a colisiones que deshabilitan estos subsistemas. Los riesgos de fallo pueden mitigarse con redundancia de subsistemas, componentes calificados para el espacio y pruebas previas al lanzamiento. Pero no todos estos riesgos pueden mitigarse. Por lo general, se reconoce que el blindaje no es un medio viable de proteger los satélites comerciales contra las consecuencias de las colisiones con el

<sup>16</sup> Generado con la herramienta de evaluación del número de encuentros (NEAT) de COMSPOC, <https://comspoc.com/neat/>, el 15 de octubre de 2022 con parámetros de constelación del Dr. Jonathan McDowell's Space Pages, <https://planet4589.org/space/stats/conlist.html>, consultado el 15 de octubre de 2022. El análisis de la NEAT es conservador, ya que evalúa solo los encuentros con objetos espaciales rastreables existentes; no tiene en cuenta (i) los encuentros con residuos letales no rastreables (*es decir*, menores de 10 cm, como se describe a continuación), (ii) las consecuencias de las colisiones, incluido el aumento y la propagación de nuevos fragmentos de residuos causados por colisiones, o (iii) la introducción de constelaciones satélite adicionales.

1 000 000 (y contando) de residuos estimados de entre 1 cm y 10 cm que es poco probable que se rastreen,<sup>17</sup> por lo que no se pueden evitar, y que pueden hacer que los satélites no sean maniobrables o incluso destruirlos, fragmentándolos en miles de piezas. Los riesgos de colisión con objetos más pequeños (<1 cm) se pueden mitigar con un diseño adecuado que incorpora redundancia y blindaje de subsistemas.

Los 19 400 objetos de residuos que las redes<sup>18</sup> de vigilancia espacial rastrean regularmente representan solo un *pequeño* porcentaje de todos los objetos de residuos. El número total de objetos residuales estimados por modelos estadísticos y su efecto potencial en los satélites con los que colisionan se muestra en la Tabla 2.<sup>19</sup>

Tamaño del objeto de residuos	Número en órbita	Efecto de la colisión en el satélite activo
>10 cm	36,500	Catastrófico
De 1 cm a 10 cm	1,000,000	Puede ser catastrófico o hacer que no sea maniobrable
De 1 mm a 1 cm	130 millones	Puede hacer que no sea manejable

*Tabla 2. Efectos de colisiones satélite con residuos*

El entorno de residuos evoluciona naturalmente con el tiempo a medida que los objetos se deterioran, los satélites activos se vuelven no maniobrables (pasivos) y los nuevos objetos se crean mediante colisiones entre objetos de residuos. Las colisiones de satélites con objetos grandes suelen ser catastróficas, fragmentando los objetos y provocando un aumento gradual de la población de residuos; consulte la Figura 2. Además, las etapas superiores y los proveedores asociados con los lanzamientos iniciales y de reposición se suman a la población de residuos.

<sup>17</sup> Agencia Espacial Europea, “Estadísticas del entorno espacial: Space Debris by the Numbers”, última actualización: 11 de agosto de 2022), <https://sdup.esoc.esa.int/discosweb/statistics/>.

<sup>18</sup> Visite [Space-Track.Org](https://space-track.org).

<sup>19</sup> *Id.*



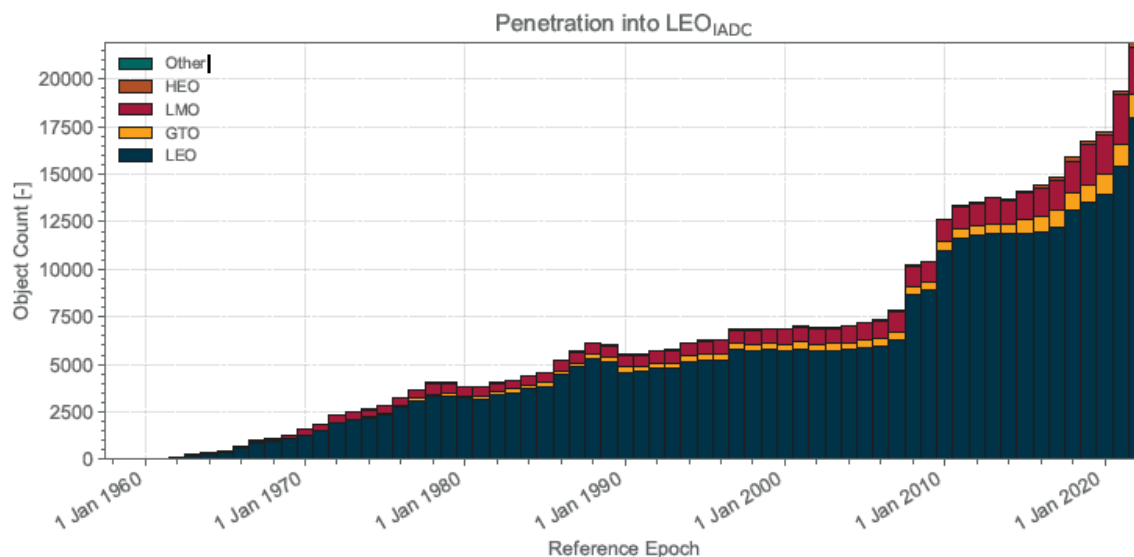


Figura 2. Crecimiento continuo del entorno de residuos<sup>20</sup>

La mitigación de los riesgos de fallos con redundancia de subsistemas y la protección para mitigar los daños por colisiones con objetos pequeños son importantes, pero quizás más impactante es la mitigación operativa: Por ejemplo, desorbitar satélites cuando los modelos de fiabilidad no pueden predecir con precisión cuándo puede fallar la cadena de maniobra e iniciar la desorbitación inmediatamente después del fallo (N – 1)<sup>ésimo</sup> con redundancia N<sup>ésima</sup>.

### III. Consecuencias de la colisión

Incluso con toda la mitigación razonable, la realidad de las mega-constelaciones LEO es que la probabilidad de que ocurran colisiones catastróficas aumentará. Una pregunta importante de parteaguas se convierte entonces en: ¿Cuáles son las consecuencias esperadas de estas colisiones?

#### a. La naturaleza de los residuos creados por colisiones

Como demostró una colisión en la órbita LEO hace más de 13 años, solo dos satélites que colisionan pueden crear nubes de residuos que consisten en muchos miles de fragmentos que se propagan en órbitas por encima y por debajo del punto de impacto, y que persisten durante décadas. Más específicamente, el 10 de febrero de 2009, se produjo la primera colisión que involucraba a dos satélites en órbita. El satélite activo Iridium 33 de 689 kg chocó con el satélite pasivo COSMOS 2251 de 900 kg aproximadamente a 800 km por encima de Siberia y produjo aproximadamente 2000 piezas de residuos letales rastreables (>10 cm)<sup>21</sup>, y muchas veces ese número de piezas de objetos de residuos letales no

<sup>20</sup> Informe anual del entorno espacial de la ESA (2022), en 21, [https://www.sdo.esoc.esa.int/environment\\_report/Space\\_Environment\\_Report\\_latest.pdf](https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf).

<sup>21</sup> Los fragmentos de más de 10 cm suelen ser observables por radares y telescopios terrestres, por lo que se pueden rastrear. También son lo suficientemente grandes como para fragmentar cualquier satélite con el que colisionen. Estos son los fragmentos letales rastreables.

rastreables (LNT) más pequeños,<sup>22</sup> tienen suficiente masa (dada la velocidad de impacto de las colisiones de la órbita LEO) para fragmentar cualquier satélite con el que colisionen. Trece años más tarde, la consecuencia restante de esa colisión es 1342 objetos de residuos rastreables con apogeos de hasta 1650 km, distribuidos por la órbita LEO, como se muestra en la Figura 3, más un número mucho mayor de objetos de residuos LNT.

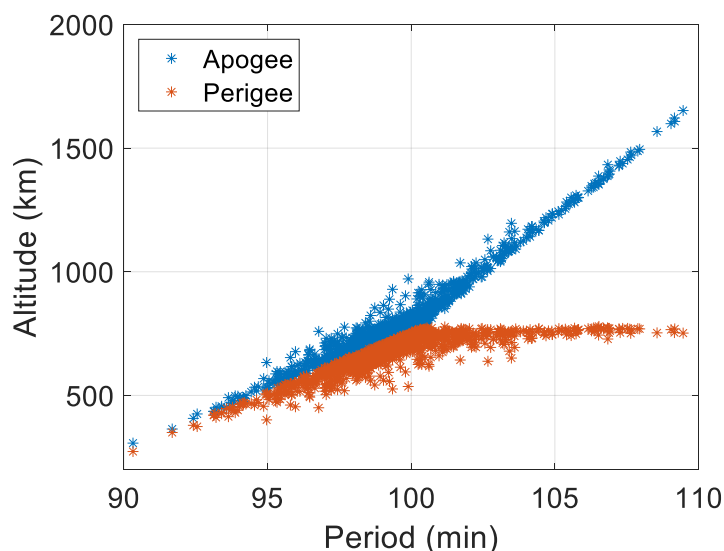


Figura 3. Distribución de residuos letales del espacio rastreable desde la colisión Iridium-33/Cosmos-2251

Se ha prestado atención a las consecuencias a corto y largo plazo de una prueba anti-satélites (ASAT) exitosa que tuvo lugar en noviembre de 2021 con el satélite COSMOS 1408. Como se muestra en las Figuras 4 y 5, se puede esperar un resultado similar cuando dos satélites LEO colisionan catastróficamente.<sup>23</sup> Ambos tipos de acontecimientos generan un gran número de residuos letales *rastreables* (Figura 4) e incluso un mayor número de residuos de LNT (Figura 5).

<sup>22</sup> B. Weeden, “Hoja informativa sobre colisión entre el Iridium y el Cosmos 2009”, Secure World Foundation, actualizada el 10 de noviembre de 2010, [https://swfound.org/media/6575/swf\\_iridium\\_cosmos\\_collision\\_fact\\_sheet\\_updated\\_2012.pdf](https://swfound.org/media/6575/swf_iridium_cosmos_collision_fact_sheet_updated_2012.pdf).

<sup>23</sup> Consulte las colisiones por satélite que tienen las mismas consecuencias que las pruebas ASAT (noviembre de 2021), <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

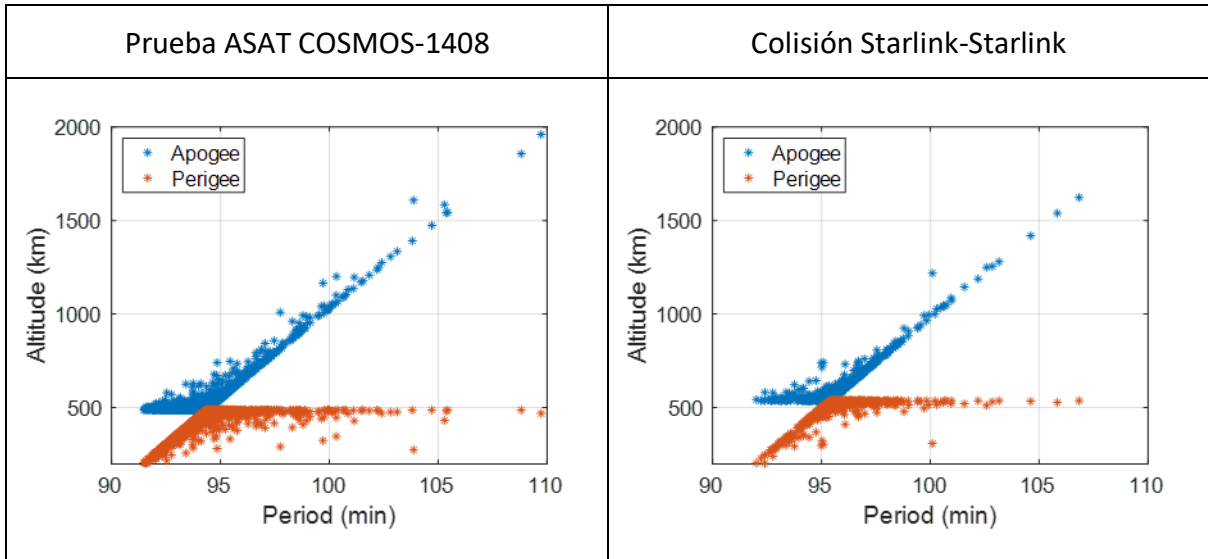


Figura 4. Fragmentos letales rastreables modelados de la prueba ASAT COSMOS-1408 (1514 fragmentos LT) y Starlink-Starlink Collision (531 fragmentos LT)

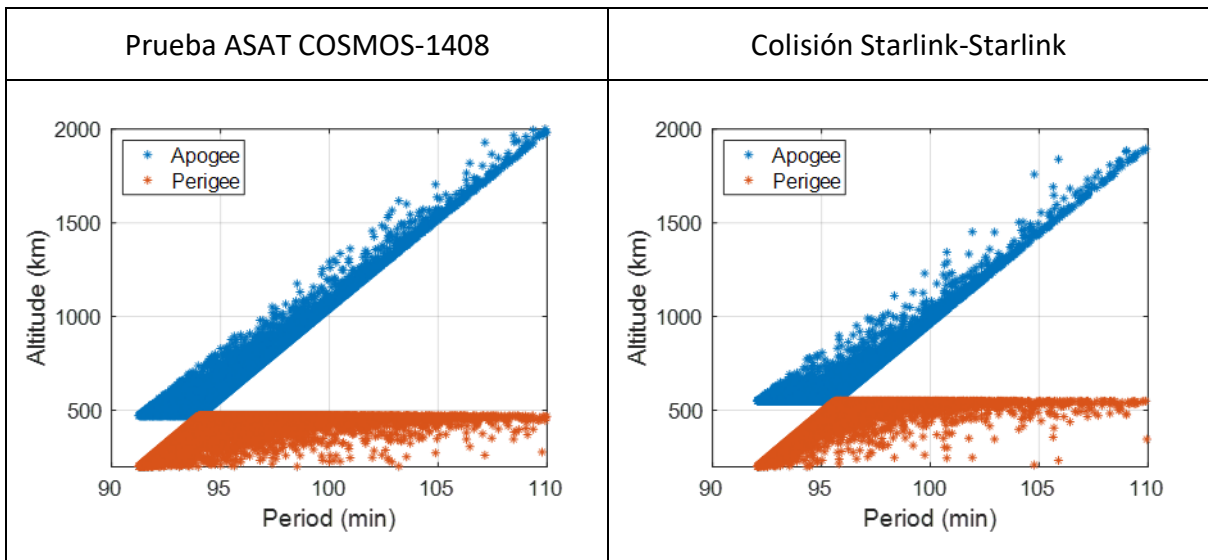


Figura 5. Fragmentos LNT modelados de la prueba ASAT COSMOS-1408 (77.706 fragmentos LNT) y Starlink-Starlink Collision (26.968 fragmentos LNT)<sup>24</sup>

Los campos de residuos de gran cantidad de fragmentos letales rastreables y un número aún mayor de fragmentos LNT son características tanto de colisiones satelitales accidentales como de pruebas ASAT exitosas. El número exacto de fragmentos varía con varios factores,

<sup>24</sup> Los Starlinks se utilizan con fines ilustrativos, ya que son los satélites de constelación LEO más numerosos con alrededor de 3300 en órbita, y una licencia de 15 años de la FCC para mantener 4408 satélites operativos más un número adicional ilimitado que podría estar siendo sometido a elevación o desorbitación en un momento dado. Muy simple, dados los números, si un satélite colisionara con un objeto de escombros letales, sería más probable que no sea un Starlink. La versión de 260 kg del diseño Starlink se utiliza en esta ilustración. El número previsto de fragmentos sería cinco veces mayor con la propuesta de la versión de 2000 kg.

incluidas las masas de objetos. Con todos los factores idénticos, las consecuencias de las colisiones satelitales y las pruebas ASAT exitosas son indistinguibles, lo que supone una amenaza para los satélites LEO, la Estación Espacial Internacional (ISS) y otros sistemas espaciales durante décadas, o incluso siglos.

Estas observaciones son especialmente notables porque (i) los LNT aumentan el riesgo de colisiones de naves espaciales (y de accidentes humanos en el espacio), (ii) no se pueden ver los LNT y, por lo tanto, no se pueden evitar, (iii) los riesgos que los LNT crean no pueden mitigarse hoy, (iv) la cantidad de LNT ya eclipsa todas las demás formas de residuos, (v) los LNT probablemente sean la categoría de residuos de más rápido crecimiento, (vi) los LNT tienen una amplia gama de impactos en satélites activos, y (vii) los LNT son los más peligrosos en la categoría de más rápido crecimiento de pequeños satélites LEO. De hecho, los expertos explican que los LNT “dominan el perfil de riesgo de una nave espacial operativa”.<sup>25</sup>

### ***b. La persistencia y las consecuencias de los residuos creados por colisiones***

Un estudio titulado “Consecuencias de las colisiones de satélites LEO: los fragmentos”<sup>26</sup> analiza las siguientes preguntas en el contexto de las mega-constelaciones LEO que se proponen e implementan:

- ¿Cuáles son las distribuciones y vidas útiles de las nubes de fragmentos cuando dos grandes satélites de sistemas LEO colisionan catastróficamente?
- ¿Cómo cambian estas distribuciones en función de la masa de los satélites que colisionan?
- ¿Cómo afectarán estas nubes de residuos a la sostenibilidad de la órbita LEO?

Este estudio muestra que incluso las colisiones que se producen por debajo de los 600 km pueden tener consecuencias por décadas en una gran franja de la órbita LEO.<sup>27</sup> Además,

---

<sup>25</sup> Véase generalmente R. Buchs, *Riesgo de colisión por residuos espaciales: Estado actual, desafíos y estrategias de respuesta* (Lausana: EPFL International Risk Governance Center, 2021), en 13, [https://go.epfl.ch/irgc\\_space\\_debris\\_report](https://go.epfl.ch/irgc_space_debris_report) (“Los objetos LNT dominan el perfil de riesgo de las naves espaciales operativas. Dado que son mucho más numerosos que los objetos rastreables y no se pueden evitar, los objetos LNT constituyen más del 95 % de la misión que termina con el riesgo de colisión para un satélite LEO típico[.]”).

<sup>26</sup> M. A. Sturza y G. Saura Carretero, *Consecuencias de las colisiones satelitales LEO – Los fragmentos* (2021), 11.a Conferencia IAASS – Gestión del riesgo en el espacio, <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>. Este estudio utiliza el modelo de descomposición de la NASA y el modelo de descomposición de Blitzer. Para caracterizar las nubes de fragmentos iniciales se utilizan distribuciones de parámetros orbitales y de relación área-masa. Esas distribuciones se propagan con el tiempo utilizando modelos de arrastre para determinar trayectorias y vidas orbitales.

<sup>27</sup> Los tiempos de descomposición pasiva son más largos para los fragmentos que los de los satélites originales debido a las órbitas de los fragmentos y las relaciones área-masa.

este estudio, junto con otros análisis,<sup>28</sup> dejan al descubierto las tergiversaciones recurrentes de que la parte de estas órbitas, entre 500 km y 600 km de altitud, es intrínsecamente de “autolimpieza” y que las colisiones entre satélites maniobrables o no maniobrables (reliquias) en dichas órbitas son, por lo tanto, inconsecuentes. En realidad, las colisiones por satélite LEO a estas altitudes tienen consecuencias que persisten durante décadas debido al tiempo que tardan los fragmentos de esas colisiones en descomponerse, como se muestra en la Figura 6.

La Figura 6 muestra los tiempos de desintegración para varias fracciones de los fragmentos letales rastreables y los LNT de una colisión catastrófica para cada una de las órbitas actuales de Starlink.<sup>29</sup> Las curvas muestran el tiempo necesario para que el 90 %, 99 % y 99,9 % de los fragmentos se “limpien”. Las colisiones en estas órbitas tienen consecuencias durante décadas.

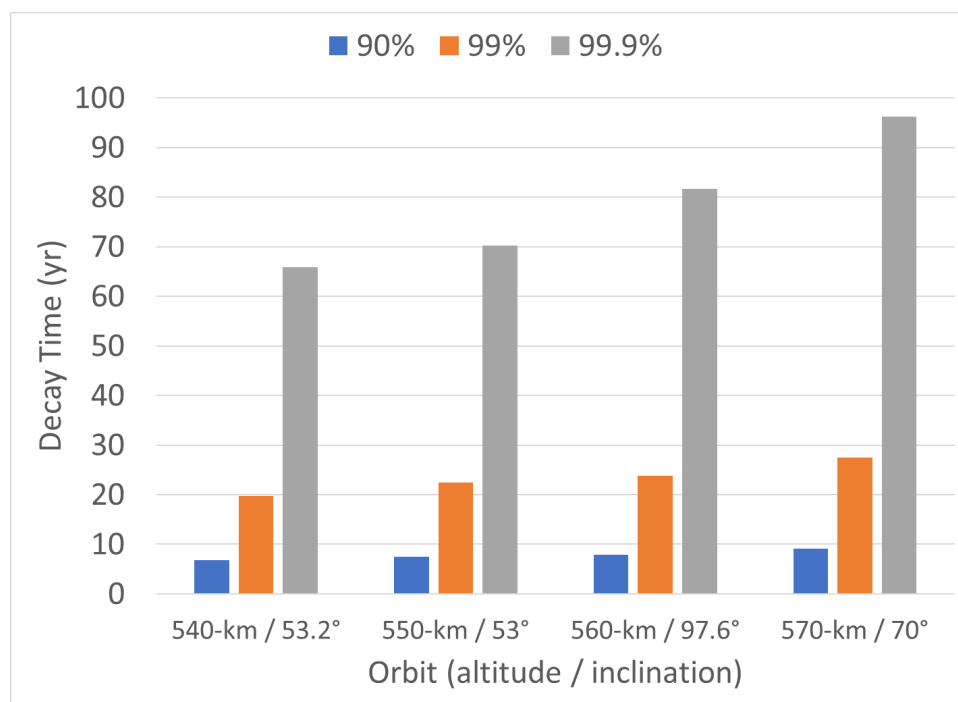


Figura 6. Tiempo de descomposición para varias fracciones de residuos frente a órbita

El estudio “Consecuencias de las colisiones satelitales LEO” también muestra que las consecuencias de las colisiones disminuyen drásticamente con la masa de los satélites involucrados. Es decir, las colisiones entre satélites más pequeños, como CubeSats de 25 kg, tienen una consecuencia significativamente menor que las colisiones entre dos satélites más grandes (p.ej., 250 kg), hay menos fragmentos letales. Las colisiones en órbitas inferiores también tienen menos consecuencias: los fragmentos se descomponen antes. Ambos factores pueden contribuir a una sostenibilidad de la órbita LEO más sólida. Por lo tanto, las

<sup>28</sup> Consulte Mito de la órbita autolimpiante, <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris/>.

<sup>29</sup> Actualmente, SpaceX cuenta con la licencia de la FCC de EE. UU. para operar con altitudes nominales de 540, 550, 560 y 570 km, y tolerancias que permiten que las órbitas varíen hasta +/- 30 km de altitud.

colisiones entre dos CubeSats de 25 kg son mucho menos preocupantes que las que se producen entre dos satélites de 250 kg.

Desafortunadamente, las naves espaciales LEO son cada vez más grandes y más masivas, con implicaciones significativas para los riesgos de seguridad y sostenibilidad del espacio que plantean los satélites individuales, incluso cuando se ven de forma aislada (*p. ej., riesgos de colisión por satélite*), debido al mayor riesgo de colisión asociado con una mayor área transversal, y los campos de residuos resultantes más grandes cuando estos satélites colisionan con otros objetos espaciales.

El drástico aumento de la masa del satélite y el área transversal en los diseños de satélites LEO se ilustra en la Figura 7. Como se analiza a continuación, esta tendencia tiene graves repercusiones para otras personas que buscan acceder y utilizar el espacio.

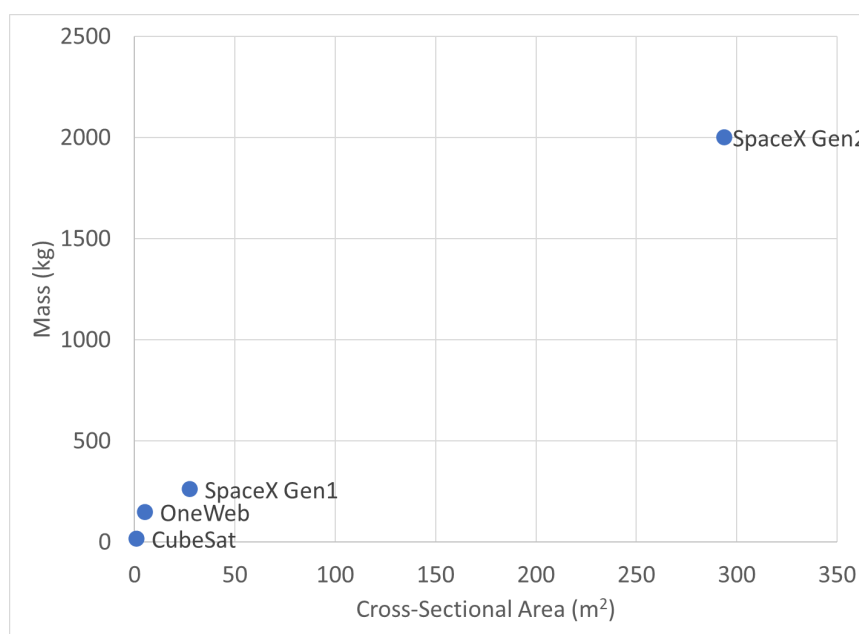


Figura 7. Tendencias en la masa estimada de la nave espacial LEO y área transversal

#### IV. Límites de modelado que existen con el uso de la órbita LEO

Otros estudios recientes indican que existen límites sobre lo que puede ocupar la órbita LEO de forma sostenible, y que esos límites dependen de las características específicas de cada sistema LEO y del impacto de un entorno de residuos espaciales que empeora constantemente, incluido el impacto de la gran y creciente cantidad de residuos espaciales. En particular, las características de los satélites LEO (incluida la masa y el área transversal) son un factor significativo en la evaluación: (i) el riesgo de colisión, (ii) cuántos residuos adicionales pueden crear colisiones, incluida la letalidad y dispersión de esos residuos, y (iii) las condiciones y desencadenantes que conducen a un síndrome de Kessler.

Un estudio inicial encargado por la Fundación Nacional de Ciencias de los EE. UU. (NSF) indica que puede que no sea factible mantener incluso uno de los sistemas LEO ya propuestos y que actualmente se está lanzando, y que las mega-constelaciones individuales pueden consumir la totalidad o la mayoría de los “recursos” orbitales LEO limitados que deben compartirse en todas las naciones a nivel mundial. Ese estudio predice las

consecuencias de implementar completamente un sistema LEO individual que ha comenzado la implementación y que, en última instancia, busca consistir en más de 40 000 satélites a altitudes en el vecindario de 600 kilómetros. El estudio prevé un aumento drástico tanto en las colisiones espaciales como en los nuevos escombros, empezando en solo unos años. A largo plazo, el estudio NSF predice que “los satélites se destruyen [por colisiones con residuos] más rápido de lo que se lanzan”.<sup>30</sup>

Otro estudio concluyó que “se espera que el síndrome de Kessler se produzca en la órbita baja alrededor de 2048 según las recientes tendencias históricas de crecimiento sectorial, y puede ocurrir ya en 2035 si la economía espacial crece de forma coherente con las proyecciones de los principales bancos de inversión”.<sup>31</sup>

Los conceptos analíticos empleados en el estudio de la FSN se han mejorado en otro estudio utilizando modelos y simulaciones aún más detallados para explorar más a fondo las secuencias de eventos que conducen a un síndrome de Kessler en función de los parámetros clave de las grandes constelaciones LEO (el número de satélites, el área y la masa de la sección transversal del satélite y la densidad de esos objetos en órbitas específicas).<sup>32</sup>

Ese estudio, titulado “Design Trades for Environmentally Broadband LEO Satellite Systems”, demuestra las restricciones reales que existen en el uso de la órbita LEO. En concreto, la órbita LEO tiene una capacidad orbital limitada (número y tipo de satélites que se pueden implementar de forma sostenible), y existe un punto de inflexión en el que ya no sería posible evitar un síndrome de Kessler al dejar de lanzarse.

Ese estudio comercial de diseño también muestra que las grandes constelaciones LEO de satélites pequeños (<25 kg) son significativamente más seguras de implementar que las constelaciones de satélites más grandes. *Esta observación sobre el impacto del tamaño del satélite en la seguridad general es extremadamente importante para permitir que la capacidad orbital limitada de la órbita LEO sea compartida de manera sostenible por todas las naciones, a nivel mundial.*

Es crucial destacar que ese estudio ilustra que es probable que se alcance un punto de inflexión antes de que las herramientas de medición y observaciones existentes puedan detectar que una catástrofe es inminente.

---

<sup>30</sup> G. Long, The Impacts of Large Constellations of Satellites, JASON – The MITRE Corporation, JSR-20-2H , noviembre de 2020, (Actualizado: 21 de enero de 2021), en 97, [https://www.nsf.gov/news/special\\_reports/jasonreportconstellations/JSR-20-2H\\_The\\_Impacts\\_of\\_Large\\_Constellations\\_of\\_Satellites\\_508.pdf](https://www.nsf.gov/news/special_reports/jasonreportconstellations/JSR-20-2H_The_Impacts_of_Large_Constellations_of_Satellites_508.pdf).

<sup>31</sup> A. Rao y G. Rondina, Acceso abierto a crecimiento de residuos espaciales en órbita y embalamiento, arXiv:2202.07442 [econ.GN] (16 de febrero de 2022), en 1, <https://arxiv.org/pdf/2202.07442.pdf>.

<sup>32</sup> M. A. Sturza y G. Saura Carretero, Design Trades for Environmentally Broadband LEO Satellite Systems (2021), Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference (AMOS) 2021, <https://amostech.com/TechnicalPapers/2021/Poster/Sturza.pdf>.

Se han desarrollado modelos adicionales, utilizando herramientas de medición empíricas y análisis cuantitativos, para ayudarnos a comprender los límites de la explotación espacial de órbita LEO y cómo podemos operar mejor dentro de esos límites.

Un estudio de investigación titulado “Modelado de capacidad LEO para diseño sostenible”<sup>33</sup> estima la “capacidad de transporte” de la órbita LEO, es decir, la distribución sostenible de la población de satélites en la órbita LEO. Estima la propagación futura de residuos, teniendo en cuenta tanto los residuos existentes como la probabilidad de que los objetos que no son residuos se conviertan en residuos dentro de un horizonte temporal determinado. También tiene en cuenta el rendimiento de varias posibles mitigaciones.<sup>34</sup> Esta metodología permite comparar holísticamente las contribuciones a la propagación de residuos en función de características específicas del sistema y deducir el impacto incremental de los sistemas y características individuales en la capacidad de transporte de la órbita LEO.

Este estudio de investigación arroja una serie de resultados significativos: (i) las configuraciones de segunda generación propuestas de dos mega-constelaciones particulares consumirían toda, o casi toda, la capacidad de transporte en órbitas vecinas a las ocupadas por esas constelaciones, (ii) satélites menos masivos y un área transversal más pequeña facilitan una mayor capacidad de transporte, y (iii) la eliminación de la población existente de cuerpos de cohetes en desuso no da lugar a un aumento sustancial de la capacidad de transporte de la órbita LEO.

Estos resultados destacan la necesidad de facilitar el uso sostenible de la órbita LEO mediante: (i) la aplicación del control de admisión orbital y los requisitos mínimos de fiabilidad satelital a través de las condiciones de licencia y acceso al mercado que limitan el número de satélites, masas y áreas transversales de órbita LEO lanzados en varias órbitas, y garantizan una cierta y probable eliminación posterior a la misión; y (ii) el desarrollo de regímenes orbitales adecuados para admitir diferentes tipos de sistemas LEO. Por ejemplo, (a) las altitudes inferiores a 400 km pueden ser adecuadas para satélites no propulsivos; (b) las altitudes en el rango de 400 km a 600 km pueden ser adecuadas para mega-constelaciones (siempre que se gestione el número de satélites, masa y área de sección transversal lanzada); y (c) las constelaciones más pequeñas superiores a 600 km probablemente sean sostenibles en dependencia de la masa y el área de sección transversal.

Significativamente, el modelo subyacente a este estudio de investigación es útil para: (i) ayudar en el diseño de sistemas LEO de banda ancha sostenibles, (ii) evaluar el impacto de

---

<sup>33</sup> M. Sturza, M. Dankberg, W. Blount, LEO Capacity Modeling for Sustainable Design, Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, 27-30 de septiembre de 2022, <https://amostech.com/TechnicalPapers/2022/Space-Debris/Sturza.pdf>.

<sup>34</sup> Más concretamente, este modelo incluye una cuantificación de: (i) razonable, estimaciones de intentos de mitigación infructuosos entre objetos espaciales maniobrables, (ii) colisiones con residuos rastreables y no rastreables y los efectos de esas colisiones, (iii) dispersión de residuos de colisiones y los efectos de esa densidad de flujo de residuos en constante evolución, (iv) incertidumbre en la medición (conciencia situacional del espacio), incluidos los objetos y residuos que de otro modo se considerarían “seguibles”, y (v) crecimiento de residuos y densidad de flujo de residuos en regiones orbitales críticas, como, por ejemplo, entre otros, colisiones entre objetos incontrolables/no maniobrables, incluidos residuos sobre residuos (seguibles o no), residuos en objetos espaciales no maniobrables, y objetos espaciales no maniobrables que interactúan entre sí.



los sistemas LEO existentes y planificados, y (iii) comprender las implicaciones de múltiples constelaciones LEO grandes que ocupan órbitas vecinas, entrelazadas o superpuestas.

Además, el uso de dicho modelo puede facilitar el:

- Medir cuantitativamente la eficacia absoluta y relativa de las normativas y políticas propuestas que rigen el acceso y las operaciones espaciales;
- Determinar la eficacia de las correcciones y mitigaciones, como formas específicas de estrategias de eliminación de residuos, nuevos requisitos de eliminación después de la misión y mejoras previstas en la vigilancia y seguimiento espaciales (SST), la conciencia situacional espacial (SSA) y la gestión del tráfico espacial (STM);
- Considerar las interacciones entre todas las misiones y constelaciones, en lugar de simplemente abordar cada una individualmente y en ausencia de todas las demás y basándose en modelos de flujo de residuos pasados o actuales, y considerar el flujo de residuos que existirá durante la vida útil de todas esas constelaciones;
- Determinar la sensibilidad del entorno espacial LEO a eventos imprevistos que de otro modo podrían precipitar colisiones en cascada, como los efectos de las sobretensiones en las emisiones solares que llegan a la tierra, la fragmentación imprevista de satélites en órbitas congestionadas o incluso ataques cinéticos deliberados; y
- Fomentar la identificación de las características de diseño cuantitativo del sistema que ralentizan, detienen o invierten la aceleración hacia un punto en el tiempo cuando el acceso al espacio se ve afectado o incluso perdido de forma intolerable.

Por lo tanto, dicho modelo proporciona una alternativa cuantitativa a la heurística intuitiva y a las mitigaciones que se contemplan actualmente. Debe (i) proporcionar decisiones más informadas de políticas y licenciamiento, (ii) permitir que diferentes investigadores y administraciones comprendan, estudien y reproduzcan los resultados de las reglas propuestas, y (iii) permitir la adopción y el perfeccionamiento impulsado por datos de reglas que tienen una mayor probabilidad de éxito y que pueden ajustarse en función de las mejoras en las tecnologías de seguridad espacial.

Cabe destacar que, sin emplear un buen modelo predictivo, ni siquiera es posible reconocer cuándo un síndrome de Kessler es inminente o inevitable. El uso de un modelo nos permite “rebobinar” una posible secuencia de eventos que conducen a un síndrome de Kessler, es decir, mirar hacia atrás desde su ocurrencia para comprender cuándo se habría alcanzado un punto de inflexión y luego examinar cuidadosamente el estado del espacio LEO en ese momento.

Cabe destacar que ningún modelo predictivo debe basarse en la simplificación de suposiciones como la existencia de supuestas “órbitas de autolimpieza”,<sup>35</sup> una creencia ciega en la eficacia de los controles “autónomos” para evitar colisiones,<sup>36</sup> o la falacia de que los satélites maniobrables tienen “cero riesgo” de colisión.<sup>37</sup> Si bien muchos de los efectos individuales que deben cuantificarse pueden considerarse de baja probabilidad con respecto a objetos individuales, el gran número de objetos residuales rastreables y no rastreables, así como los eventos de conjunción previstos, significa que los eventos que tienen baja probabilidad con respecto a un solo objeto son muy probables que ocurran dentro del conjunto de todos los objetos.

## V. Las fuerzas del mercado no son adecuadas para mitigar los riesgos en la órbita LEO

Actualmente, los costes y riesgos creados por ciertos sistemas LEO se están transmitiendo a otros, incluidos otros operadores de banda ancha satelital, y la ciencia, defensa, navegación, astronomía y otros sectores cuyas operaciones en, o a través de, la órbita LEO son críticas para muchas naciones. El mayor riesgo de colisión que presentan ciertos diseños LEO aumenta el coste del acceso al espacio para todos, ya sea en áreas desatendidas o para el propio gobierno (en el caso del uso del espacio en la defensa nacional). De hecho, hoy en día se están realizando compensaciones de coste/seguridad en ciertos diseños de constelación LEO, lo que conduce a la implementación de satélites económicamente rentables que aumentan indebidamente los riesgos para todos. Entre otras cosas, esas decisiones comerciales de interés propio afectan a otros usos del espacio al reducir la probabilidad de maniobrar con éxito para evitar colisiones; o al obligar a los nuevos participantes a utilizar órbitas que sean menos eficientes, más costosas de alcanzar o mantener; o al obligar cargas de diseño de naves espaciales mucho más altas que las utilizadas por los participantes anteriores que pretendían impedir la competencia ocupando más recursos orbitales de lo que se justificaba.

Como reconoció hace tres años la Comisión Federal de Comunicaciones de EE. UU.,<sup>38</sup> los incentivos económicos para algunos actores industriales individuales no son adecuados para obligarlos a adoptar prácticas responsables diseñadas para garantizar que el entorno orbital

---

<sup>35</sup> Consulte *Mitos de órbita autolimpiantes*, <https://www.viasat.com/space-innovation/space-policy/space-debris>.

<sup>36</sup> Véanse los comentarios de la NASA, n.o de archivo de IBFS de la FCC de EE. UU. SAT-AMD-20210818-00105 (presentado el 8 de febrero de 2022), en 2 (“[T]a preocupación sigue siendo que otros proveedores que propongan grandes constelaciones también utilicen la capacidad de maniobra automática dentro de los rangos de altitud ocupados por Starlink, lo que requiere que múltiples constelaciones autónomas se desvíen del camino de los demás sin reglas claramente definidas de la carretera para dichas interacciones”). (“Carta de la NASA”).

<sup>37</sup> Véase *id.* en 3 (“[C]teniendo en cuenta múltiples constelaciones independientes de decenas de miles de naves espaciales y el aumento esperado en el número de encuentros cercanos con el tiempo, la *asunción de riesgo cero desde el punto de vista del sistema carece de justificación estadística.*”) (énfasis añadido).

<sup>38</sup> Véase *Comisión Federal de Comunicaciones de EE. UU., Mitigación de residuos orbitales en la nueva era espacial*, Aviso de formulación de reglas propuesta, 18-159 (ref. 19 de noviembre de 2018), ¶¶ 88-89; Notificación adicional de formulación de reglas propuesta, 20-54 (referencia 24 de abril de 2020), ¶ 25.

compartido permanezca disponible para que todos lo utilicen de forma segura. En su lugar, estos actores están motivados para adoptar prácticas que obliguen a otros usuarios espaciales a soportar externalidades negativas significativas, aumentando sus costes económicos y, en última instancia, poniendo en peligro la viabilidad continua de las operaciones satelitales, ya sea que los otros operen dentro de la órbita LEO, o pasen a través de ésta misma en el camino hacia o desde otras órbitas. Además, el riesgo de fallo empresarial en este nuevo entorno es alto, y los fallos empresariales pueden dejar a un operador sin la capacidad ni el incentivo de desorbitar rápidamente satélites fallidos.

Una consecuencia inmediata del desarrollo de la congestión en la órbita LEO es hacer aún más escaso el número de ventanas de lanzamiento viables que ya están inherentemente limitadas<sup>39</sup>, y/o aumentar los riesgos de colisión<sup>40</sup> para las ventanas que permanecen. Y los residuos creados por una colisión que involucra satélites LEO, o incluso, tan solo la presencia en órbita de satélites LEO fallidos que ya no son maniobrables, impedirán aún más la capacidad de otros operadores de lanzar sus propios satélites en órbita. Como mínimo, estos factores aumentarán los costes, riesgos y retrasos asociados con el lanzamiento de todos los satélites en el espacio, según lo observado por el director ejecutivo del proveedor de lanzamiento de satélites RocketLab.<sup>40</sup>

Es por eso que los reguladores nacionales deben adoptar reglas exigibles que restrinjan a los operadores de enfatizar los desechos y reemplazos (redundancia en un gran número de satélites), en lugar de la fiabilidad y la seguridad (implementación de menos satélites que sean más eficientes, y que sean capaces de evitar colisiones durante los muchos años que permanecen en órbita). En ausencia de dichas normas, los operadores: (i) seguirán realizando operaciones económicas de interés propio que pongan en peligro el uso sostenible y seguro del espacio; (ii) no reconocerán las externalidades negativas creadas por sus operaciones; y (iii) no mitigarán las cargas y los impactos adversos que de otro modo se impondrían a otros operadores y al público en general.

## **VI. Debe tenerse en cuenta el riesgo agregado presentado por cada sistema LEO**

Es esencial evaluar el riesgo de colisión *agregado* presentado por *todos los* sistemas LEO que buscan servir o utilizar estaciones terrestres ubicadas en un territorio. Como se refleja en los estudios mencionados anteriormente, el riesgo de colisión en la órbita LEO se escala con factores como el área transversal de los satélites, la masa satelital, los números y las órbitas de los satélites, y las tasas de fallo satelital en relación con la maniobrabilidad (*es decir*, la capacidad de evitar colisiones). Existe un riesgo adicional por cada satélite en un

---

<sup>39</sup> Carta de la NASA en 4 (“La NASA también se preocupa por una creciente falta de disponibilidad de ventanas de lanzamiento seguras, especialmente para misiones que requieren ventanas de lanzamiento instantáneas o cortas, como misiones planetarias como Europa Clipper, que se verían significativamente afectadas debido a una oportunidad de lanzamiento perdida”).

<sup>40</sup> J. Wattles, *Space se está volviendo demasiado abarrotado, el director ejecutivo de Rocket Lab advierte*, CNN (8 de octubre de 2020), <https://www.cnn.com/2020/10/07/business/rocket-lab-debris-launch-traffic-scn/index.html> (“Las constelaciones satélite pueden ser particularmente problemáticas, dijo, porque los satélites pueden volar bastante cerca juntos, formando un tipo de bloqueo que puede evitar que los cohetes se estrujen”).

sistema LEO determinado y cada reemplazo que podría lanzarse durante todo el periodo de licencia.

También hace hincapié en que, dado que estos parámetros son los determinantes de la seguridad y sostenibilidad espaciales, cualquier esfuerzo por parte de operadores autorizados para cambiar sustancialmente esos parámetros para los diseños de satélite debe requerir una *reevaluación* del impacto en el riesgo de colisión agregado basado en una demostración adecuada por parte del operador *antes* de que se le permita utilizar dicho diseño modificado.

Una evaluación agregada del riesgo de colisión debe tener en cuenta los riesgos asociados con los satélites derivados que fallan y ya no pueden maniobrar, así como los riesgos residuales asociados con el gran número de satélites maniobrables debido a conjunciones (*es decir, llamadas cercanas*) con residuos espaciales rastreables y no rastreables y otros satélites activos que se pueden esperar durante un plazo de licencia. Esto es cierto porque un gran número de eventos de probabilidad incluso muy baja (advertencias conjuntas con baja probabilidad sobre las que no se actúa) resulta en múltiples colisiones que se esperan de forma realista durante ese periodo.

Cabe destacar que el enorme aumento de los tamaños de constelación LEO está impulsando un aumento exponencial en el número de conjunciones que se puede esperar que experimente una constelación determinada con el tiempo, lo que aumenta drásticamente la probabilidad de una colisión dentro de la órbita que tendría impactos devastadores en la sostenibilidad y la seguridad espacial.<sup>41</sup> Como explica un experto líder: “La ley de números muy grandes le dirá que pueden ocurrir eventos de muy baja probabilidad si se le dan suficientes oportunidades”.<sup>42</sup> Sin embargo, ninguna norma o directriz actual refleja la magnitud de estos peligros.

Eso significa que estos factores de riesgo agregados deben medirse, evaluarse, modelarse y rastrearse, y las operaciones deben ajustarse durante la vida útil de cada misión, no solo en la etapa de autorización inicial (incluidas las misiones de comunicaciones y observación de la Tierra).

Una evaluación adecuada de la totalidad del riesgo de colisión para un sistema LEO en su conjunto debería tener en cuenta:

- Riesgos asociados con satélites que fallan y ya no pueden maniobrar (y, por lo tanto, crean riesgos significativos mientras permanecen en órbita).

---

<sup>41</sup> Carta de la NASA al 1 (con el aumento de las propuestas de gran constelación a la FCC, la NASA está preocupada por el potencial de un aumento significativo en la frecuencia de eventos conjuntos y los posibles impactos en las misiones científicas y de vuelo espacial humano de la NASA”.); (“Un aumento de esta magnitud en estas bandas de altitud confinadas inherentemente conlleva un riesgo *adicional de eventos de colisión generadores de residuos en función del número de objetos solamente*). (énfasis añadido).

<sup>42</sup> Consulte <https://twitter.com/ProfHughLewis/status/1509903335251456045> (1 de abril de 2022).

- Los riesgos durante todo el periodo en que cada satélite de una mega-constelación permanece en órbita y en todas las órbitas que puede ubicarse (inyección, funcionamiento y eliminación posterior a la misión).
- El aumento del riesgo de colisiones debido a cambios en el entorno orbital (como la falla o explosión de satélites, la colisión de residuos con otros residuos y demás fallas, y la implementación de sistemas LEO adicionales, no solo el entorno como existía en el pasado).
- Características del sistema: área transversal, masa, fiabilidad del subsistema, redundancia, blindaje y técnicas operativas para reducir el riesgo de fallos del sistema, y cualquier cambio propuesto posterior en esos parámetros.
- El riesgo de colisiones con objetos espaciales de todos los tamaños, ya sean rastreables o no, incluidos objetos letales no rastreables (LNT).
- La fiabilidad continua de las capacidades de comando y propulsión críticas para intentar maniobrar para evitar colisiones, y la probabilidad de que esos sistemas críticos puedan dañarse por residuos poco rastreables que son demasiado pequeños para fragmentar el satélite.
- El riesgo de colisiones intrasistema dentro de cualquiera de estas mega-constelaciones LEO (debido a todas las causas, incluidos satélites fallidos).
- Riesgos conocidos con un gran número (posiblemente millones al año) de conjunciones esperadas entre un sistema LEO grande y otros objetos espaciales (p. ej., un gran número de maniobras para evitar algunas colisiones crean otros riesgos de colisión; las conjunciones de baja probabilidad que no dan lugar a maniobras de evasión se suman a riesgos de colisión mucho mayores con un gran número de conjunciones).
- Interacciones de todos los satélites en un sistema con todos los demás objetos en su entorno (incluidas las órbitas solapadas y de intersección) durante las maniobras de elevación de órbita para satélites en ascenso, teniendo en cuenta las trayectorias de decaimiento activas y pasivas para satélites en la fase de eliminación orbital, así como teniendo en cuenta aquellos satélites en servicio activo.
- La precisión y tolerancia de todas las trayectorias orbitales para evaluar y modelar con precisión las probabilidades de conjunción.

Es fundamental desarrollar un modelo para evaluar la situación actual en la órbita LEO y la evolución esperada de ese entorno. Las observaciones y mediciones de hoy no proporcionarán una advertencia suficiente de los usos de la órbita LEO que podrían conducir a reacciones en cadena autosostenibles de colisiones que pueden destruir satélites y perjudicar el acceso al espacio para todos por generaciones (síndrome de Kessler). *En pocas palabras: No podemos saber dónde estamos con respecto a la sobreexplotación de la órbita LEO sin un buen modelo que pueda predecir de forma fiable la evolución de los residuos en el espacio.*

## **VII. Los riesgos de colisión de un sistema LEO dependen del número de satélites**

Algunos operadores de sistemas LEO intentan minimizar el riesgo significativo de colisión con sus sistemas centrándose en el riesgo de un solo satélite e ignorando lo que puede suceder durante todo el plazo de la licencia cuando cientos, miles o decenas de miles de satélites se operan en altitudes vecinas, superpuestas o de intersección. Ese enfoque ignora el simple hecho de que el riesgo de colisión escala con el tamaño de la constelación. En otras palabras, existe un riesgo adicional por cada satélite en un sistema LEO y el número ilimitado de sustituciones que podrían lanzarse durante el periodo de licencia. Centrarse en el riesgo de satélites individuales en una constelación sancionaría eficazmente las colisiones catastróficas que se producen con mucha frecuencia, como se muestra en la Tabla 3.

N.o de satélites en órbita	Tiempo medio permitido entre colisiones en años (días)
1,000	5
5,000	1
10,000	0,5 (180 días)
50,000	0,1 (36 días)
100,000	0,05 (18 días)

Tabla 3. Riesgo agregado que aplica una única norma de riesgo satélite<sup>43</sup>

## VIII. Los sistemas de prevención de colisiones no mitigan todos los riesgos

Algunos intentan minimizar los riesgos agregados de grandes constelaciones LEO al afirmar que su sistema LEO empleará mecanismos “autónomos” de prevención de colisiones. Pero la eficacia de esas capacidades depende totalmente de que cada uno de sus satélites pueda maniobrar de manera fiable y eficaz durante el tiempo que el satélite permanezca en órbita, después de la inyección, mientras esté en órbita operativa y durante toda la eliminación posterior a la misión. Los satélites que fallan o se degradan de manera que ya no puedan maniobrarse de manera confiable no pueden evitar colisiones, entre sí, con satélites en otros sistemas o con la gran cantidad creciente de residuos espaciales rastreables. Por este motivo, la implementación de satélites LEO poco fiables presenta riesgos indebidos para todos los que buscan utilizar el espacio.

Si un operador lanza decenas de miles de satélites con incluso una probabilidad de fallo del 1 % por satélite (por ejemplo), puede esperar tener *cientos* de satélites no maniobrables fallidos, lo que hace que su sistema de prevención autónomo sea ineficaz en cuanto a esos satélites. No hay diferencia desde la perspectiva del riesgo de colisión entre esos cientos de satélites fallidos y no maniobrables y un operador diferente que lanza un número similar de satélites que no son propulsivos y/o no maniobrables por diseño. Ambos tienen exactamente el mismo resultado en espacio y producen la misma probabilidad de riesgo de colisión. Además, las conclusiones sobre la fiabilidad no pueden extraerse simplemente de la “probabilidad de fallo” al principio de la vida útil del diseño, porque también hay un modo de fallo de “desgaste” que se produce cerca del final de la vida útil del diseño. La evaluación

<sup>43</sup> Los cálculos se basan en la vida útil del diseño satélite de 5 años y la aplicación de la norma de riesgo de colisión uno de cada 1000 (0,001) que se utiliza habitualmente para escenarios de riesgo de un solo satélite.

de la eficacia de un sistema de prevención de colisiones requiere datos de análisis de fiabilidad en los satélites que demuestren un nivel de rendimiento de fiabilidad adecuado.

Además, la simple existencia de sistemas de prevención de colisiones (“autónomos” o de otro tipo) *no* significa que exista una probabilidad de colisión cero. Modelos de Analytical Graphics, Inc. (un proveedor líder de herramientas de análisis de colisiones y amenazas) y otros<sup>44</sup>, muestran que el aglomeramiento incluso de decenas de miles de satélites nuevos en la órbita LEO puede generar cientos de millones de eventos de conjunción totales sobre los términos de licencia de las mega-constelaciones LEO. La probabilidad de colisión residual restante distinta de cero, incluso después de intentar una maniobra, puede contribuir significativamente al riesgo de síndrome de Kessler en conjunto, dado un número suficientemente alto de oportunidades de conjunción. Además, se espera que la implementación de un solo tercio de una *sol*a mega-constelación represente el 90 % de todos los enfoques cercanos entre dos satélites,<sup>45</sup> y con el nivel de actividad significativamente creciente en la órbita LEO, los expertos advierten que “deberán hacerse cambios para hacer que el espacio sea más sostenible”.<sup>46</sup> Como se ha comentado anteriormente, la ley de números muy grandes refuerza la necesidad de utilizar modelos realistas que nos ayuden a predecir las circunstancias que conducen a posibles catástrofes.

Además, y como ha reconocido la NASA, cualquier sistema automatizado de prevención de colisiones debe estar acoplado con la capacidad de coordinarse eficazmente con otros operadores casi en tiempo real para “garantizar que las maniobras previstas por uno o ambos operadores, si se ejecutan, y no coloquen ambos satélites en un curso de colisión”.<sup>47</sup> Sin embargo, como han señalado terceros, algunos procesos de prevención de colisiones de sistemas LEO no incorporan esta capacidad; más bien, incorporan características que probablemente frustrarán la coordinación entre operadores y *exacerbarán los riesgos de colisión*.<sup>48</sup> De hecho, un operador de sistema LEO ha revelado que su proceso de evasión de

---

<sup>44</sup> S. Alfano, D. Oltrogge, R. Shepperd, Leo Constellation Encounter y estimación de la tasa de colisión: Una actualización, 2.a Conferencia de la IAA sobre Conciencia Espacial y Situacional (ICSSA), Washington, D.C., 14-16 de enero de 2020, <https://www.documentcloud.org/documents/6747529-LEO-CONSTELLATION-ENCOUNTER-and-COLLISION-RATE.html>.

<sup>45</sup> T. Pultarova, satélites SpaceX Starlink responsables de más de la mitad de los encuentros cercanos en órbita, según el científico, los satélites Starlink pronto podrían estar involucrados en el 90 % de los encuentros cercanos entre dos naves espaciales en órbita terrestre baja, Space.com (18 de agosto de 2021), <https://www.space.com/spacex-starlink-satellite-collision-alerts-on-the-rise>.

<sup>46</sup> D. Swinhoe, Starlink de SpaceX, representa “la mitad de todos los cuasi accidentes de satélites”; los satélites de Elon Musk que llegan a menos de 1 km de las máquinas de otras empresas unas 500 veces por semana, Data Center Dynamics (23 de agosto de 2021), <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/spacexs-starlink-accounts-for-half-of-all-satellite-near-misses/>.

<sup>47</sup> Consulte el Manual de prácticas recomendadas para la evaluación del conjunto de naves espaciales y la prevención de colisiones de la NASA, NASA/SP-20205011318 (2020), en 29, [https://nodis3.gsfc.nasa.gov/OCE\\_docs/OCE\\_50.pdf](https://nodis3.gsfc.nasa.gov/OCE_docs/OCE_50.pdf).

<sup>48</sup> Véase generalmente <https://twitter.com/planet4589/status/1429525312577183746> (proporcionar varias críticas sobre los sistemas autónomos de colisión, *por ejemplo*, “Entonces, la pieza que parece faltar, al menos en esta representación, es el aspecto crítico del cribado de maniobras. Puede planificar una maniobra para mitigar una conjunción, solo para crear una situación peor. El plan de quemado debe

colisiones existente: (i) no incorpora ninguna comprobación para garantizar que una maniobra planificada para evitar una posible colisión no crea un riesgo inaceptable de colisión con otros objetos espaciales (*por ejemplo*, otro satélite maniobrable u residuos orbitales); y (ii) no requiere interacción entre operadores antes de la acción “autónoma” por uno o más de sus satélites LEO.<sup>49</sup>

Otro aspecto crítico de la prevención de colisiones autónomas es si otros operadores de satélites se sienten cómodos aceptando al operador “autónomo” como agente de maniobra cuando ese operador ha diseñado su sistema para emplear satélites económicamente desechables de manera que no esté tan motivado para evitar colisiones.

Los expertos de la industria señalan que el “derecho de paso” a los carriles, u opciones de maniobra, en el espacio puede otorgarse de manera más apropiada a los satélites que son más irremplazables (económicamente o de otro modo), o al menos estar sujetos a condiciones que preservan los derechos de objetos espaciales valiosos y difíciles de reemplazar. A este respecto, enfatizamos que, sin ninguna norma o restricción sobre el consumo de recursos orbitales físicos, los operadores están motivados para mantener satélites de bajo rendimiento, o incluso fallidos, en órbita con el fin de impedir (o incluso precluir) el acceso a esas órbitas por parte de otros operadores. Por el contrario, con las restricciones adecuadas en el uso de recursos orbitales, los operadores estarían motivados a mantener en órbita solo aquellos satélites que aporten valor real en relación con el espacio que ocupan.

Al final, es casi imposible atribuir cualquier valor a un mecanismo autónomo de prevención de colisiones sin tener una comprensión completa de su rendimiento previsto y real, medido empíricamente. Al igual que los sofisticados modelos de riesgo mencionados anteriormente, evaluar el rendimiento real de la prevención de colisiones requiere análisis, simulación y una evaluación exhaustiva de todas las maniobras en vivo en el espacio realizadas hasta la fecha y el contexto en el que se realizaron.

## IX. Otros problemas medioambientales

También existen preocupaciones crecientes sobre otras consideraciones medioambientales al evaluar la naturaleza finita del recurso LEO compartido, su naturaleza frágil y el riesgo de sobreexplotación.<sup>50</sup> Estos incluyen: (i) la posibilidad de que grandes cantidades de satélites vuelvan a entrar en la atmósfera para dañar la atmósfera de la Tierra y afectar al cambio climático a través de, entre otras cosas, forzamiento radiativo o forzamiento climático,<sup>51</sup> y

---

revisarse con respecto al catálogo antes de la ejecución”).

<sup>49</sup> Véase la carta de SpaceX a la Comisión Federal de Comunicaciones de los EE. UU., IB Docket No. 18-313, Att. B (10 de agosto de 2021).

<sup>50</sup> Véase Carta del Consejo de Defensa de Recursos Naturales y la Asociación Internacional del Cielo Oscuro a la Comisión Federal de Comunicaciones de los EE. UU., Archivo IBFS No. SAT-LOA-20200526-00055 y SAT-AMD-20210818-00105 (7 de septiembre de 2022) (“Carta NRDC y IDA”).

<sup>51</sup> L. Organski, *et al.*, *Impactos medioambientales de los satélites desde el lanzamiento hasta la desorbitación y el nuevo acuerdo ecológico para Space Enterprise*, Aerospace Corporation (diciembre de 2020);

D. Werner, *Aerospace Corp. Plantea preguntas sobre contaminantes producidos durante la reentrada de*



agotamiento de la capa de ozono, aumentar el riesgo de cáncer y otros efectos negativos para la salud,<sup>52</sup> (ii) perjudicar la investigación óptica y radioastronómica crítica al alterar el cielo nocturno visible,<sup>53</sup> (iii) crear contaminación lumínica, con los impactos negativos resultantes en la salud y la calidad de vida de los seres humanos y en plantas y animales,<sup>54</sup> y (iv) perjudicar el funcionamiento de las capacidades críticas de detección y defensa de asteroides.<sup>55</sup> De hecho, ciertas elecciones realizadas en el diseño de sistemas LEO son los factores dominantes que inciden en estos impactos adicionales, como el área transversal del satélite, la masa, la órbita y el número de satélites, junto con el albedo (o reflectividad) y la composición del material.

Tendencias incorrectas en cada uno de estos aspectos. La Figura 8 muestra: (i) el número total de satélites en la órbita LEO al 1 de enero de 2022<sup>56</sup>, así como el área de masa y

---

*satélites y cohetes*, SpaceNews (15 de diciembre de 2020), <https://spacenews.com/aerospace-agu-reentry-pollution/>;

M. N. Ross y L. David, *un peligro subestimado de la nueva era espacial: Contaminación aérea global*, *Scientific American* (febrero de 2021), <https://www.scientificamerican.com/article/an-underappreciated-danger-of-the-new-space-age-global-air-pollution/>;

M. N. Ross y K. L. Jones, Implicaciones de una industria de vuelos espaciales en crecimiento: Cambio climático, *PERIÓDICO DE INGENIERÍA DE SEGURIDAD ESPACIAL* (6 de junio de 2022), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468896722000386>;

Oficina de Responsabilidad del Gobierno de EE. UU., *Grandes constelaciones de satélites: Mitigación de los efectos medioambientales y de otro tipo*, GAO-22-105166 (29 de septiembre de 2022) (“Primer informe de la GAO de EE. UU.”), <https://www.gao.gov/products/gao-22-105166>.

<sup>52</sup> Carta NRDC y IDA en 3.

<sup>53</sup> R. Boyle, *las constelaciones satélite son una amenaza existente para la astronomía*, *Scientific American* (7 de noviembre de 2022), <https://www.scientificamerican.com/article/satellite-constellations-are-an-existential-threat-for-astronomy/>;

A. Lawrence, M. L. Rawls, M. Jah, A. Boley, F. Di Vruno, S. Garrington, M. Kramer, S. Lawler, J. Lowenthal, J. McDowell y M. McCaughrean, *El caso del medioambientalismo espacial*, *NATURE ASTRONOMY* (22 de abril de 2022), <https://www.nature.com/articles/s41550-022-01655-6>;

C. Young, *¿el peor caso de Starlink? Podríamos estar al borde del síndrome de Kessler*, *INTERESANTES INGENIERÍA* (11 de agosto de 2022), <https://interestingengineering.com/innovation/worst-case-starlink-scenario-kessler-syndrome>;

Primer informe GAO de EE. UU. en 1;

Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos Espaciales Exteriores, Unión Astronómica Internacional, IAC, Laboratorio NOIR, Cielos Oscuros y Tranquilos para la Ciencia y la Sociedad: Informe y recomendaciones, (29 de diciembre de 2020), <https://www.iau.org/static/publications/dqskies-book-29-12-20.pdf>.

<sup>54</sup> Carta NRDC y IDA en 3.

<sup>55</sup> Carta de la NASA en 3 (“[T]aquí estaría un Starlink en cada imagen de estudio de asteroides tomada para la defensa planetaria contra impactos peligrosos de asteroides, lo que disminuiría la efectividad del estudio de asteroides al dejar inutilizables partes de las imágenes. Esto podría... tener un efecto perjudicial en la capacidad de nuestro planeta para detectar y posiblemente redirigir un impacto potencialmente catastrófico.”) (énfasis añadido).

<sup>56</sup> *Consulte el Informe anual del entorno espacial de la ESA*, en 52-54 (22 de abril de 2022), [https://www.sdo.esoc.esa.int/environment\\_report/Space\\_Environment\\_Report\\_latest.pdf](https://www.sdo.esoc.esa.int/environment_report/Space_Environment_Report_latest.pdf) (que proporciona los datos utilizados para el “inicio” del 1 de enero de 2022).

sección transversal asociada de esos satélites (en verde) y (ii) los aumentos exponenciales en estos valores que ocurrirían si simplemente se permitiera implementar el sistema Starlink Gen2 (en rojo).<sup>57</sup>

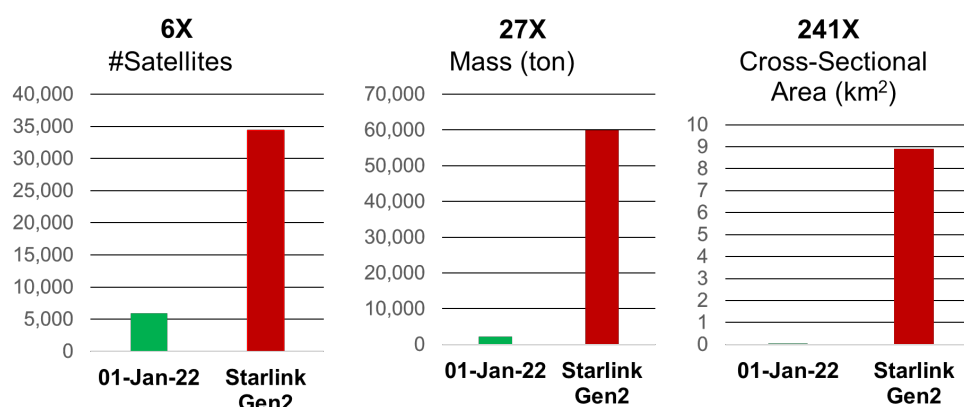


Figura 8. Tendencias en el tamaño, la masa y el área transversal de la constelación LEO

La revisión de expertos confirma que el enfoque de décadas de antigüedad aplicado por algunos a los efectos medioambientales de las mega-constelaciones actuales debe revisarse para tener en cuenta la nueva información disponible sobre esos efectos nunca antes planteados.<sup>58</sup> Es esencial tener en cuenta estos efectos, así como los factores exacerbantes mencionados anteriormente, al evaluar los límites sobre lo que puede ocupar de forma sostenible el espacio en la órbita LEO desde una perspectiva medioambiental.

## X. Conclusión

Es fundamental desarrollar y adoptar un marco legal y normativo sólido que ayude a garantizar un uso seguro y sostenible del espacio; la constelación responsable y el diseño de la nave espacial deben ser un enfoque crítico de ese esfuerzo. De hecho, a menos que los legisladores nacionales hagan responsables a los operadores del espacio seguro, corremos un grave riesgo de llegar pronto a un punto de inflexión que podría dejar a la órbita LEO inutilizable durante décadas, o incluso siglos.

Cabe destacar que los innovadores diseños de sistemas LEO pueden minimizar estos riesgos, a la vez que ofrecen un mejor servicio, garantizan la sostenibilidad del espacio y permiten a todas las naciones competir y ganarse su lugar de forma justa en la economía del Nuevo Espacio. La capacidad existe para garantizar que los sistemas LEO que prestan servicio en un

<sup>57</sup> Basado en los datos que SpaceX proporcionó a la FCC en su modificación pendiente para expandir su sistema.

<sup>58</sup> La Oficina de Responsabilidad del Gobierno de los EE. UU., *FCC, debe volver a examinar su proceso de revisión medioambiental para grandes constelaciones de satélites*, GAO-23-105005 (nov. 2022), en 28, <https://www.gao.gov/products/gao-23-105005>.

territorio determinado no sean una amenaza para sus intereses nacionales, o para la seguridad espacial y el medio ambiente en general.

Debemos actuar ahora, posiblemente incluso limitando la escala de las mega-constelaciones individuales, hasta que comprendamos las consecuencias. A continuación, podemos tomar medidas para garantizar que un punto de inflexión del síndrome de Kessler permanezca lo suficientemente lejos en el futuro:

- Aplicar en las etapas de licenciamiento y acceso al mercado un modelo que evalúe la situación actual en la órbita LEO, la evolución esperada de ese entorno y las consecuencias de lanzar satélites LEO adicionales.
- Evitar simplificar suposiciones como la existencia de supuestas “órbitas de autolimpieza”, una creencia ciega en la eficacia de los controles “autónomos” para evitar colisiones, y evitar confiar en la falacia de que los satélites maniobrables tienen “cero riesgo” de colisión.
- Reducir el área transversal de los satélites LEO para disminuir la probabilidad de colisiones incluso con residuos letales no rastreables que no se pueden evitar.
- Reducir la masa del satélite LEO para minimizar las consecuencias de las colisiones.
- Minimizar el número de satélites no maniobrables (satelitales pasivos) en órbita que, por definición, no pueden evitar colisiones, incluido el establecimiento de métodos y procesos para desorbitar activamente los satélites antes de que puedan ser no maniobrables.
- Mejorar la precisión de la conciencia situacional del espacio (SSA) para reducir el riesgo de conjunciones que no dan lugar a maniobras de evasión y también de maniobras para evitar conjunciones.
- Que cada país que autorice un sistema LEO determine el impacto potencial del sistema en el medio ambiente, tanto en el espacio como en la Tierra, y si puede compartir recursos orbitales limitados de forma equitativa.
- En última instancia, establecer directrices y prácticas vinculantes y eficaces entre todos los países que trabajan en el espacio para garantizar un uso compartido y seguro del espacio limitado de la órbita LEO.