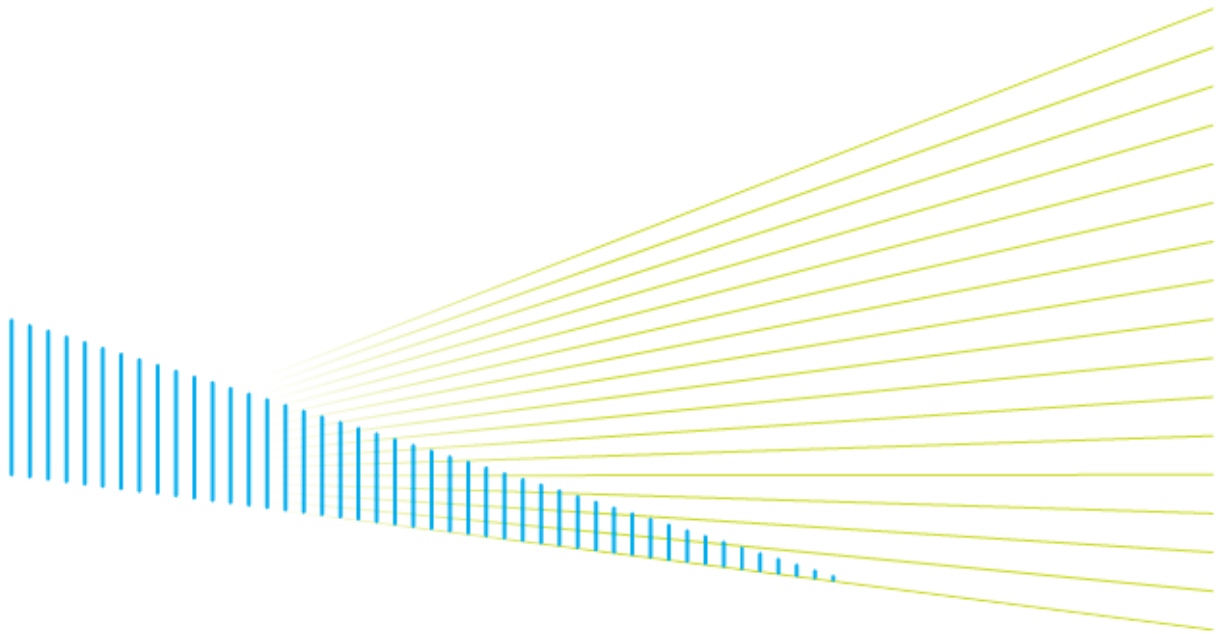


Actualizado en marzo de 2024

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



Viasat[™] 

Tabla de contenidos

I.	Introducción	2
II.	Interferencia en las redes GEO y amenazas al acceso equitativo y seguro al espacio	4
A.	Interferencia inadmisibles en las redes GEO	5
	1. <i>La separación angular del sistema N GEO es necesaria para proteger las redes GEO de la interferencia</i>	5
	2. <i>Incumplimientos de los límites de la dfpe de la UIT que restringen la interferencia en las redes GEO</i>	8
B.	Obstaculizando el acceso equitativo a las bandas de frecuencias compartidas de los N GEO	14
C.	Obstaculizando el acceso seguro y fiable a las órbitas LEO compartidas	16
D.	Consumiendo 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 Violación 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 en 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, las oportunidades de crecimiento, el uso eficiente del espectro, los intereses nacionales, 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 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";
- Generar interferencia indebida 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));
- 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;
 - 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.

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 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,¹ 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.²

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".³ La PP-22 de la UIT instaba a las administraciones Miembros a "adoptar todas las medidas necesarias para evitar interferencias 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."

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 . . .

¹ 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").

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

³ 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.

teniendo en cuenta las necesidades especiales de los países en desarrollo y la situación geográfica de cada país".⁴

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 NGEO.

II. Interferencia 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 en 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 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 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 NGEO a las bandas de frecuencias NGEO 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 que todos los sistemas NGEO (considerados en conjunto) pueden generar a las redes GEO.

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.

⁴ 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.

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 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 inadmisibles en las redes GEO

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

Los movimientos de los satélites N GEO a través del cielo crean oportunidades para interferencias variables en el tiempo en las redes GEO. A menos que un operador N GEO emplee medidas de reducción adecuadas, los eventos de interferencia 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 en las redes GEO. Múltiples sistemas N GEO que funcionan simultáneamente en las mismas frecuencias plantean un *riesgo de interferencia 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.

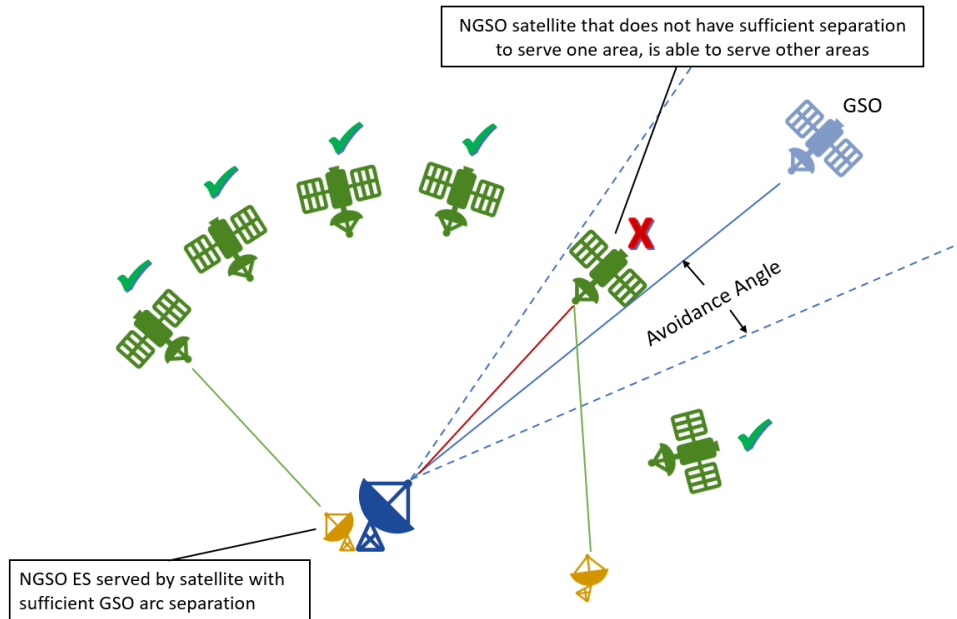


Figura 1: Sistema NGE0 que utiliza un ángulo de evasión GEO

La separación angular prácticamente no impone restricciones a la capacidad de los sistemas NGE0, ya que los grandes sistemas NGE0 siempre tienen múltiples opciones para asignar diferentes satélites para que sirvan a ubicaciones en la Tierra. Además, transfieren regularmente el tráfico de un satélite NGE0 a otro a medida que los satélites se mueven rápidamente por el cielo. Los sistemas NGE0 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 generada por los sistemas NGE0. Un requisito operacional clave para cumplir estos requisitos de no interferencia es que el sistema NGE0 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. Ciertos 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 NGE0, como el requisito de cumplir con una separación angular específica, para mitigar el riesgo de interferencia a las redes GEO en primer lugar.⁵

⁵ 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 NGE0 de SpaceX Gen2*, FCC 22-91 (rel. 1 de diciembre de 2022), en el numeral 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.") (énfasis añadido), <https://www.fcc.gov/document/fcc-partially-grants-spacex-gen2-broadband-satellite-application>.

La eficacia de la evasión del arco GEO como forma potencial de reducir la interferencia 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 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 indebida 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 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 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 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:

- 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 inaceptable en las redes GEO y que no reclame protección contra la interferencia 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, y cesar las emisiones cuando se notifique la existencia de interferencia inaceptable; y

- Que, si se produce interferencia en una red GEO, un sistema N GEO debe cesar sus operaciones y no reanudarlas hasta que aborde la causa de dicha interferencia, 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 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 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 inaceptable a las redes GEO ni reivindiquen protección contra la interferencia 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 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 de la DFPE.

- Los límites de la dfpe "agregada" restringen la cantidad de interferencia 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 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.⁶ 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 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.⁷ Exceder el límite de dfpe "agregado" en cualquier punto de la curva y en cualquier lugar de la Tierra también es una violación.

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

⁷ 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).

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).

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 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 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 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 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 dfpe⁸ 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 ignora muchas contribuciones a la dfpe, incluidos los lóbulos laterales de los satélites N GEO que se muestran a continuación con una "X" roja.

⁸ 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.

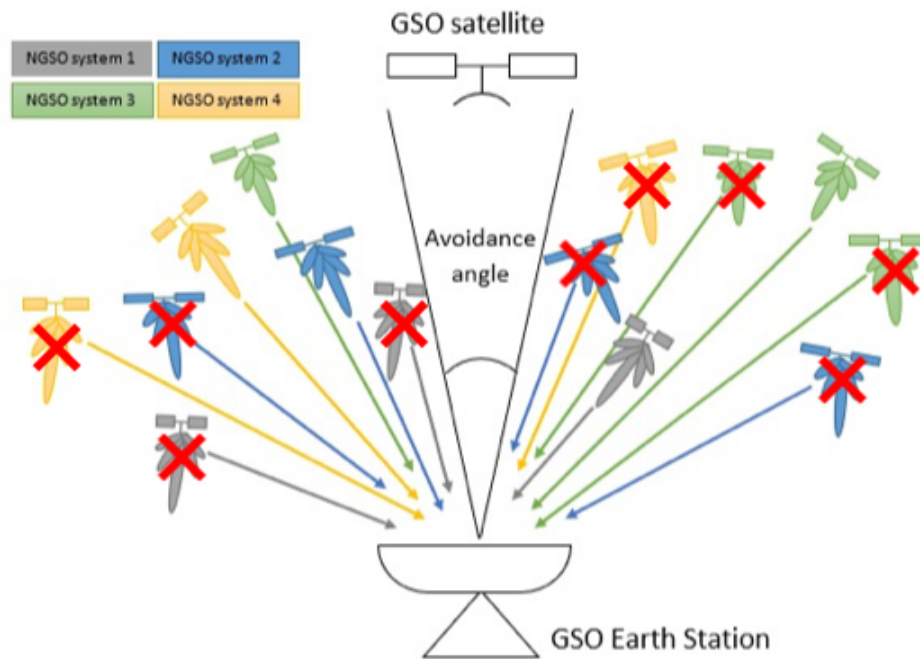


Figura 2: Múltiples contribuciones de interferencia de lóbulos principales y laterales en una estación terrena GEO; las contribuciones marcadas con una "X" no se tienen en cuenta en el programa informático de la UIT sobre la dfpe

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 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 inadmisibles 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".⁹

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 fuente contenidos en el Artículo 22 para proteger los sistemas geoestacionarios o tener repercusiones en la aplicación de la Resolución 76 (Rev.CMR-

⁹ 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.

15)".¹⁰ 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".¹¹

La UIT por sí sola no puede comprobar eficazmente todas las formas en que un operador de sistema NGE0 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 NGE0 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 NGE0.¹²

Además, en última instancia, corresponde al operador NGE0 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 NGE0*. En particular, se dispone o se está desarrollando un programa informático alternativo que permite una evaluación más precisa de la interferencia 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 NGE0 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 NGE0 funcionan en la misma banda, no es práctico diferenciar entre las contribuciones de cada sistema NGE0, habida cuenta de todas las

¹⁰ 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 NGE0 de todos los operadores.

¹¹ *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)").

¹² 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 NGE0, 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.

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 de la dfpe es la interferencia de la dfpe, es *decir*, la estación terrena GEO no puede aislar componentes individuales de esa interferencia 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".¹³ 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 examinar todos los expedientes presentados por este mismo sistema en virtud de los cuales funciona de manera colectiva;

¹³ *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).

- 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;
- Llevar a cabo sus propios análisis de los niveles agregados de la dfpe de todos los sistemas de N GEO 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 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, se exigirá que los operadores de sistemas N GEO cooperen entre sí y adopten las medidas técnicas necesarias para eliminar la interferencia.

B. Obstaculizando el acceso equitativo a las bandas de frecuencias compartidas de los N GEO

Los grandes sistemas N GEO con miles de satélites, particularmente cuando utilizan pequeñas terminales de usuario, 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 N GEO. Esta amenaza para la compartición del espectro de las N GEO se produce cuando grandes constelaciones LEO "cubren el cielo", lo que provoca muchos eventos de interferencia en línea que limitan y, a veces, bloquean por completo que otros sistemas de N GEO compartan el mismo espectro. Un gran sistema N GEO rara vez (o nunca) experimentaría este problema por sí mismo, ya que tiene un número mucho mayor de satélites que las constelaciones N GEO más pequeñas, lo que proporciona al gran sistema N GEO 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 N GEO tendría pocos incentivos para evitar los eventos de interferencia en línea; un gran número de eventos de interferencia en línea dañarían a los sistemas N GEO más pequeños sin afectar materialmente las operaciones del gran sistema de N GEO. Como resultado, el gran sistema N GEO 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 N GEO reconoció este tipo de riesgos cuando se opuso a una propuesta que, según afirmaba, permitiría a otro operador N GEO acceder al doble de espectro en comparación con otros operadores de N GEO 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*

*umentaría los incentivos para el obstruccionismo y la astucia en la coordinación entre operadores."*¹⁴

Además, esta dinámica tiene el peligroso efecto de incentivar una "carrera hacia el abismo" en la que los sistemas NGEO 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 NGEO, incluso los que operan a otras altitudes.

En resumen, los esfuerzos de algunos grandes operadores NGEO para "cubrir el cielo" pueden tener consecuencias directas y dañinas para otros sistemas y operadores NGEO, 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 NGEO 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 NGEO/NGEO en ese emplazamiento.¹⁵ 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 NGEO dada. Cada operador soportaría la misma carga por defecto, en ausencia de algún otro resultado coordinado. Este enfoque permitiría que múltiples sistemas NGEO accedieran a los recursos de espectro disponibles sobre una base equitativa.

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

¹⁴ 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).

¹⁵ En casos análogos, los Estados Unidos imponen limitaciones a la división del espectro a los sistemas "extranjeros" de NGEO 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 el numeral 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 NGEO 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. Obstaculizando 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,¹⁶ 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, teledetección¹⁷ y¹⁸ 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).¹⁹

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

¹⁶ 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>.

¹⁷ Ver, p. ej., Agencia Espacial Europea, eduspace, "Satélites de observación de la Tierra – Introducción" https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/SEM7YN6SXIG_0.html.

¹⁸ 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/>.

¹⁹ 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.²⁰

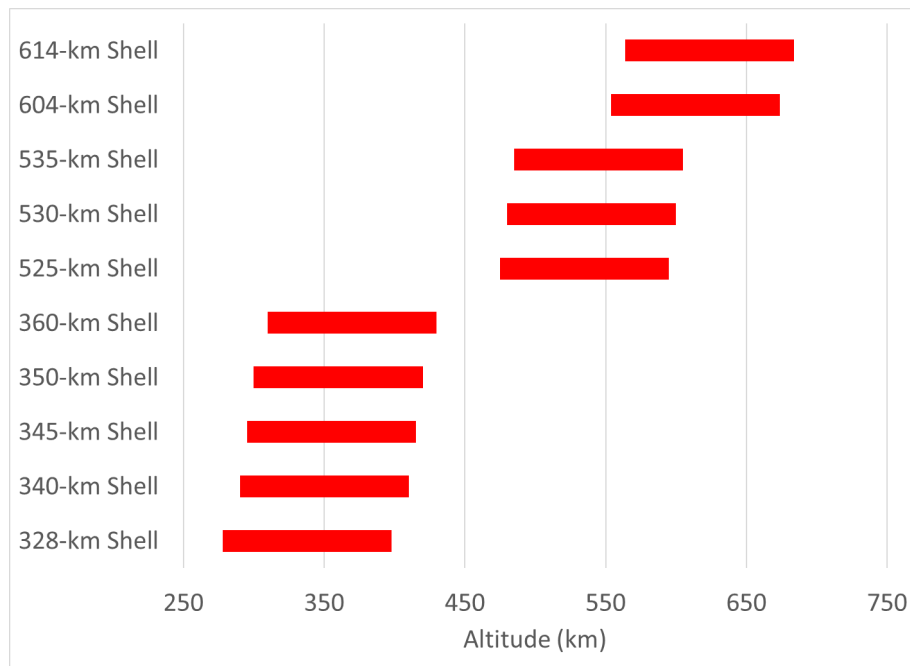


Figura 3: Extensión de las órbitas físicas que se propone consumir en un gran sistema LEO

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 indebidamente 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.

²⁰ 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.

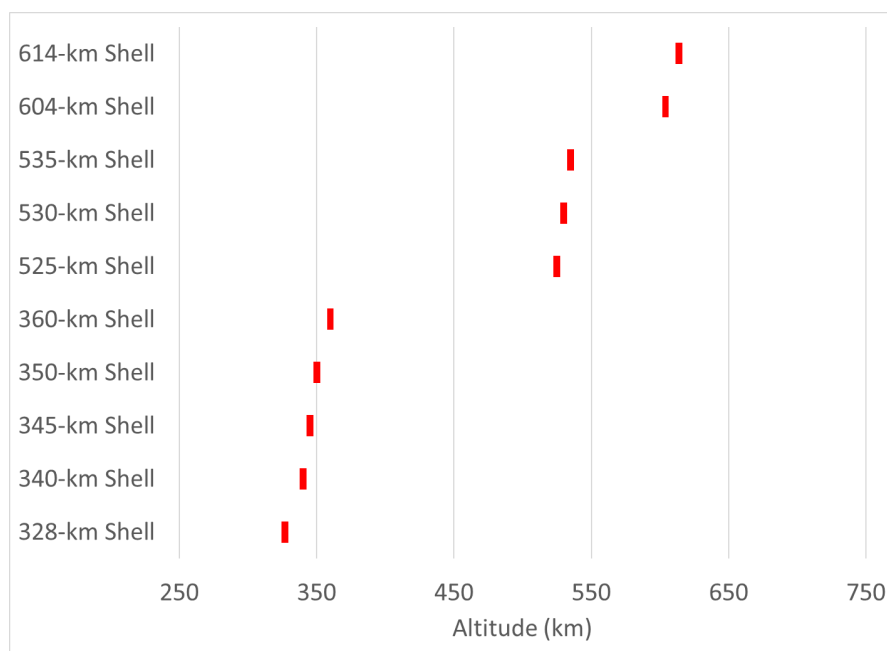


Figura 4: Las tolerancias orbitales razonables dejan espacio para muchos sistemas LEO

D. Consumiendo más de una parte equitativa del límite agregado de la dfpe para todos los sistemas NGEO

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 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 NGEO,

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 reclamar derechos para operar bajo muchos expedientes satelitales distintos ante 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,²¹ "capacidad de carga"²² y "tiempo del síndrome de Kessler".²³ Independientemente de la terminología, el

²¹ 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>.

²² 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/>.

²³ 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 NGEO) 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".²⁴

Por lo tanto, corresponde a los reguladores nacionales considerar qué parte de estos recursos -incluidos los recursos espectrales- consumirían los sistemas NGEO 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.²⁵ Cada colisión conducirá estadísticamente a más colisiones y, en última instancia, puede conducir a un "cinturón de escombros alrededor de la Tierra",²⁶ 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

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

²⁴ 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/>.

²⁵ 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>.

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

gran sistema N GEO a lo largo del tiempo debido a esta dinámica. Ese estudio de la NSF 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".²⁷ 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".²⁸

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.²⁹ 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".³⁰ 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.³¹ Además, no se pueden predecir todas las colisiones potenciales, e incluso cuando un satélite es maniobrable, no se pueden evitar todas las colisiones potenciales.³²

²⁷ 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.

²⁸ 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>.

²⁹ 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).

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

³¹ 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).

³² 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.³³ 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,³⁴ 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".³⁵

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 NGE0 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.

³³ "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/>.

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

³⁵ 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 ("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 como³⁶ la NASA,³⁷ 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.³⁸ 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.³⁹

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.⁴⁰ 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.

³⁶ 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").

³⁷ 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").

³⁸ "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>.

³⁹ 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.

⁴⁰ 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://amotech.com/TechnicalPapers/2021/Poster/Sturza.pdf>.

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.

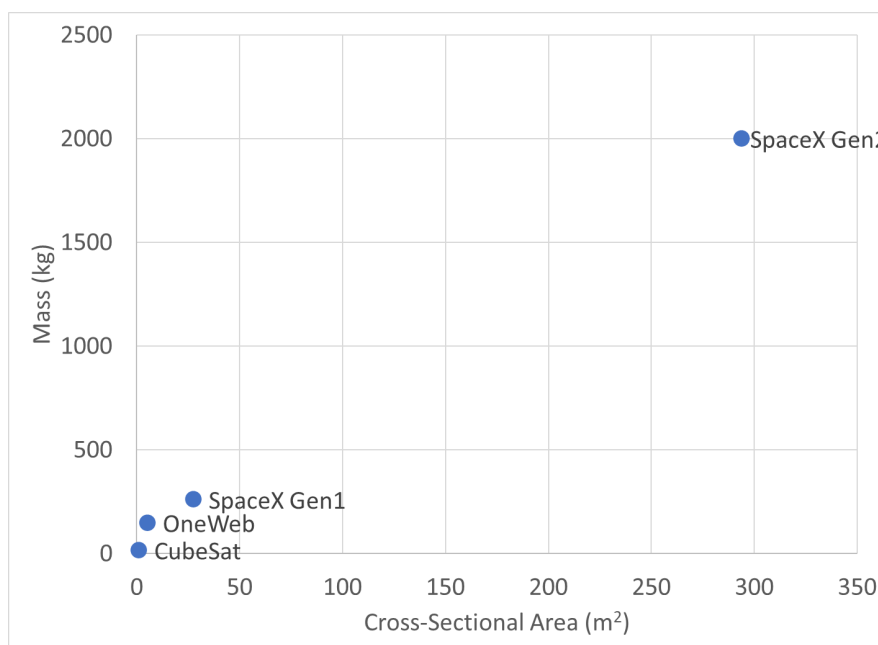


Figura 5: Tendencias de la masa estimada de la nave espacial LEO y de la zona de la sección transversal

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"⁴¹ 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

⁴¹ 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>.

existentes como la probabilidad de que los objetos que no son desechos se conviertan en 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.⁴² 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.⁴³ 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 radiativo⁴⁴ y el

⁴² 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>.

⁴³ 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>.

⁴⁴ 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%20entry](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%20entry;);

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>.

agotamiento de la capa de ozono, lo que aumenta el riesgo de cáncer y otros efectos negativos para la salud;⁴⁵ ii) perjudicar la investigación óptica y radioastronómica crítica al perturbar el cielo nocturno visible;⁴⁶ 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;⁴⁷ y (iv) como ha enfatizado la NASA, perjudicar el funcionamiento de las capacidades críticas de detección y defensa de asteroides.⁴⁸

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 2022,⁴⁹ 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).⁵⁰

⁴⁵ Ver Carta de NRDC e IDA en 3.

⁴⁶ 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>.

⁴⁷ Carta de NRDC e IDA en 3.

⁴⁸ Ver Carta de la NASA en 3 ("Habría 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).

⁴⁹ 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 (proporcionando datos utilizados para la "línea de base" del 1 de enero de 2022).

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

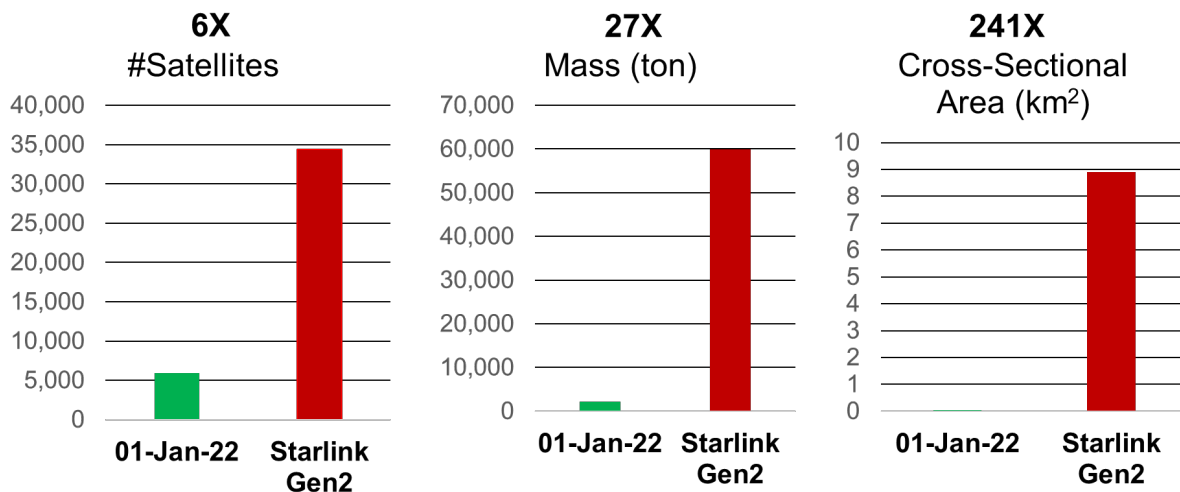


Figura 6: Tendencias en el tamaño, la masa y el área de la sección transversal de la constelación LEO

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.⁵¹ 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.⁵² Entre otras cosas, el impacto de depositar unas 150.000 toneladas de alúmina en la atmósfera superior cuando sus satélites salgan de órbita⁵³ 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

⁵¹ 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>.

⁵² 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, 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".

⁵³ 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 (Al₂O₃), entonces $29,988 \times 230 / 0.52 = 13,263,923$ 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.

operador no ha demostrado cómo lo haría con un sistema ampliado que incorpora 30.000 satélites operativos adicionales.⁵⁴

Además, un aumento del número de satélites N GEO fallidos, las colisiones catastróficas en las que intervienen N GEO (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. Otras capacidades contraespaciales – tales como ciberataques, interferencia electrónica o suplantación de identidad y pulsos electromagnéticos (EMP) - pueden afectar a todo tipo de activos espaciales. Los operadores LEO que sean víctimas de estos ataques pueden perder el control sobre los satélites afectados y ser incapaces de maniobrarlos para evitar colisiones, si es que no causan una.

Los sistemas satelitales en órbita LEO son susceptibles de generar más daño en órbita cuando son atacados que otros sistemas satelitales. Las constelaciones de órbita LEO pueden tener resiliencia cuando se trata de una falla de un solo satélite, pero tienen una vulnerabilidad porque un ataque o colisión que involucra a un satélite puede generar una serie de colisiones en cascada con todas o muchas otras estaciones espaciales en una capa orbital común, e incluso en altitudes orbitales cercanas. La creciente densificación en la órbita LEO combinada con mayores riesgos de ataques contraespaciales crean fragilidad en la órbita LEO.

Lo mismo puede decirse del riesgo que representan para todos los agentes espaciales las actividades espaciales llevadas a cabo por agentes comerciales, 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 N GEO generaría una dispersión similar de desechos letales rastreables y no rastreables en el espacio.⁵⁵ Las órbitas inutilizables por

⁵⁴ 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>.

⁵⁵ "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/>.

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 N GEO, podrían suponer para sus actividades soberanas en, y desde el espacio. La sobresaturación en el espacio es el "combustible" para la creación de desechos espaciales.

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 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 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 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 inaceptable en las redes GEO y que no reclamen la protección contra la interferencia 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, y cesar las emisiones cuando se notifique una interferencia inaceptable;
- Si se produce interferencia en una red GEO, los sistemas N GEO deben cesar sus operaciones y no reanudarlas hasta que aborden la causa de dicha interferencia, 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 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, los operadores de sistemas N GEO cooperarán entre sí y adoptarán las medidas técnicas necesarias para eliminar la interferencia.

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 (por lo cual los sistemas N GEO que prestan servicio en un país en las mismas bandas de frecuencias dividirían el rango de azimuts de los satélites vistos desde un lugar de la Tierra siempre que exista potencial de interferencia N GEO/N GEO en ese lugar);

- 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 +/- 2,5 km para el apogeo y el perigeo de cada satélite N GEO, y una tolerancia de 0,5° 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 NGEO 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 NGEO 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 NGEO 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 NGEO que presente, semestralmente, un informe que demuestre el cumplimiento de las obligaciones vinculadas a las autorizaciones otorgadas.

ANEXO A:

**Ejemplos de Violación de los Límites de la DFPE↓ (Fuchsstadt,
Alemania)**

Anexo A: Ejemplos de Violación de los Límites de la $dfpe\downarrow$ (Fuchsstadt, Alemania)

En este análisis se calculan las superaciones de los límites de interferencia 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 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 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 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 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^2) 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.⁵⁶ 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 en las redes GEO que degrade el servicio y cause pérdidas de

⁵⁶ 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 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).⁵⁷ 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 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 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 previsible con otros sistemas, existentes o futuros.⁵⁸

⁵⁷ Véase en general Recomendación UIT-R S.1503.

⁵⁸ 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 $dfpe$ 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 $dfpe$ pertinente 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 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 § A1.3.⁵⁹

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 en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

Para cumplir con esos límites de $dfpe$, 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

⁵⁹ 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 donde se supera 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 estación terrenas GEO y longitud de satélite GEO, ha recibido un resultado favorable en el marco del proceso de «comprobación aleatoria» de la UIT⁶⁰ 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 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↓ de 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 WCG⁶¹. Las superaciones máximas se muestran en la Tabla 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.

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

⁶¹ 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 \(itu.int\)](#).

Tabla 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

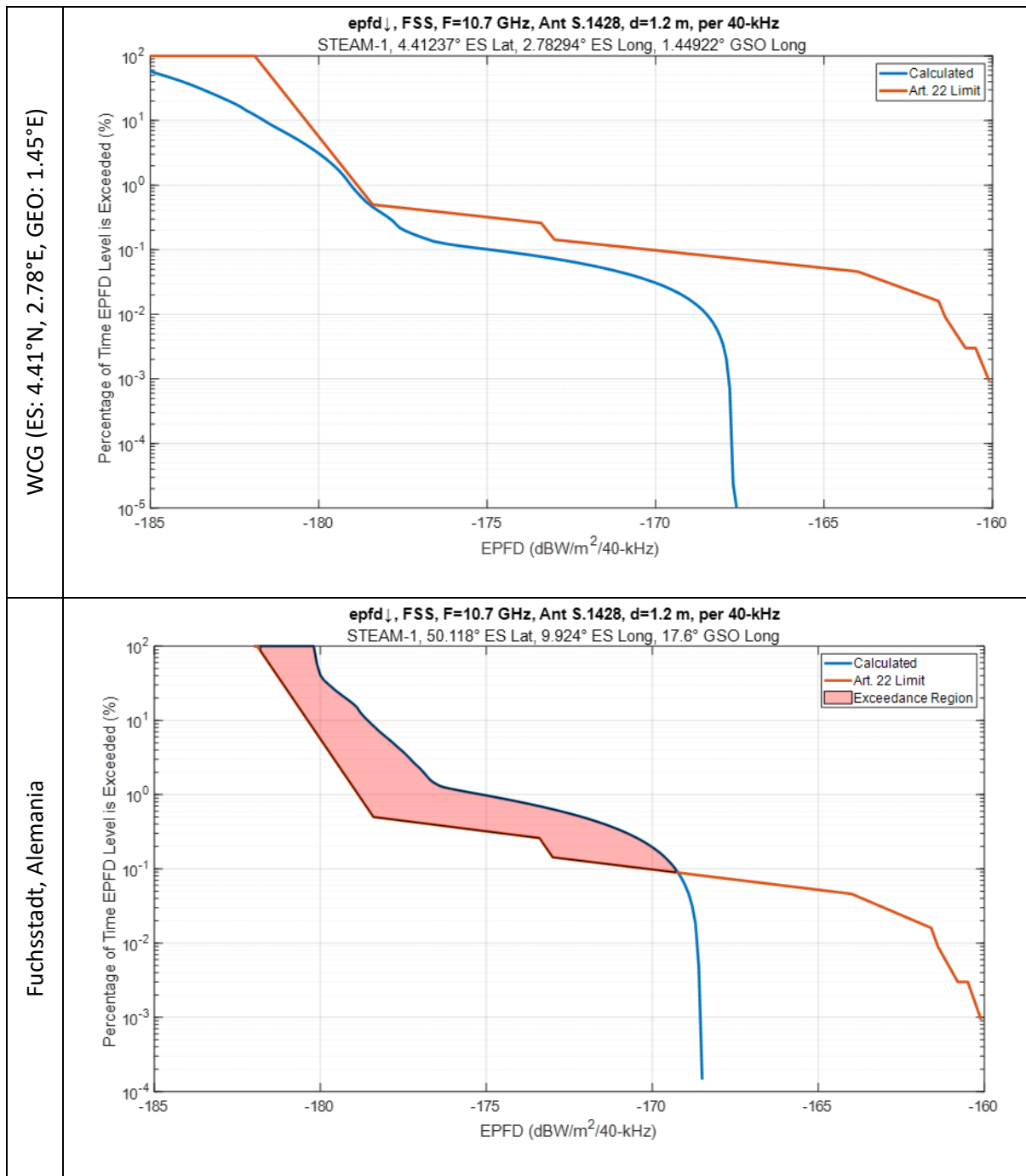


Figura A-1: Comparación de la DFPE STEAM-1↓ a 10,7 GHz con estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

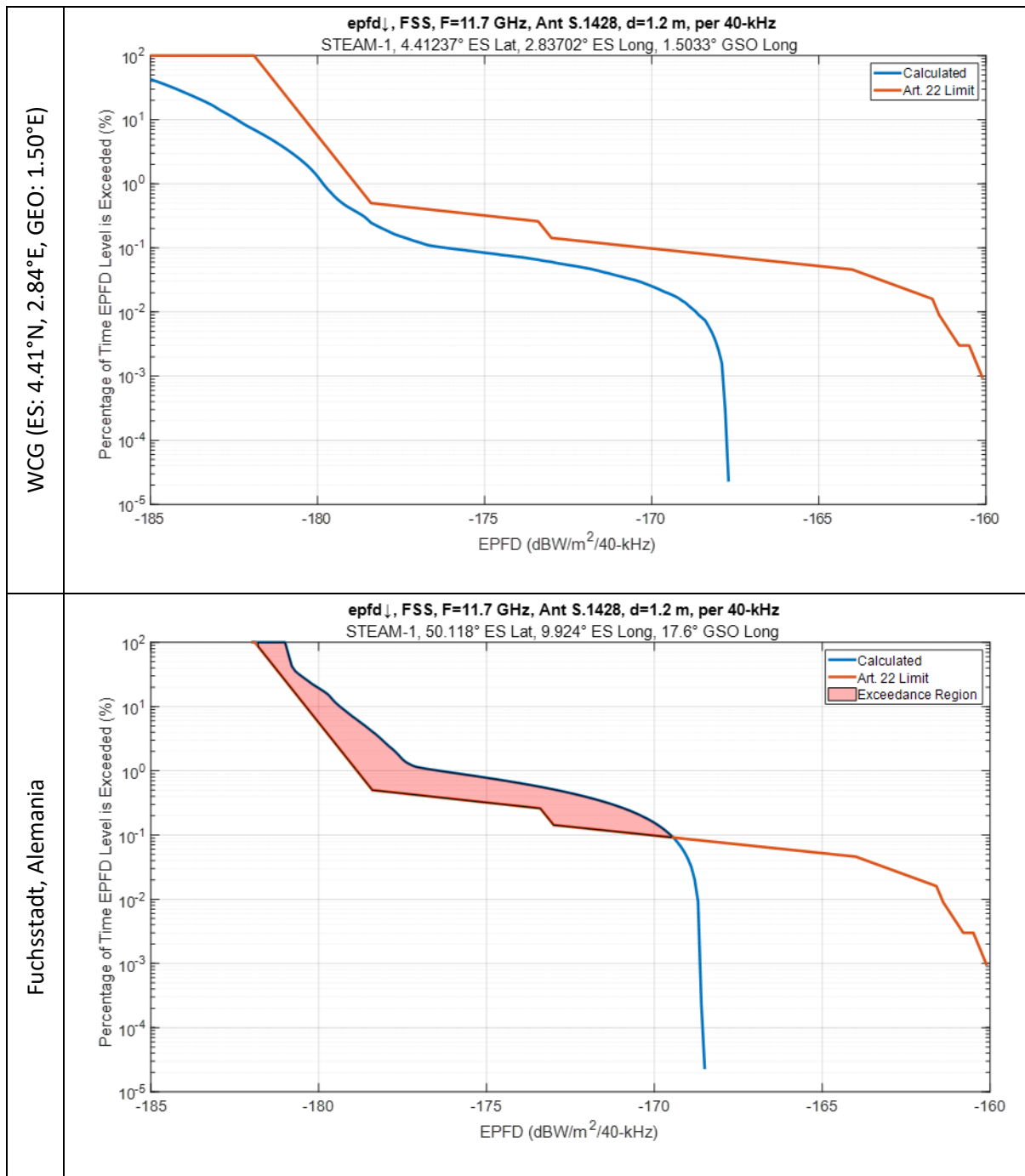


Figura A-2: Comparación de la DFPE STEAM-1 a 11,7 GHz con una estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

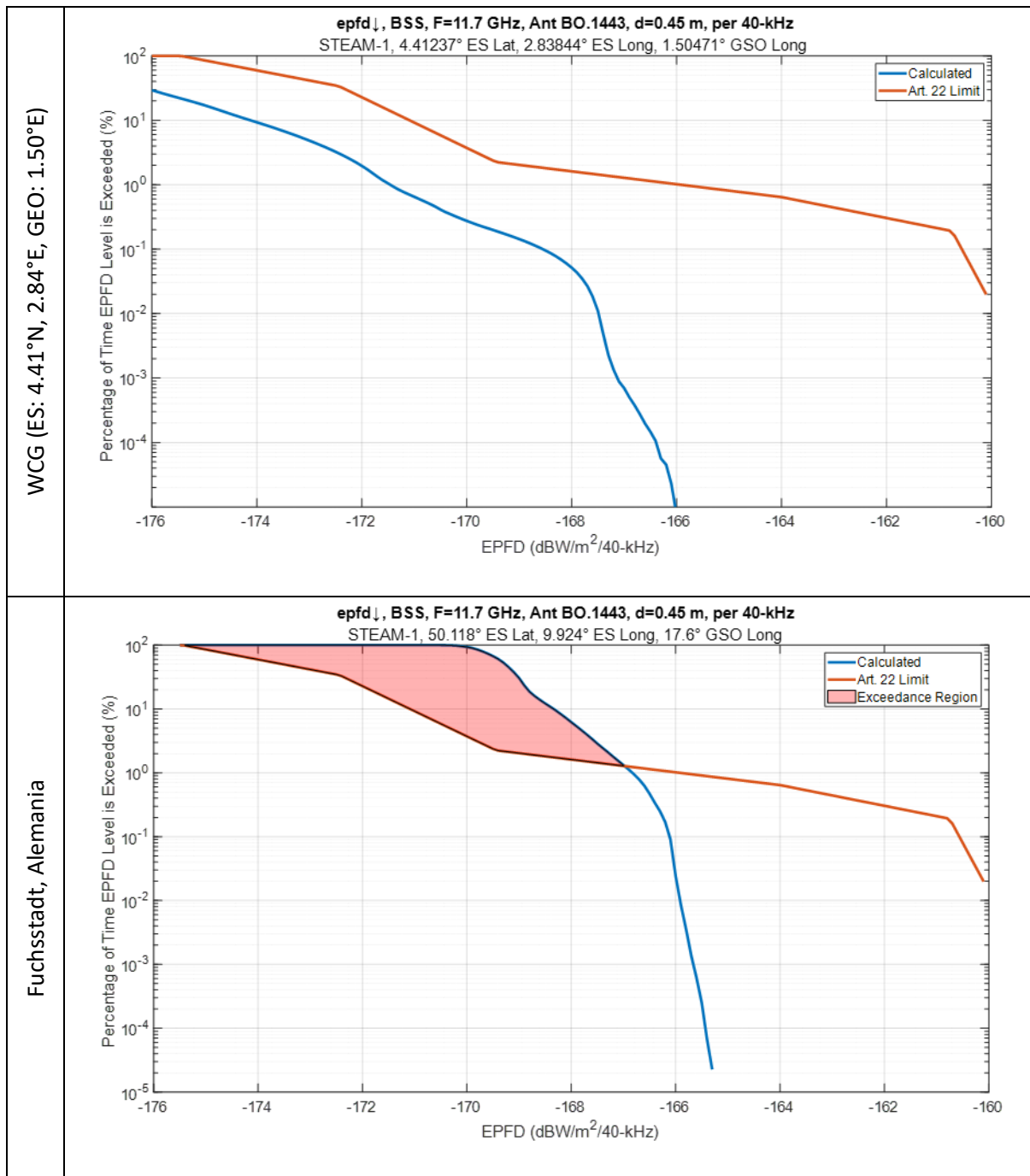


Figura A-3: Comparación de la DFPE STEAM-1 ↓ a 11,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 cm para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

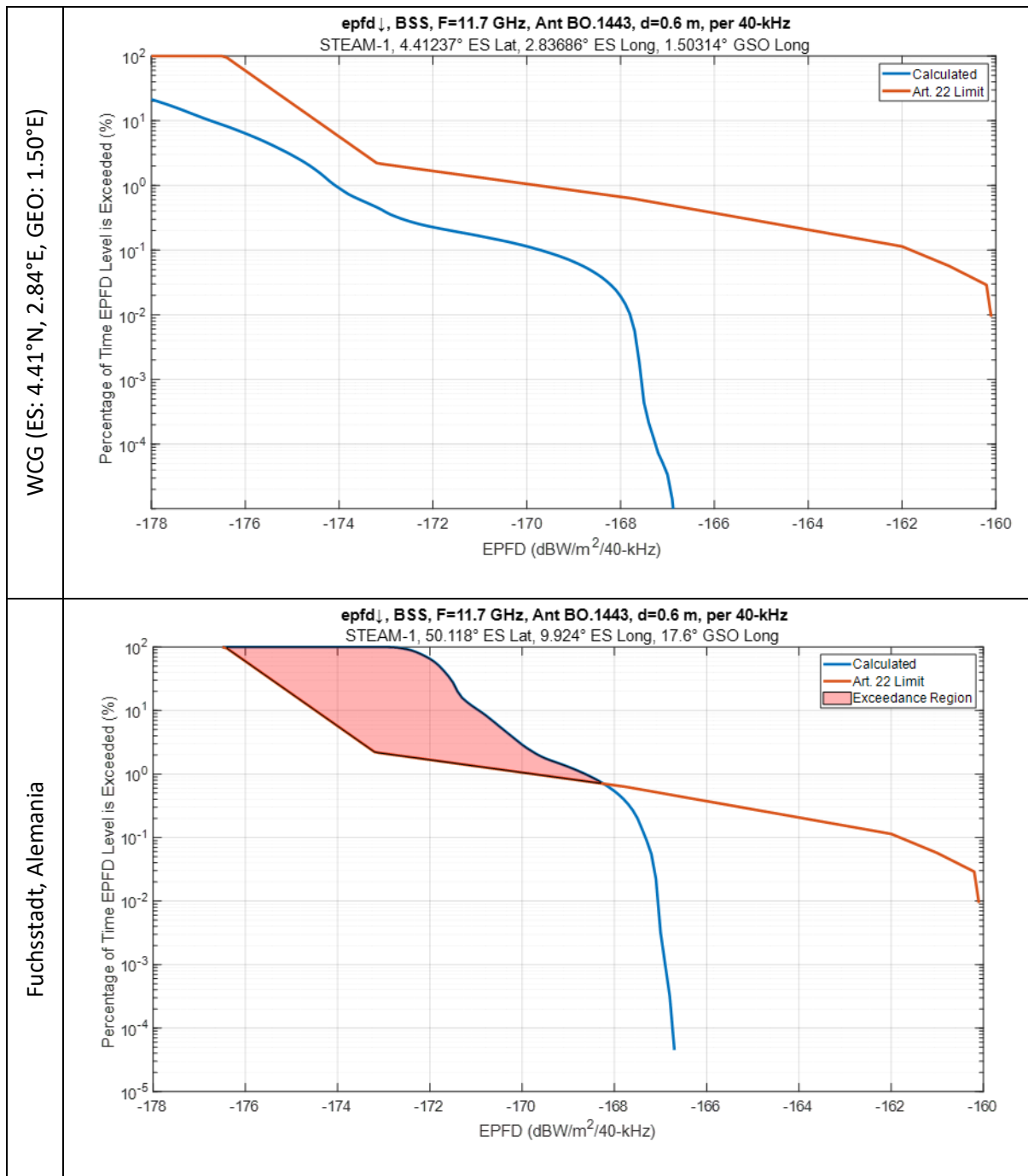


Figura A-4: Comparación de la dfpe STEAM-1 ↓ a 11,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N, 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

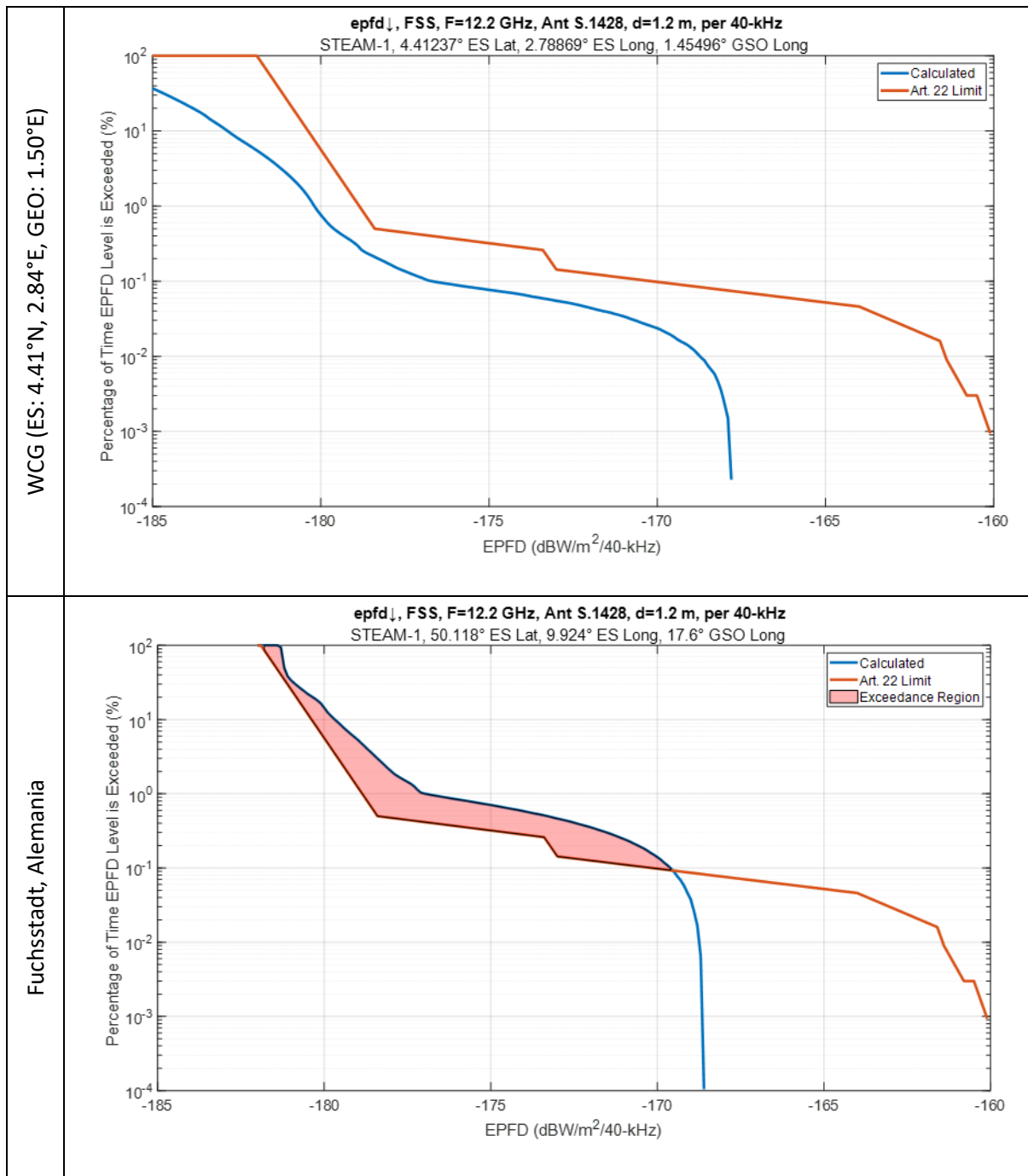


Figura A-5: Comparación de la dfpe STEAM-1↓ a 12,2 GHz con una estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

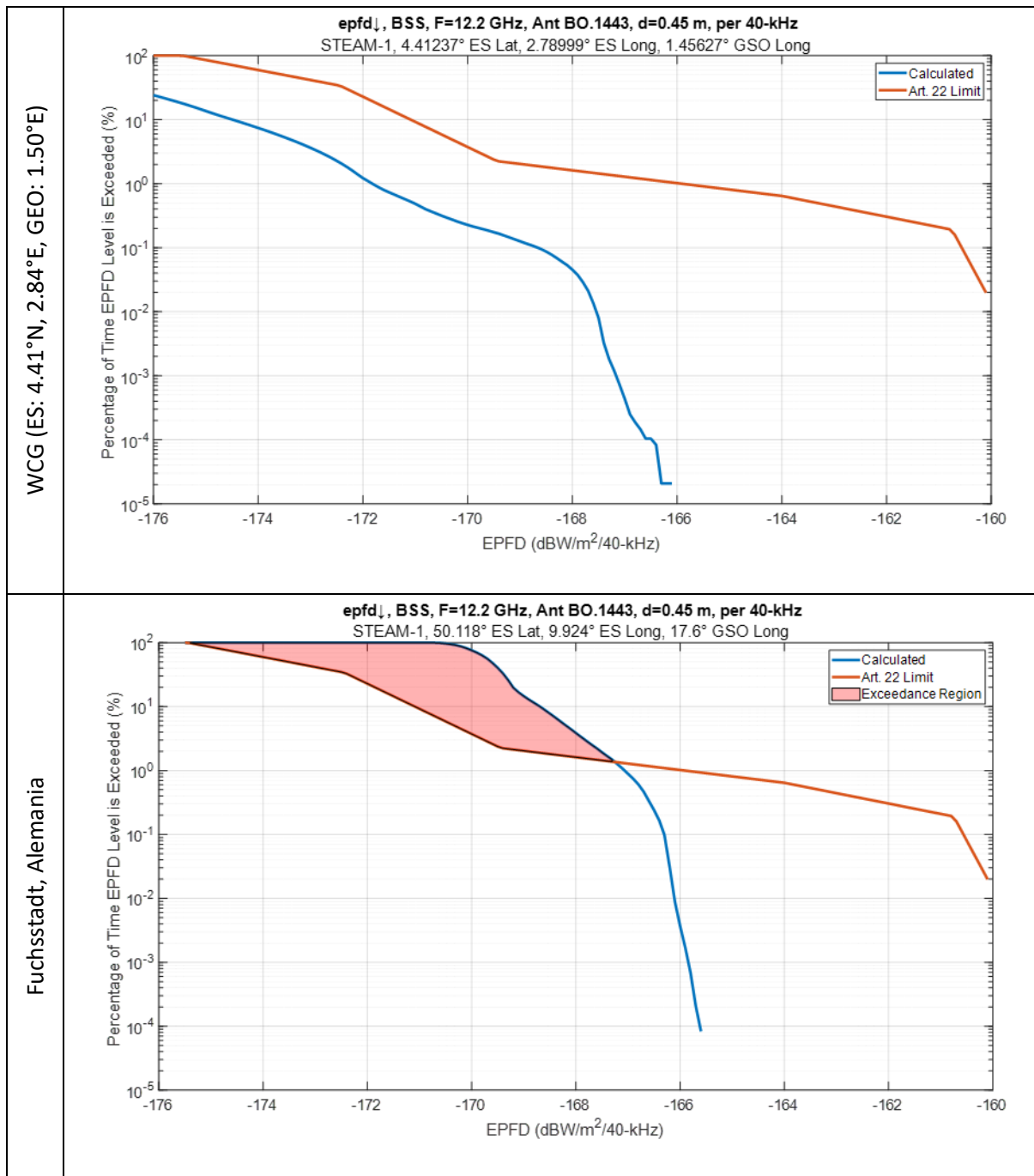


Figura A-6: Comparación de la dfpe STEAM-1↓ a 12,2 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 cm para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

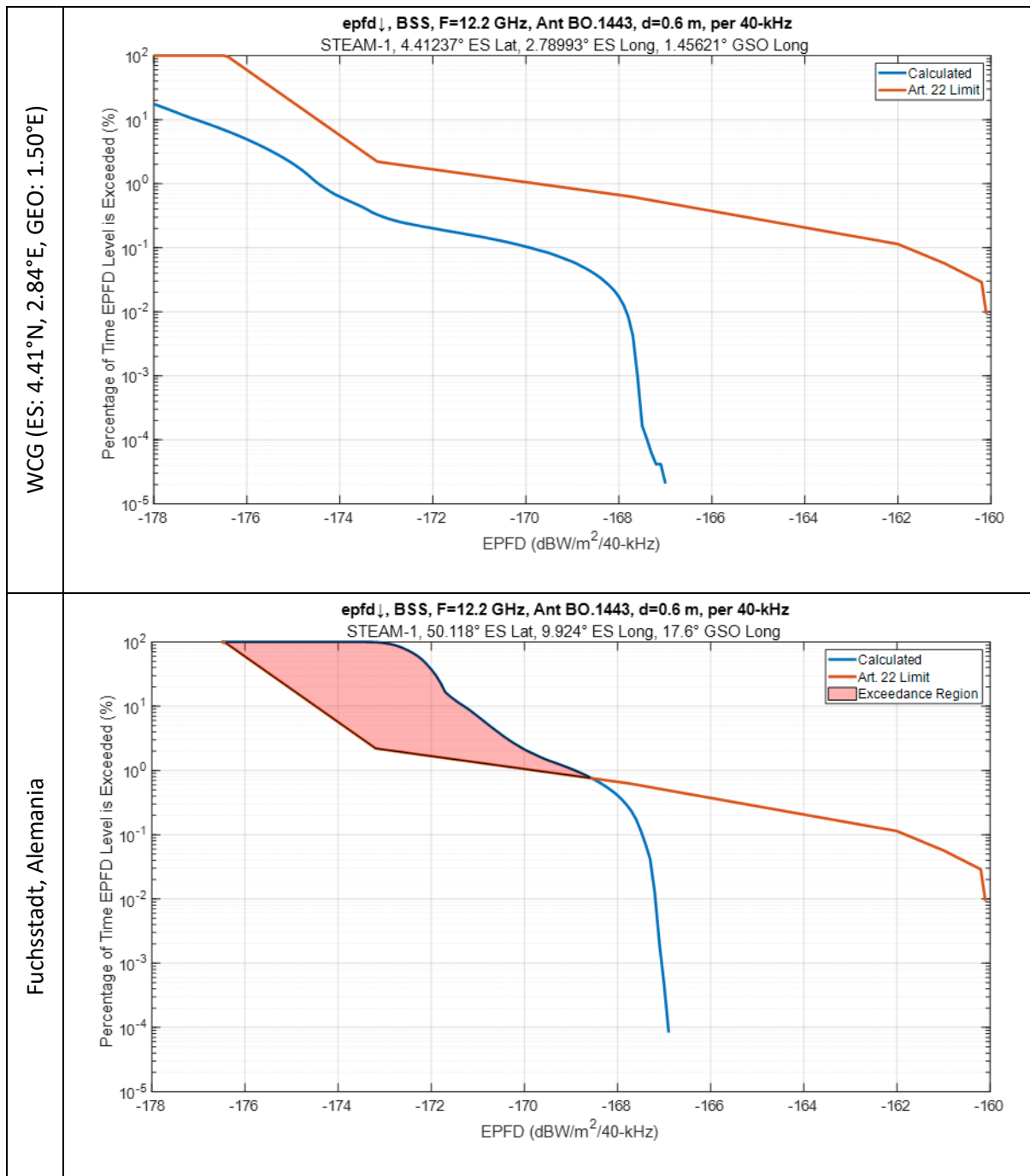


Figura A-7: Comparación de la dfpe STEAM-1↓ a 12,2 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

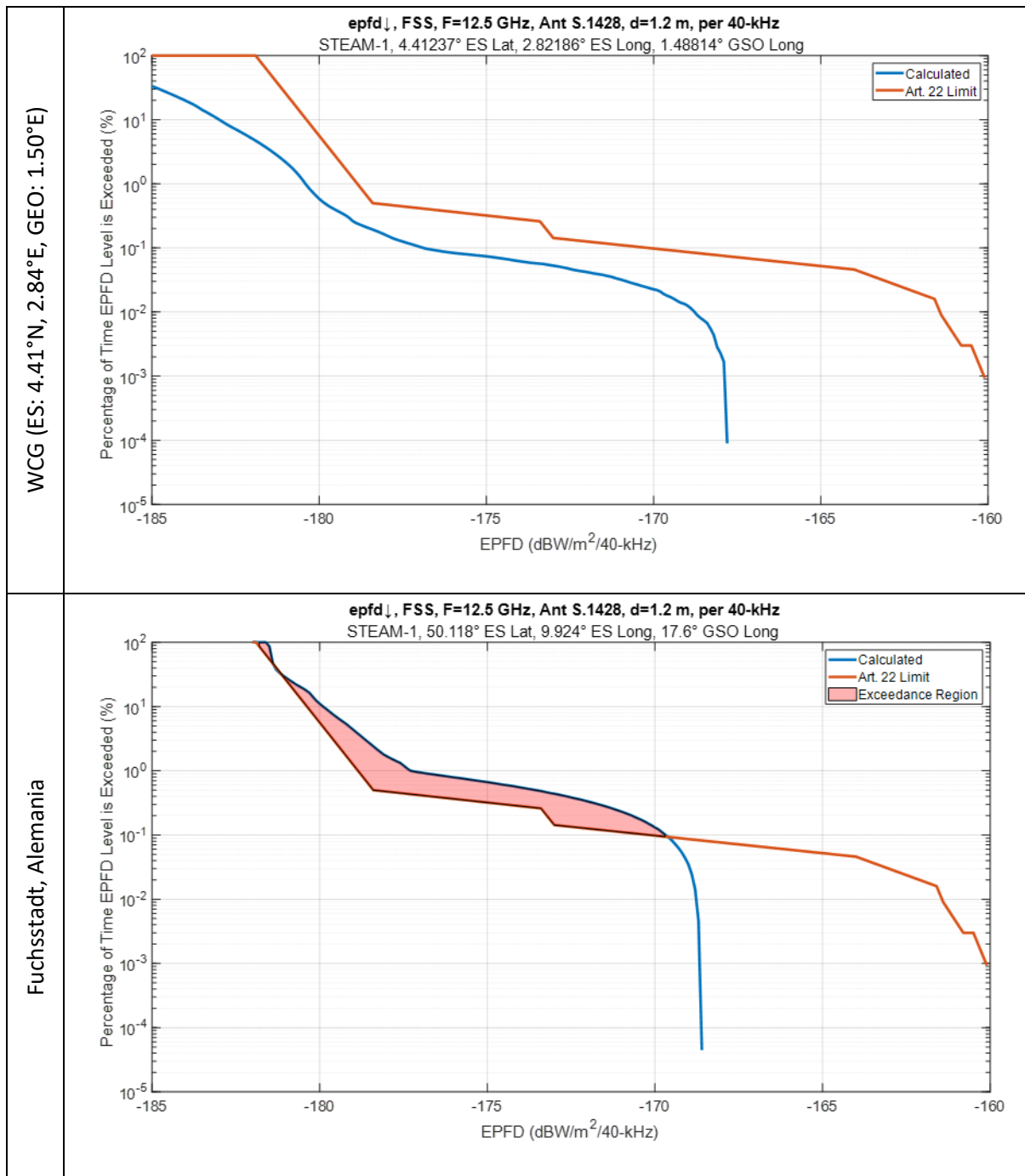


Figura A-8: Comparación de la DFPE STEAM-1↓ a 12,5 GHz con una estación terrena de 1,2 m GEO para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

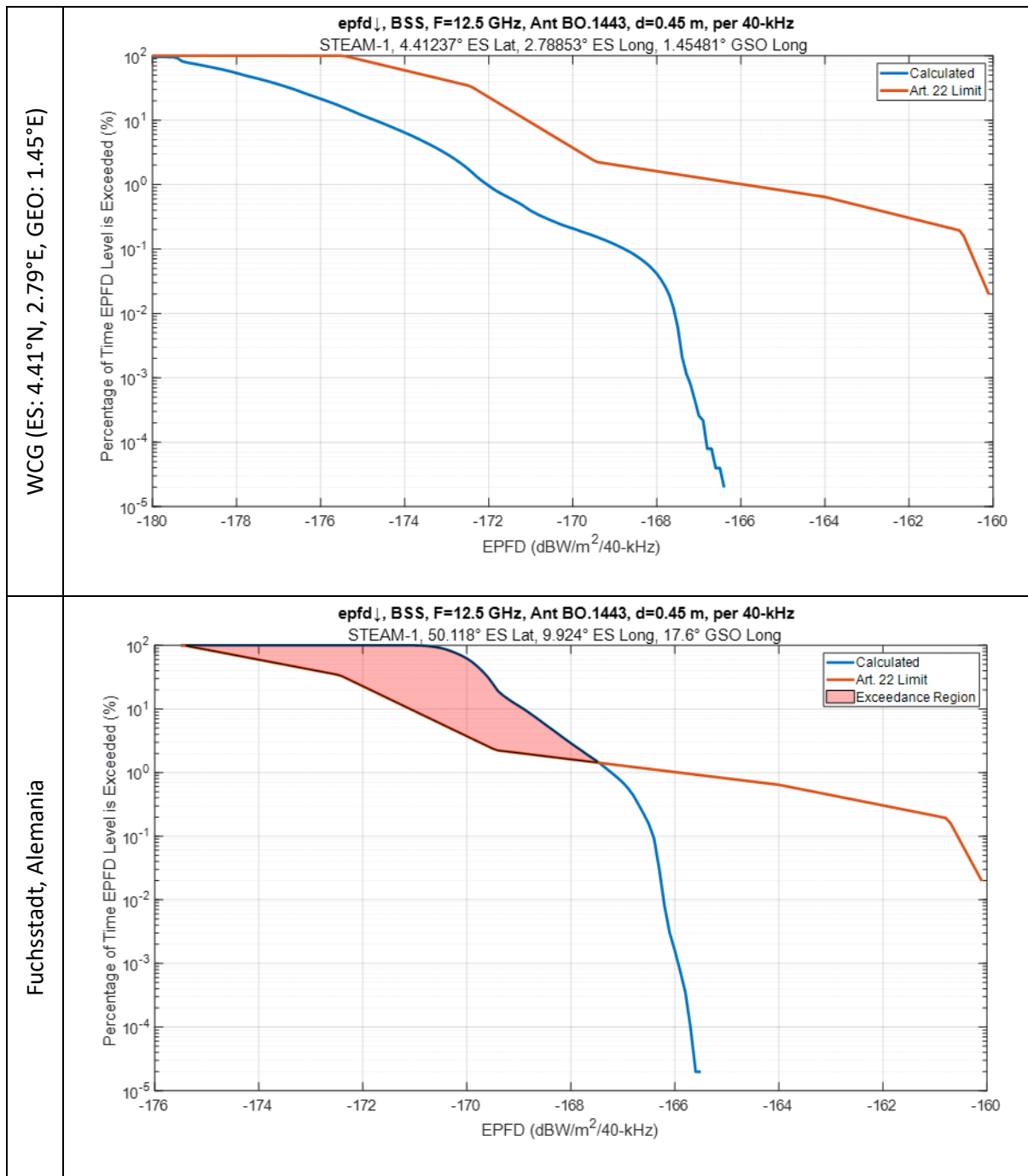


Figura A-9: Comparación de la dfpe STEAM-1↓ a 12,5 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

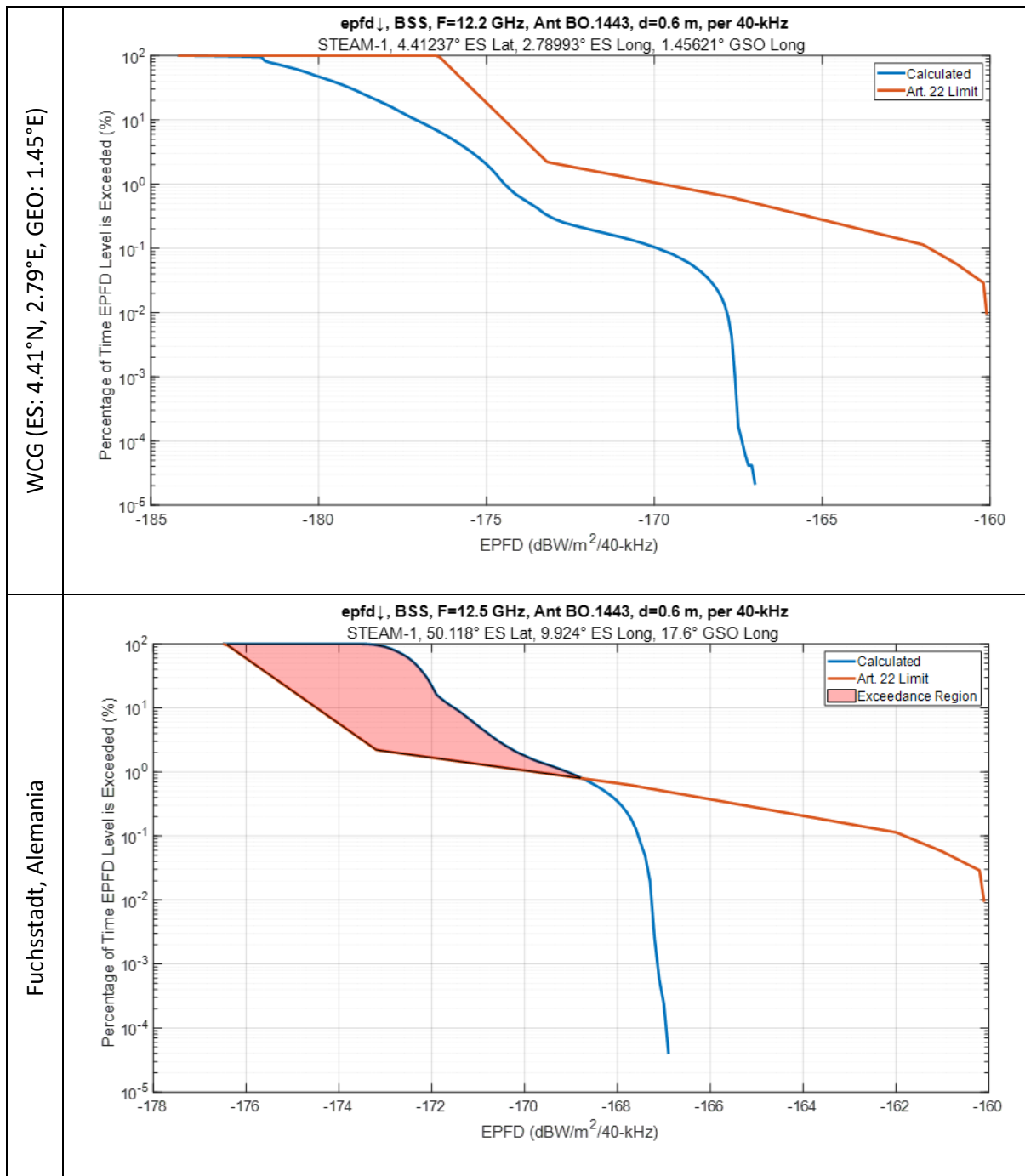


Figura A-10: Comparación de la DFPE STEAM-1 ↓ a 12,5 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

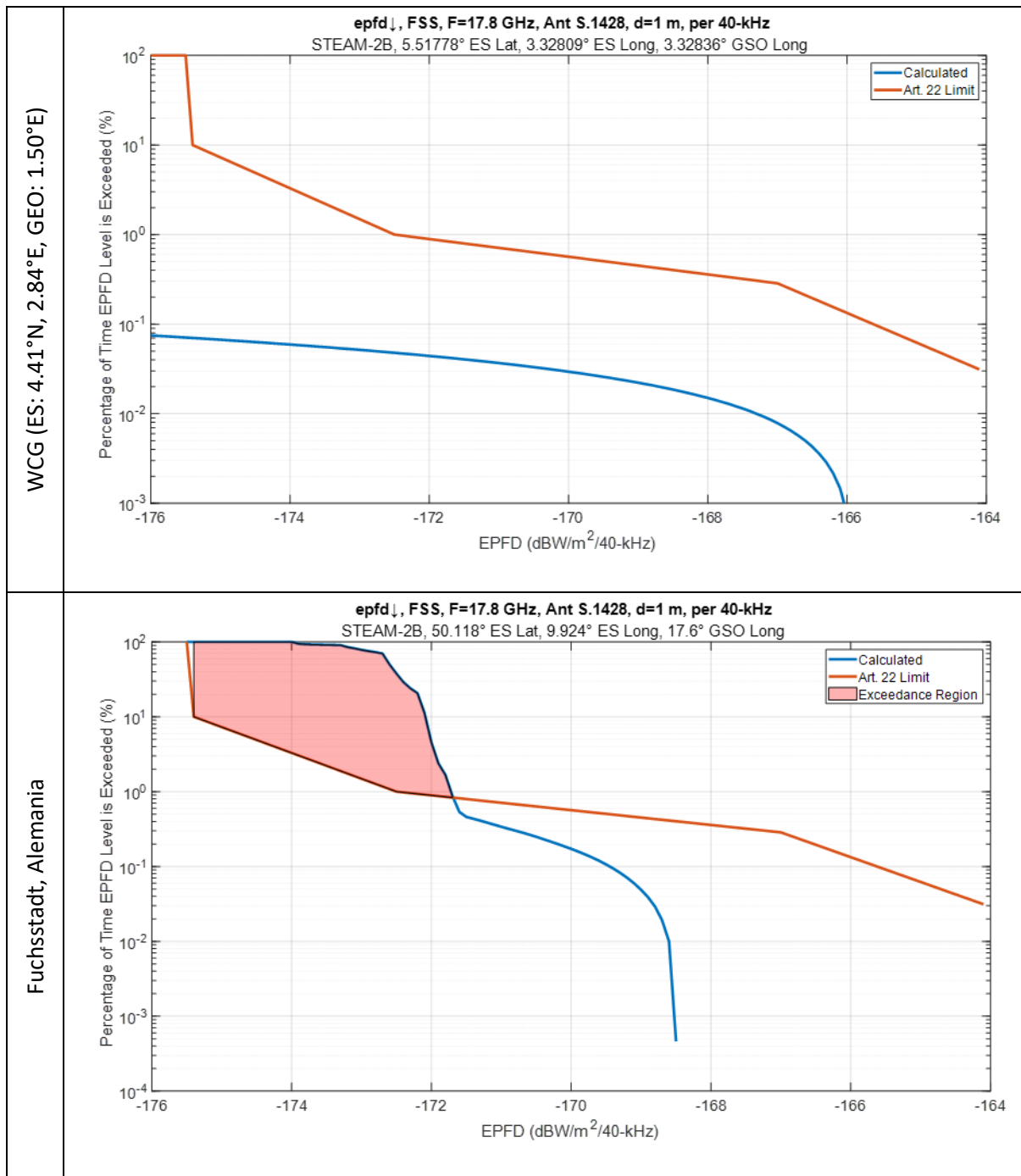


Figura A-11: Comparación de la DFPE STEAM-2↓ a 17,8 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

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.⁶² 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 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

La Tabla A-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.

⁶² 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.

Tabla 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	Superación Pico	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 WCG⁶³ 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.

⁶³ 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.

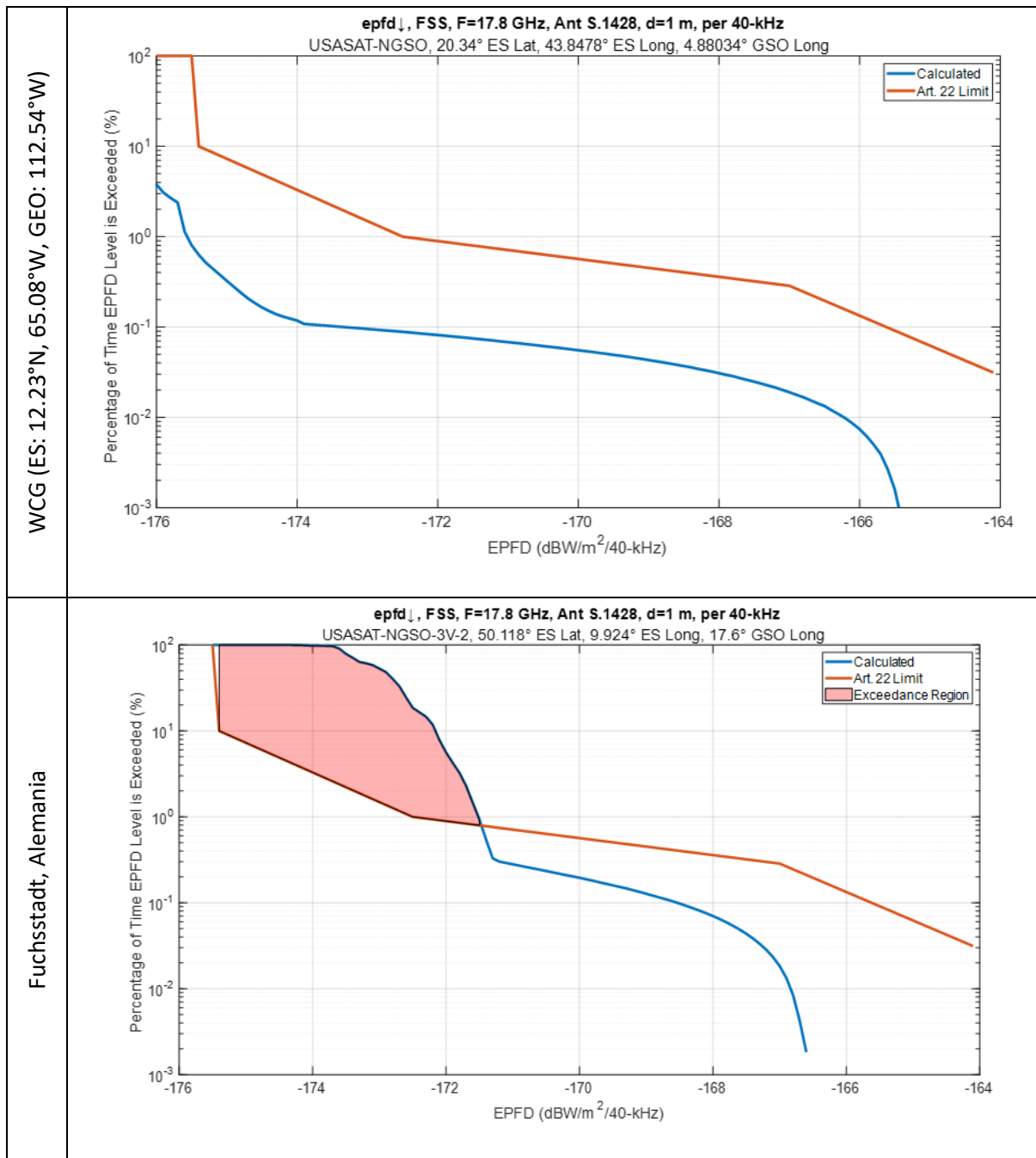


Figura A-12: Comparación de la dfpe USASAT-NGSO-3V-2↓ en la banda 17,8 – 18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchstadt, Alemania (50,118°N, 9,924°E) con satélite un GEO en 17,6°E

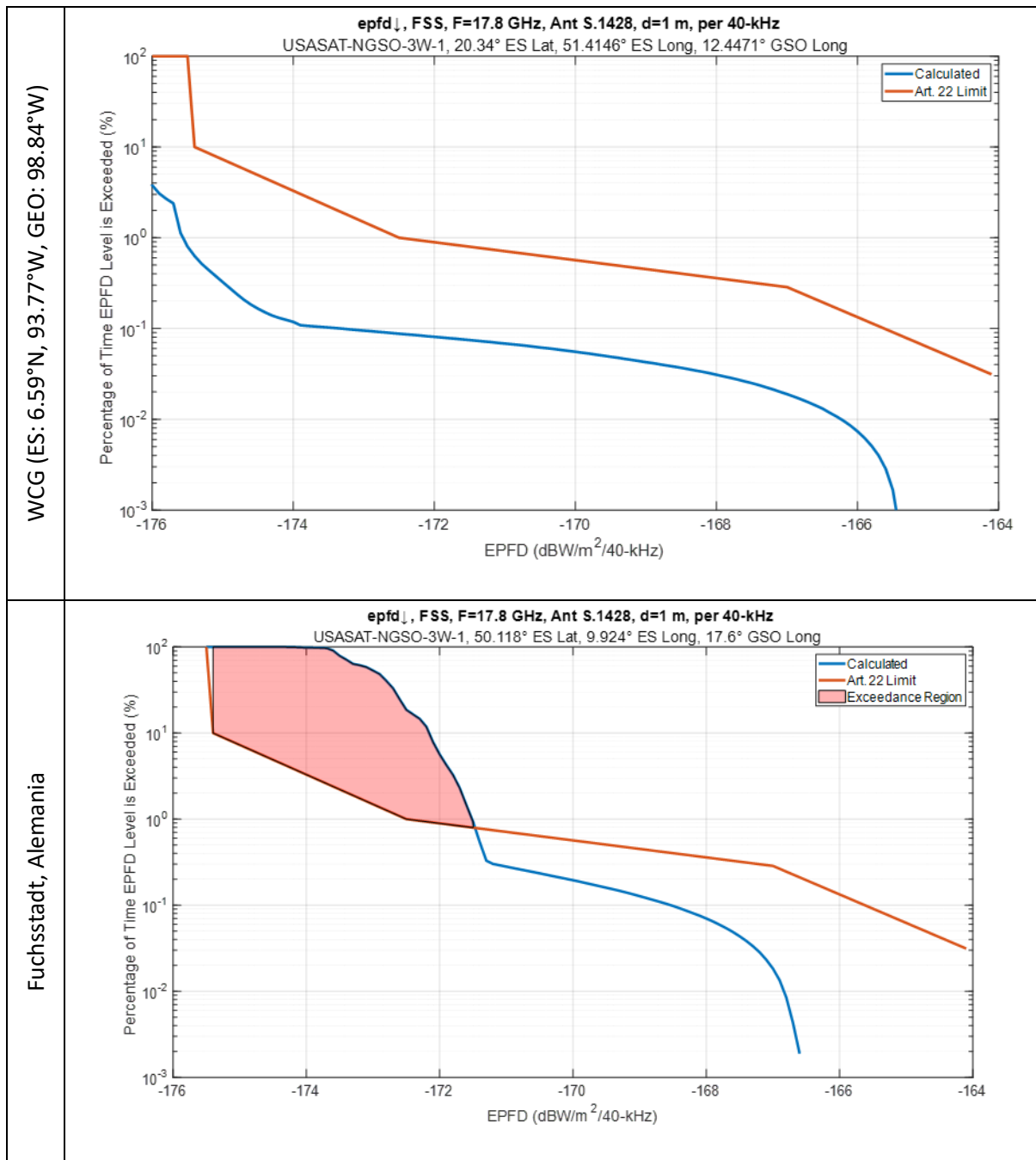


Figura A-13: Comparación de la dfpe USASAT-NGSO-3W-1 ↓ en la banda 17,8-18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

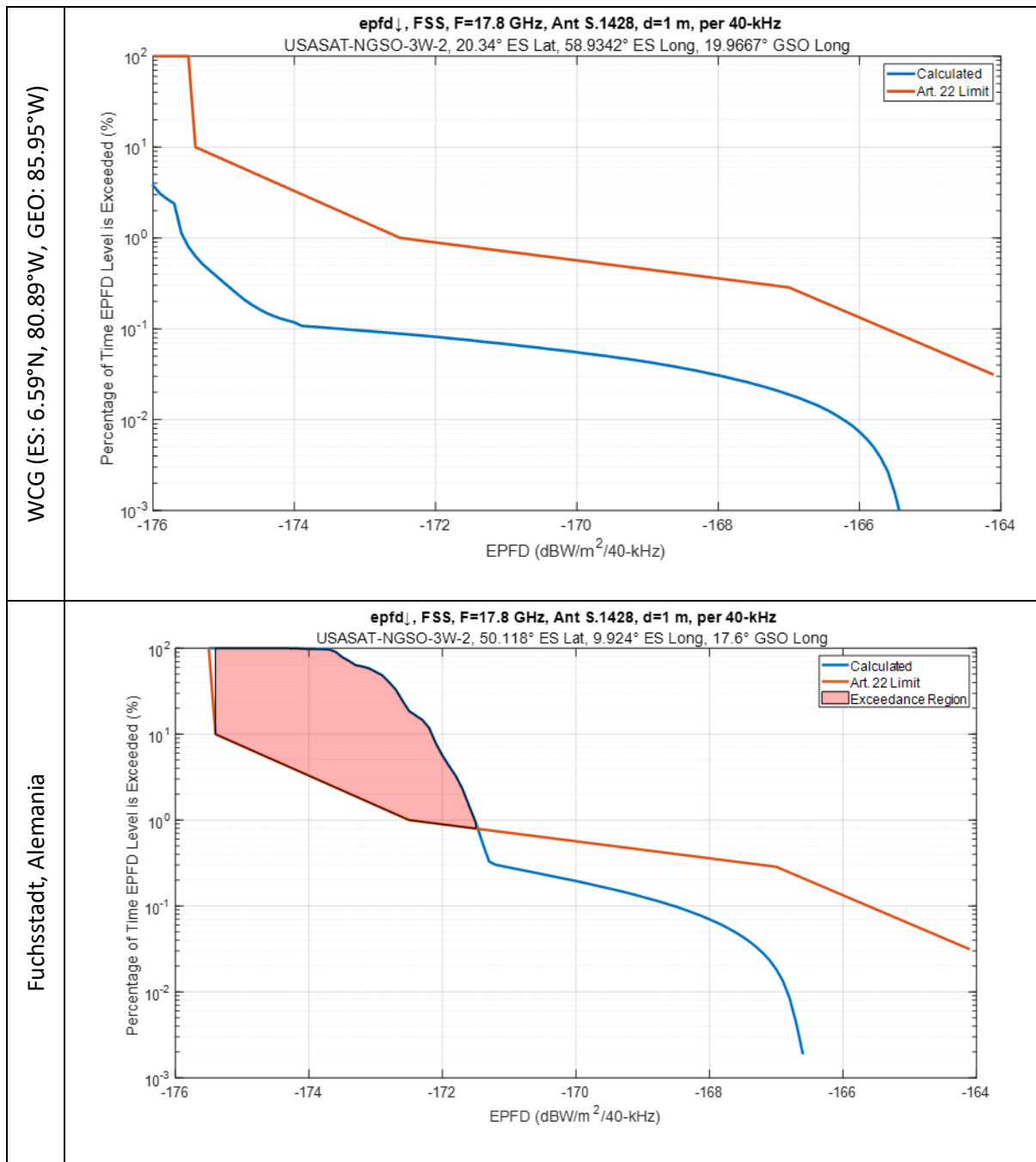


Figura A-14: Comparación de la dfpe USASAT-NGSO-3W-2↓ en la banda 17,8-18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con satélite GEO en 17,6°E

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 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 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.⁶⁴

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,⁶⁵ 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.**⁶⁶

⁶⁴ 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 N° SAT-LOA-20200526-00055 y SAT-AMD-20210818-00105, en 3, (que confirma que SpaceX tiene la intención de operar un único "sistema Gen2").

⁶⁵ 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 (última visita el 24 de agosto de 2022).

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

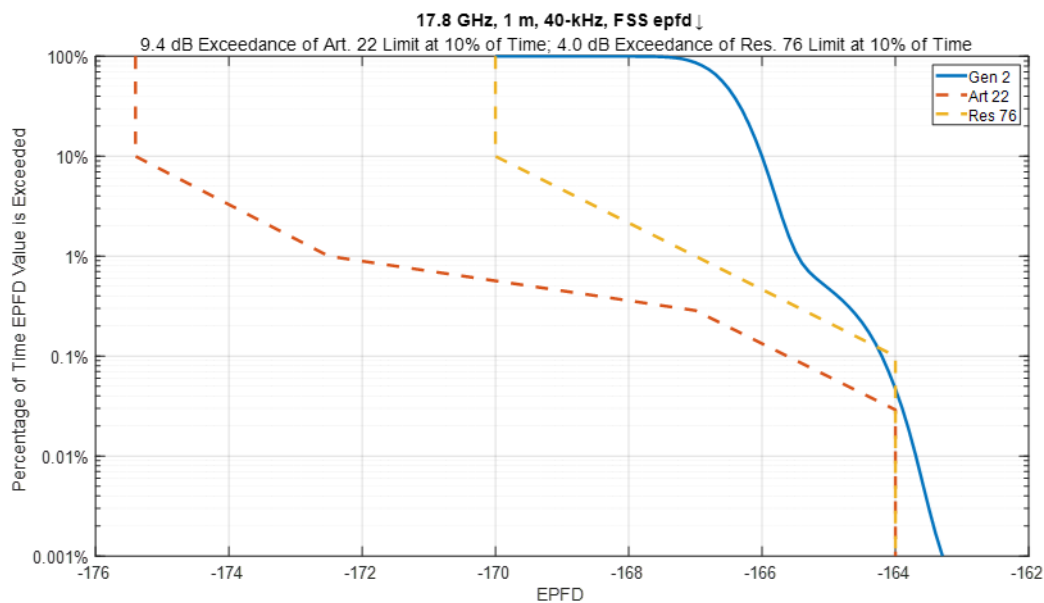


Figura A-15: DFPE↓ combinada para 29.988 satélites Starlink Gen2 en la banda 17,8-18,6 GHz con una estación terrena GEO de 1 m para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO wn 17,6°E

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*.⁶⁷

⁶⁷ 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 longitud⁶⁸. Las excedencias máximas se muestran en la Tabla A-3. 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.

Tabla A-3: 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

⁶⁸ 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 \(itu.int\)](#).

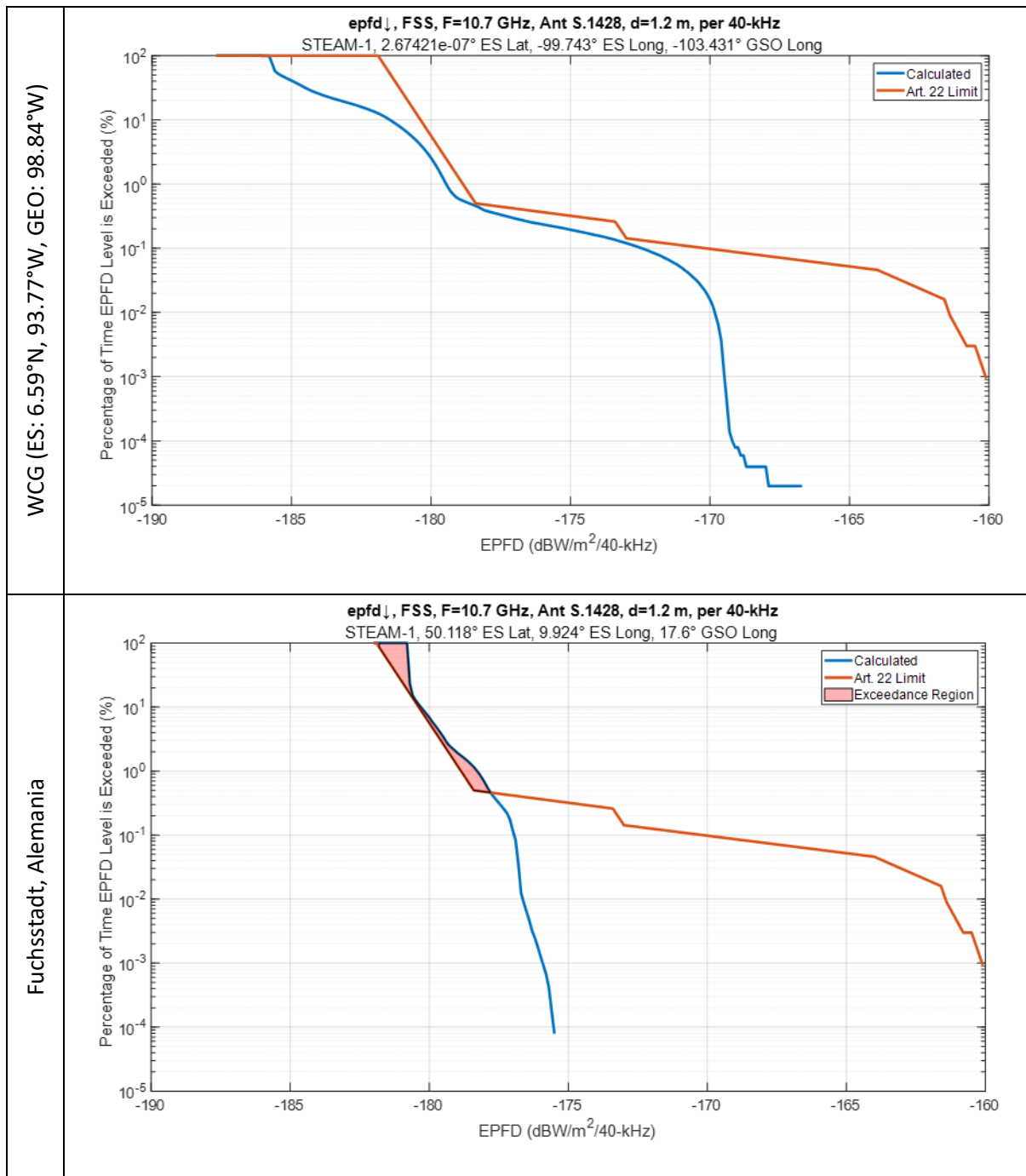


Figura A-16: Comparación de la $dfpe_{\downarrow}$ STEAM-1 (ID 121520025) a 10,7 GHz con una estación terrena GEO de 1,2 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N. 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

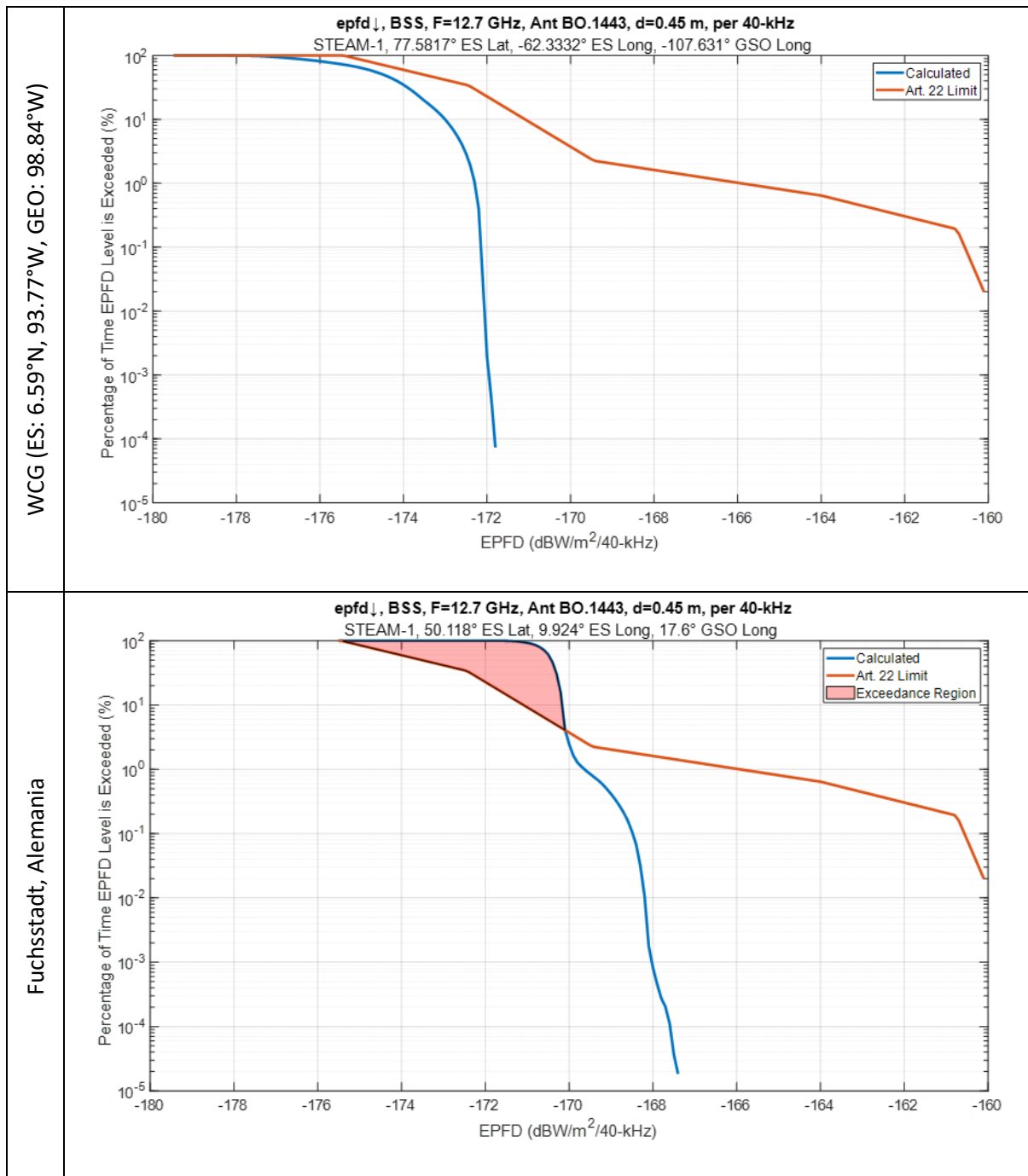


Figura A-17: Comparación de la $dfpe_{\downarrow}$ STEAM-1 (ID 121520025) a 12,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,45 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N, 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

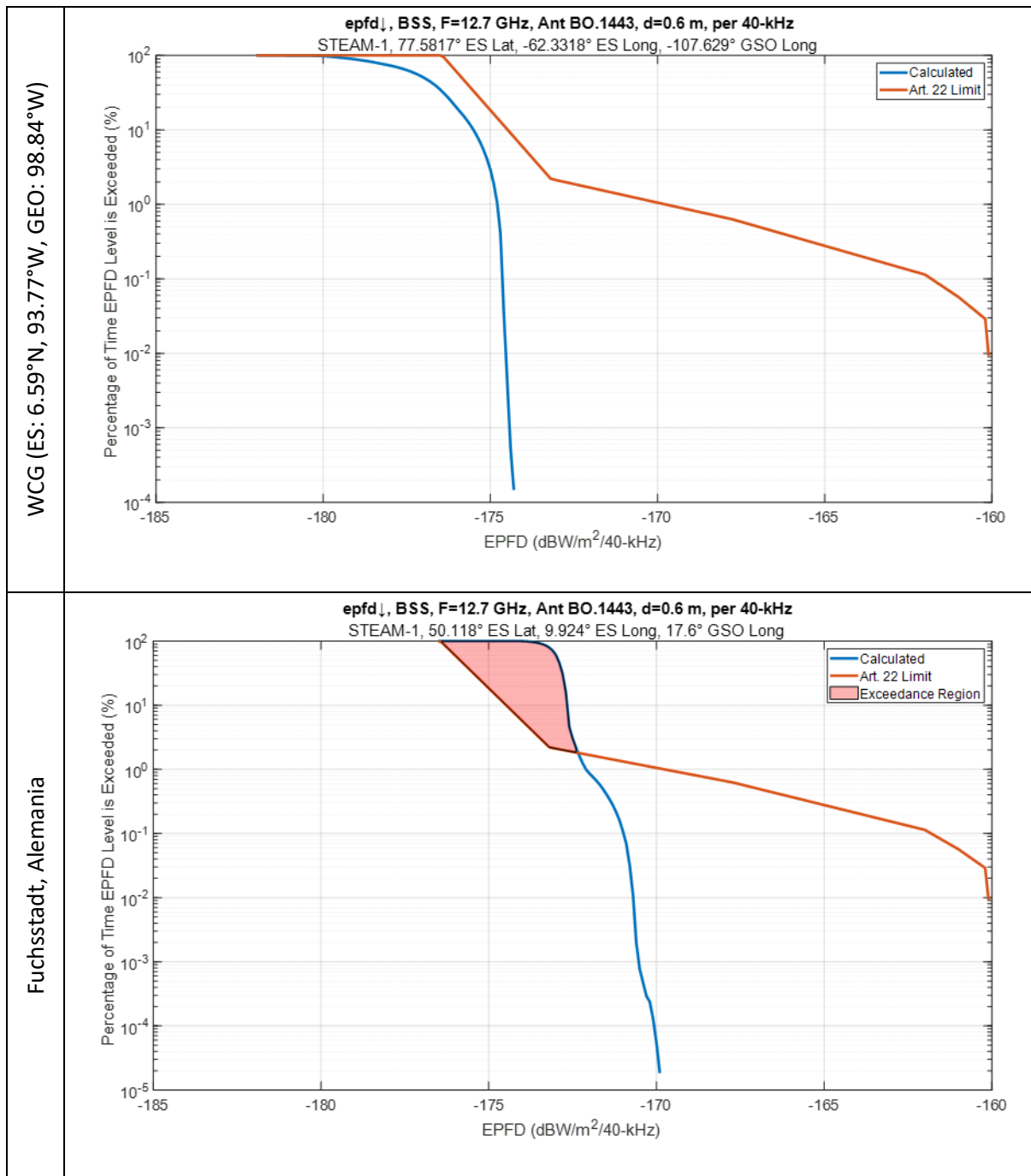


Figura A-18: Comparación de la $dfpe_{\downarrow}$ STEAM-1 (ID 121520025) a 12,7 GHz con una estación terrena GEO de 0,6 m para WCG y para Fuchsstadt, Alemania (50,118°N, 9,924°E) con un satélite GEO en 17,6°E

ANEXO B:

Obstaculizando el Acceso Equitativo en las Bandas de Frecuencias de NGEO

Anexo B: Obstaculizando el Acceso Equitativo en 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) se calculó mediante simulación de Monte Carlo. Los porcentajes reflejan la cantidad de tiempo que puede esperarse que se produzcan eventos de interferencia 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.**

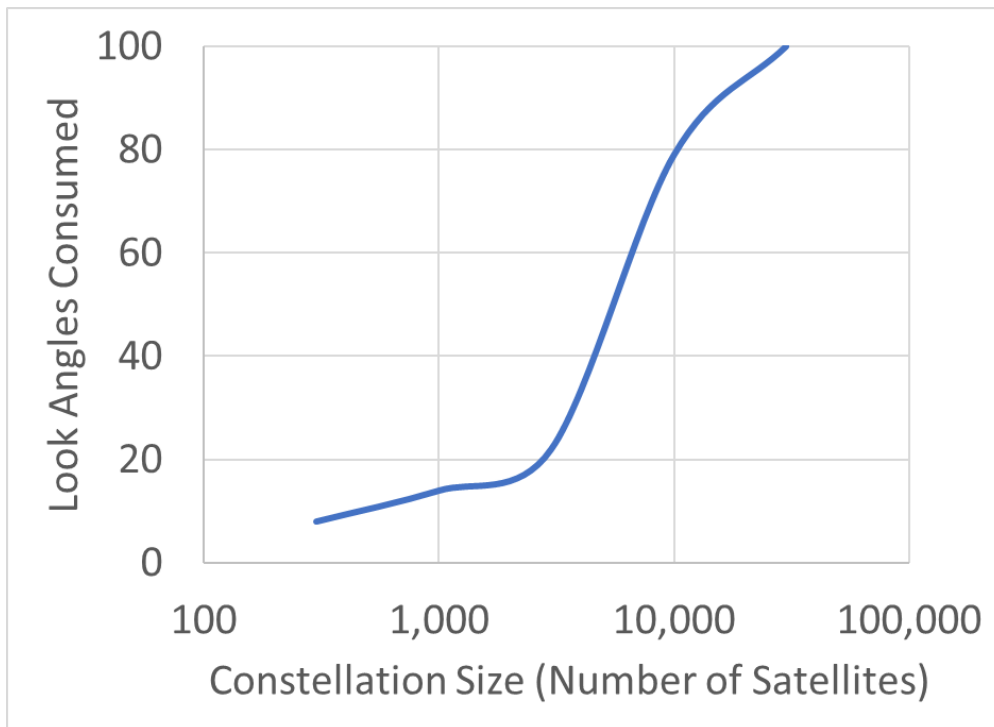


Figura B-1: Porcentaje de ángulos de visión utilizados en función del tamaño de la constelación N GEO

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 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 II.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 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.

