

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R SA.1862**  
(01/2010)

**Directrices para una utilización eficaz de  
la banda 25,5-27,0 GHz por los servicios  
de exploración de la Tierra por satélite  
(espacio-Tierra) y de investigación  
espacial (espacio-Tierra)**

**Serie SA**  
**Aplicaciones espaciales y meteorología**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	<b>Aplicaciones espaciales y meteorología</b>
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1862

**Directrices para una utilización eficaz de la banda 25,5-27,0 GHz por los servicios de exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra) y de investigación espacial (espacio-Tierra)**

(2010)

**Cometido**

Esta Recomendación contiene directrices para optimizar la utilización de la banda de frecuencias 25,5-27,0 GHz entre distintos sistemas científicos espaciales tales como las redes de investigación del espacio cercano a la Tierra y del espacio lejano, los sistemas de exploración de la Tierra, los sistemas de satélites geoestacionarios y las redes de satélites de retransmisión de datos. La Recomendación también identifica los límites de densidad de flujo de potencia reducida que deben aplicarse a los satélites geoestacionarios para ofrecer mejor protección a las misiones de investigación espacial con enlaces espacio-Tierra sensibles. Especifica igualmente un límite de densidad de flujo de potencia en la OSG para proteger a los sistemas de satélites de retransmisión de datos.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la banda 25,5-27,0 GHz está atribuida al servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (espacio-Tierra) y al servicio de investigación espacial (SIE) (espacio-Tierra) y la banda 25,25-27,50 GHz está atribuida al servicio entre satélites<sup>1</sup> (SES);
- b) que las misiones cercanas a la Tierra del SETS y del SIE en la banda 25,5-27,0 GHz pueden ser compatibles bajo ciertas condiciones;
- c) que las densidades de flujo de potencia (DFP) en la superficie de la Tierra provocada por misiones del SIE son muy bajas en el caso de misiones lunares y extremadamente bajas en el caso de misiones en puntos de Lagrange Sol-Tierra y de espacio lejano;
- d) que, debido al bajo valor de DFP, las misiones de espacio lejano son muy vulnerables a la interferencia y deben aplicar unos criterios de protección estrictos;
- e) que diversas administraciones están planificando vuelos de misiones tripuladas en el entorno lunar y más allá;
- f) que las misiones tripuladas tienen unos criterios de protección más estrictos que las misiones no tripuladas;
- g) que debido a la atenuación atmosférica, específicamente la atenuación debida a la lluvia y los límites de densidad flujo de potencia especificados en el Artículo 21 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), puede ser difícil lograr disponibilidades del enlace superiores al 99,9% en la banda 25,5-27,0 GHz;

---

<sup>1</sup> La utilización de la banda 25,25-27,50 GHz por el servicio entre satélites se limita a las aplicaciones de investigación espacial y de exploración de la Tierra por satélite.

- h) que la utilización prevista de la banda 25,5-27,0 GHz por misiones del SIE y el SETS probablemente no será compatible con los criterios de protección de misiones tripuladas del SIE especificados en la Recomendación UIT-R SA.609;
- j) que está prevista la utilización de la banda 25,5-27,0 GHz por el SETS para diversas misiones de observación de la Tierra, exploración de la Tierra y supervisión del clima;
- k) que la disponibilidad de la banda 25,5-27,0 GHz es fundamental para las misiones del SIE y del SETS próximas a la Tierra con requisitos de alta velocidad de transmisión de datos;
- l) que la interferencia procedente de los satélites geoestacionarios transmisores puede degradar significativamente los márgenes del enlace e incluso causar la interrupción de enlaces sensibles de misiones del SIE si estos satélites funcionan con valores próximos a los de los límites de DFP actualmente aplicables (véase el Anexo 1);
- m) que el Artículo 21 del RR limita la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra a niveles comprendido entre  $-115$  y  $-105$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) dependiendo del ángulo de llegada;
- n) que reduciendo los límites de DFP por debajo de los especificados en el Artículo 21 del RR para satélites geoestacionarios se proporcionaría la necesaria protección a las misiones del SIE lunar y de la Lagrange;
- o) que los enlaces espacio-Tierra de los típicos satélites no geoestacionarios siempre pueden cumplir el límite de densidad-flujo de potencia necesario para proteger un satélite de retransmisión de datos mientras que los satélites no geoestacionarios con órbitas por encima de 1 370 km pueden necesitar cierto margen para rebasarlo durante un pequeño porcentaje de tiempo,

*reconociendo*

- a) que la recopilación en el espacio de datos meteorológicos y del clima a escala global para apoyar el Sistema Mundial de Observación de la Tierra (GEOSS) cada vez es más importante en todo el planeta;
- b) que está previsto utilizar la banda 25,5-27,0 GHz por las misiones del SIE tripuladas para la transmisión de datos no relativos a la seguridad de los astronautas y del vehículo espacial;
- c) que los satélites no geoestacionarios también deben cumplir los criterios de protección indicados en la Recomendación UIT-R SA.1155 referentes al funcionamiento de los sistemas de satélites de retransmisión de datos,

*recomienda*

- 1** que las misiones de espacio lejano no utilicen la banda 25,5-27,0 GHz del SIE (espacio-Tierra) a menos que los requisitos de la misión no puedan satisfacerse en otras bandas específicamente atribuidas a las operaciones en el espacio lejano;
- 2** que, si por motivos inevitables, una misión de espacio lejano exige la utilización de la banda 25,5-27,0 GHz, dicha misión no reclame una protección contra la interferencia procedente de misiones próximas a la Tierra superior a la establecida por los criterios de protección de la Recomendación UIT-R SA.609 aplicables a misiones no tripuladas en la banda 25,5-27,0 GHz;
- 3** que las misiones del SIE tripuladas no reclamen una protección contra la interferencia procedente de misiones del SETS y del SIE no tripuladas superior a la establecida por los criterios de protección establecidos en la Recomendación UIT-R SA.609 aplicables a misiones no tripuladas en la banda 25,5-27,0 GHz;

4 que, para proporcionar protección adicional a las misiones del SIE lunares y de Lagrange, las misiones del SETS y del SIE en órbitas de satélites geoestacionarios limiten sus niveles de DFP a  $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  en la banda 25,5-27,0 GHz para todos los ángulos de llegada a la superficie de la Tierra (véase el Anexo 1);

5 que los satélites no geoestacionarios del SETS y del SIE con enlaces de satélites espacio-Tierra no produzcan una DFP mayor de  $-133 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  en ningún emplazamiento de satélite de retransmisión de datos en órbita geoestacionaria. Este límite puede basarse durante no más del 0,1% del tiempo para sistemas no OSG en altitudes superiores a 1 370 km (véase el Anexo 2).

## **Anexo 1**

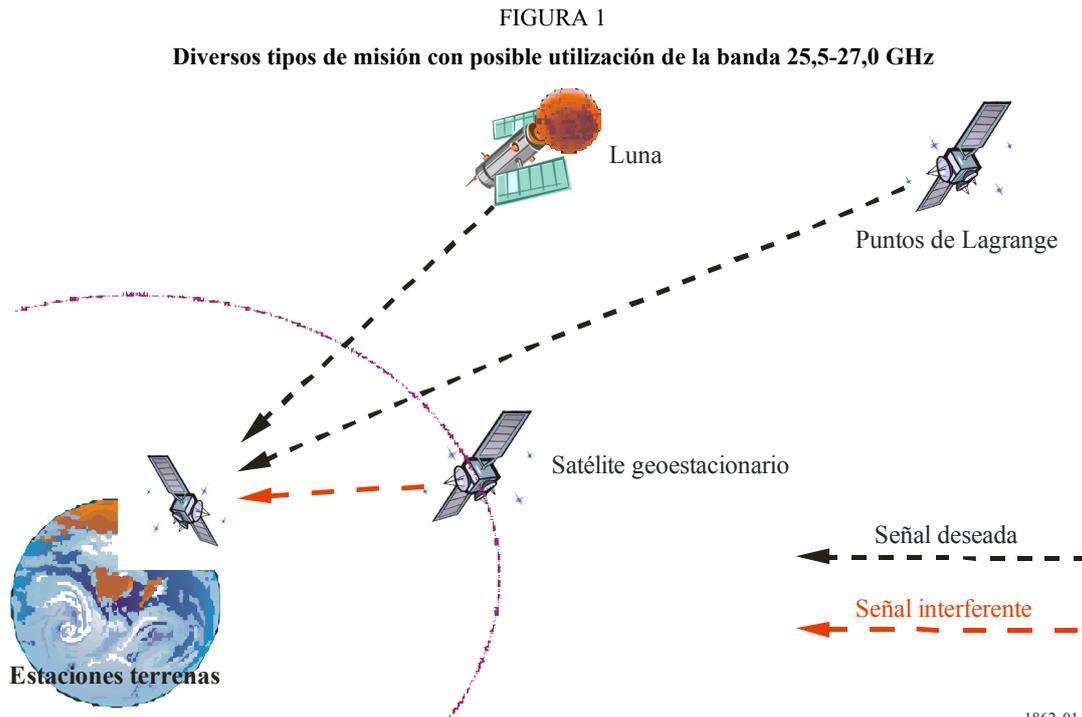
### **Posible influencia de los satélites geoestacionarios sobre enlaces sensibles de misiones del SIE**

#### **1 Introducción**

La gama 25,5-27,0 GHz es una banda de enlace descendente importante para el SETS y el SIE. Está previsto que esta banda sea utilizada por las misiones del SETS y del SIE. Estas últimas podrían funcionar a cualquier distancia entre la órbita terrestre baja y los puntos de Lagrange Sol-Tierra. Algunos estudios detallados han abordado la compatibilidad entre diversos tipos de misiones y llegaron a la conclusión de que todas las posibles aplicaciones pueden compartir la citada banda 25,5-27,0 GHz sin que aparezcan problemas, salvo en el caso de los satélites geoestacionarios que funcionan en las proximidades de los límites de DFP establecidos en el Artículo 21 del RR. Este anexo proporciona un resumen de varios resultados de los estudios y los fundamentos en los que está basado el establecimiento de los correspondientes límites reducidos de densidad de flujo de potencia para los satélites geoestacionarios.

#### **2 Características de los posibles sistemas del SIE víctimas**

Las misiones del SIE más sensibles son las llevadas a cabo por los satélites que se encuentran cerca de los puntos Lagrangianos L1/L2 y próximos a la Luna. La Figura 1 ilustra estas aplicaciones científicas y la correspondiente constelación de interferencia



El Cuadro 1 muestra las características de los sistemas lunares analizadas en uno de los estudios detallados. Como puede verse en dicho cuadro, el margen del enlace es equivalente a la resta  $C_0/N_0 - C_0/N_0$  requerida. Estos márgenes se han calculado a partir de los datos del sistema utilizando hipótesis normalizadas relativas a la velocidad de transmisión de datos, a la codificación y a la disponibilidad.

CUADRO 1

**Características esenciales de sistemas víctima del SEI lunares representativos**

Parámetros	Sistemas de satélite víctimas representativos en 26 GHz	
	LRO lunar	Cx lunar, 50 MHz
Frecuencia (MHz)	25 650	26 000
Gama de distancia (km)	401 427	404 943
Potencia de Tx (dB(W))	16,0	17,0
División de potencia del Tx (dB)	-3,0	0,0
Ganancia de Tx (dBi)	42,9	43,5
Máxima DFP en la Tierra (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-143,0	-141,4
Velocidad de transmisión de datos (Mbit/s)	50,0	25,0
Ganancia de Rx (dBi)	71,3	70,4
Pérdidas del enlace (dB)	-7,5	-9,7
Pérdidas por lluvia para atenuación atmosférica (dB)	-1,25	-2,8
Temperatura (K)	510,0	446,7
$C_0/N_0$ (dB)	10,3	13,6
$C_0/N_0$ requerida (dB)	2,9	2,2
Margen (dB)	7,4	11,4

Otro estudio detallado utilizó el telescopio James Web Space (JWST) como ejemplo representativo para misiones Lagrangianas. Se consideraron dos velocidades de transmisión de datos distintas de 14 y 56 Ms/s. La velocidad de transmisión de datos ajustable ayuda a mantener un enlace en caso de lluvia intensa. El Cuadro 2 muestra un resumen de las hipótesis para las misiones víctimas del SIE Lagrangianas.

CUADRO 2

**Características esenciales de los sistemas víctima del SIE Lagrangianos**

	JWST-14	JWST-56
Altura de la órbita del satélite del SIE (km)	1 500 000	
Potencia del satélite del SIE (dBW)	13,1	
Anchura de banda del lóbulo principal con MDP-4 (MHz)	14	56
Diámetro de la antena del satélite del SIE (m)	1,05	
Máxima ganancia de la antena del satélite del SIE (dBi)	46,2	
Diámetro de la antena de la estación terrena del SIE (m)	34,0	
Temperatura de ruido del sistema del SIE (K)	200	
Pérdidas técnicas en el reflector y de puntería (dB)	3,0	
$E_s/N_0$ requerida para MDP-4 con codificación de canal (dB)	2,5	
Margen para la atenuación atmosférica (dB)	20,0	13,9

Para todas las evaluaciones, se han considerado como básicos los criterios de protección contenidos en la Recomendación UIT-R SA.609. Se especifica que no debe rebasarse durante más del 0,1% del tiempo un nivel de densidad de interferencia de  $-156$  dB(W/MHz).

### 3 Características supuestas de los sistemas geoestacionarios interferentes

En el Cuadro 3 aparecen las características de balance del enlace pertinentes para algunos sistemas de satélites geoestacionarios. GSO-1 representa la misión Alpha-Sat con una anchura de banda de canal de 405 MHz. El diseño del satélite se basa en una antena parabólica de 0,7 m. Para las simulaciones se ha supuesto como caso más desfavorable una estación terrena situada en Madrid. Cabe esperar que GSO-1 sea lo suficientemente representativo de los tipos de sistemas geoestacionarios cuya instalación está prevista en esta banda. El GSO-2 es un sistema hipotético y podría ser representativo de un sistema de baja elevación con alta disponibilidad para una estación terrena especializada. Se ha supuesto que el satélite está situado en una posición OSG de  $48^\circ$  E. El ángulo de elevación hacia el centro de España es  $20^\circ$ . GSO-3 puede ser representativo de un sistema de alta disponibilidad con varias estaciones terrenas más pequeñas dentro de una subregión. Un ejemplo podría ser un sistema que transmite hacia un cierto número de estaciones de lectura de datos directa. Se supone que GSO-3 está ubicado en  $14^\circ$  E y da servicio a varias estaciones de usuario más pequeñas en España. Incluso con una antena parabólica a bordo de 1,4 m, el haz principal cubre una región bastante amplia, como muestra la Fig. 2. Pueden aparecer situaciones similares con otros emplazamientos de estación terrena del SIE sensibles.

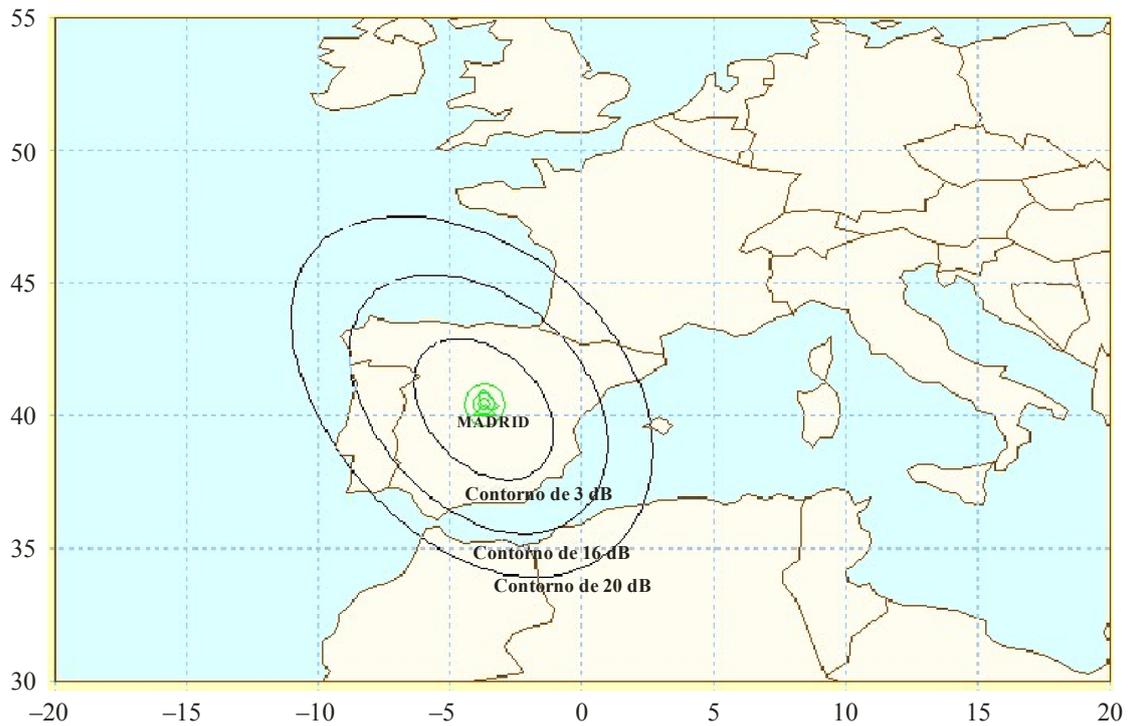
CUADRO 3

## Parámetros principales de los sistemas de satélite geoestacionarios

	GSO-1	GSO-2	GSO-3
Potencia de transmisión (dBW)	14,0	20,0	230
Ganancia de la antena del satélite (dBi)	43,1	46,2	49,7
PIRE del satélite (dBW)	57,3	66,2	72,7
Anchura de banda del lóbulo principal para 600 Mbit/s y MDP-4 (MHz)	600		
Máxima DFP en el emplazamiento de recepción (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-130,2	-121,5	-114,6
Disponibilidad de enlace supuesta (%)	99,90	99,98	
Atenuación de la señal para la disponibilidad supuesta (dB)	8,4	21,5	15,0
Diámetro de la antena de la estación terrena (m)	7,3	10,0	2,0

FIGURA 2

## Contornos de la huella centrada en Madrid para un satélite geoestacionario ubicado en 14° E



1862-02

## 4 Evaluación de la interferencia causada a las misiones del SIE

Normalmente se utiliza un método basado en un criterio de  $I/N$  para determinar si la interferencia entre sistemas dará lugar a una interferencia inaceptable a cualquiera de los sistemas del SIE o del SETS disponibles.

Basándose en la Recomendación UIT-R SA.609, el nivel de interferencia recibida procedente de todas la fuentes no debe rebasar el siguiente nivel combinado:

$I_0/N_0$  no debe rebasar el valor de  $-6$  dB durante más del 0,1% del tiempo.

El análisis fue más allá del criterio de interferencia  $I_0/N_0$  básico y tuvo en cuenta los márgenes del enlace relativamente amplios que tienen muchos sistemas del SIE y del SETS. Se calculó el margen del enlace degradado, denominado simplemente «margen»:

$$\text{Margen} = C_0/(N_0 + I_0)_{\text{medido}} - C_0/N_{0\text{requerido}}$$

El criterio básico para determinar si la interferencia se encuentra dentro de los límites aceptables fue el siguiente:

El margen no debe caer por debajo de  $\alpha$  dB durante más del 0,1% del tiempo

donde  $\alpha$  es un valor que se discute más adelante. Un posible valor de  $\alpha$  sería 0, pues éste es el nivel por debajo del cual el enlace no podría completarse.

Sin embargo, no se consideró prudente permitir que todo el margen del enlace fuese consumido por la interferencia procedente de otros sistemas geoestacionarios o no geoestacionarios, por consiguiente  $\alpha$  puede, de hecho, ser un valor superior a 0. Cabe resaltar que la utilización de este tipo de criterio de interferencia permite el estudio más allá del método de análisis de la interferencia  $I/N$  tradicional a fin de analizar la degradación causada a los márgenes del enlace del sistema.

Una hipótesis fundamental utilizada para la simulación fue que las fuentes víctima e interferente funcionaban utilizando la misma frecuencia central. Además, la potencia total de la fuente interferente se promedió a lo largo de su anchura de banda y se añadió 3 dB teniendo en cuenta la densidad de cresta, suponiendo MDP. El diagrama de radiación de referencia de antena de satélite de alta ganancia es el de la Recomendación UIT-R S.672. Los diagramas de antena de la estación terrena son los que aparecen en la Recomendación UIT-R F.1245.

Robledo y Cebreros son dos localidades situadas en el centro de España que soportan misiones del SIE sensibles tales como los de puntos Lagrangianos o, posiblemente, misiones lunares. Teniendo en cuenta las grandes distancias a L1 y L2, la densidad de flujo de potencia de las señales recibidas es bastante baja, lo que exige grandes estaciones terrenas con antenas de hasta 35 m de diámetro y valores elevados de  $G/T$ . Por lo que se refiere a las estadísticas de interferencia, todas las estaciones terrenas en latitudes similares presentarán resultados similares. La única diferencia significativa será la atenuación atmosférica, que puede variar de forma importante entre los diversos posibles emplazamientos.

Con relación a la interferencia potencial causada a las misiones del SIE Lagrangianas por satélites geoestacionarios con las características indicadas en el Cuadro 3, algunos estudios llegaron a la conclusión de que una implementación típica tal como AlphaSat apenas bastaría para satisfacer el criterio de la Recomendación UIT-R SA.609 suponiendo que su estación terrena estuviese situada en la parte central de España. Para los sistemas GSO-2 y GSO-3, se rebasaría el criterio de la Recomendación UIT-R SA.609 en un valor de 8 a 15 dB incluso con un límite de DFP reducido de  $-115$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)). Sin embargo, el incumplimiento de los valores de la Recomendación UIT-R SA.609 no significa necesariamente que va a aparecer interferencia perjudicial. Los enlaces en torno a 26 GHz necesitan márgenes significativos para lograr una disponibilidad del enlace superior al 99% hasta ángulos de elevación de 5° a 10°. Por ejemplo, las estaciones de Robledo y Cebreros requieren márgenes de unos 10 dB para completar un enlace con ángulos de elevación de

hasta 5° durante el 99% del tiempo. Para el funcionamiento hasta 10°, sería necesario un margen de 5,4 dB. Ello da lugar a una situación práctica en que los eventos de interferencia que rebasan el criterio de la Recomendación UIT-R SA.609 en muchos casos únicamente reducen el margen sin provocar una pérdida del enlace. La interrupción del enlace debida a la atenuación atmosférica es mucho más elevada si se compara con la interferencia. Cuando se considera la pérdida de datos reales debida a la interferencia, la  $E_s/(N_0 + I_0)$  requerida puede satisfacerse durante el 99,98% del tiempo incluso en el caso de satélites geoestacionarios que funcionen con un límite de DFP reducido de  $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ . No obstante, un satélite geoestacionario que funcione con arreglo a los límites de DFP del N.º 21.16 del RR podría causar interferencia perjudicial y podría provocar una pérdida del enlace. La interferencia potencial causada a las misiones del SIE lunares de los mismos satélites son de magnitud similar.

El Cuadro 4 presenta un resumen de los resultados de otros análisis con respecto a la interferencia causada por una misión de satélite geoestacionario hipotética a un cierto número de misiones víctima similares a las indicadas en el Cuadro 1. En el Cuadro 4 se muestra el margen sin interferencia así como los márgenes degradados en las misiones del SIE debido a la interferencia provocada por una misión OSG en 107° W con niveles de DFP de  $-105$  a  $-125 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ . GSO-107 W transmite hacia WSC (White Sands) con un ángulo de elevación en la estación terrena superior a 25°.

Una misión GSO hipotética que funcionase con el límite de DFP de  $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  podría causar niveles de interferencia que rebasan el criterio de interferencia, pues una misión GSO siempre está a la vista de una estación terrena víctima mientras que una misión no OSG no siempre lo está. Sin embargo, este nivel de DFP elevado sería sólo necesario si se utilizasen estaciones terrenas muy pequeñas (por ejemplo con antenas de 1 ó 2 m) y si se necesitase una elevada disponibilidad.

Basándose en los resultados mostrados en el Cuadro 4, puede observarse que el margen para el nivel del 0,1% es negativo o totalmente degradado en el caso de las misiones lunares LRO y Cx si el satélite OSG interferente utiliza una densidad de flujo de potencia que apenas satisface el límite indicado en el Artículo 21 del RR. Para la interferencia causada al LRO, el margen se reduce de 7,4 a  $-0,1 \text{ dB}$  y para Cx lunar se reduce de 11,4 a 3,0 dB. En ambos casos, los márgenes se reducen a valores que pueden considerarse demasiado pequeños. Las Figuras 3 y 4 ilustran las correspondientes estadísticas de interferencia para las misiones lunares LRO y Cx.

Sin embargo, si la DFP se limita a un máximo valor de  $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para todos los ángulos de llegada, la degradación debida a la interferencia se reduce de manera substancial. Si se continúa disminuyendo la DFP hasta un valor máximo de  $-125 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para todos los ángulos de llegada no se obtendría mucha mejora adicional.

CUADRO 4

**Resultados del margen de interferencia procedente de una sola fuente  
para el caso OSG al nivel del 0,1%**

Misión víctima	Estación Rx	Margen C/N (dB) sin interferencia	Márgenes para el nivel del 0,1%		
			GSO 107W; DFP = $-105$ @ 90 EL	GSO 107W; DFP = $-115$ @ 90 EL	GSO 107W; DFP = $-125$ @ 90 EL
LRO	WSC	7,4	$-0,1$	6,1	7,4
Cx lunar, 50 MHz	WSC	11,4	3,0	9,7	11,4

FIGURA 3  
Gráfico del margen de interferencia causada por el GSO-107W al LRO

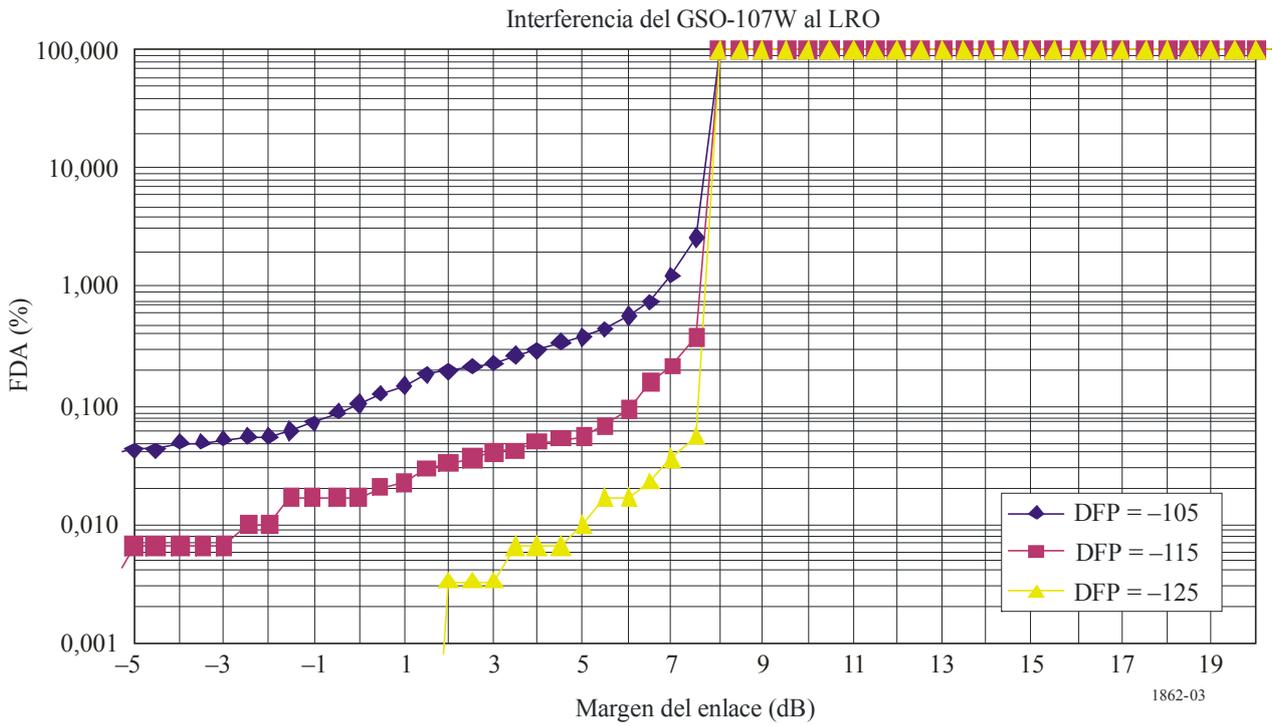
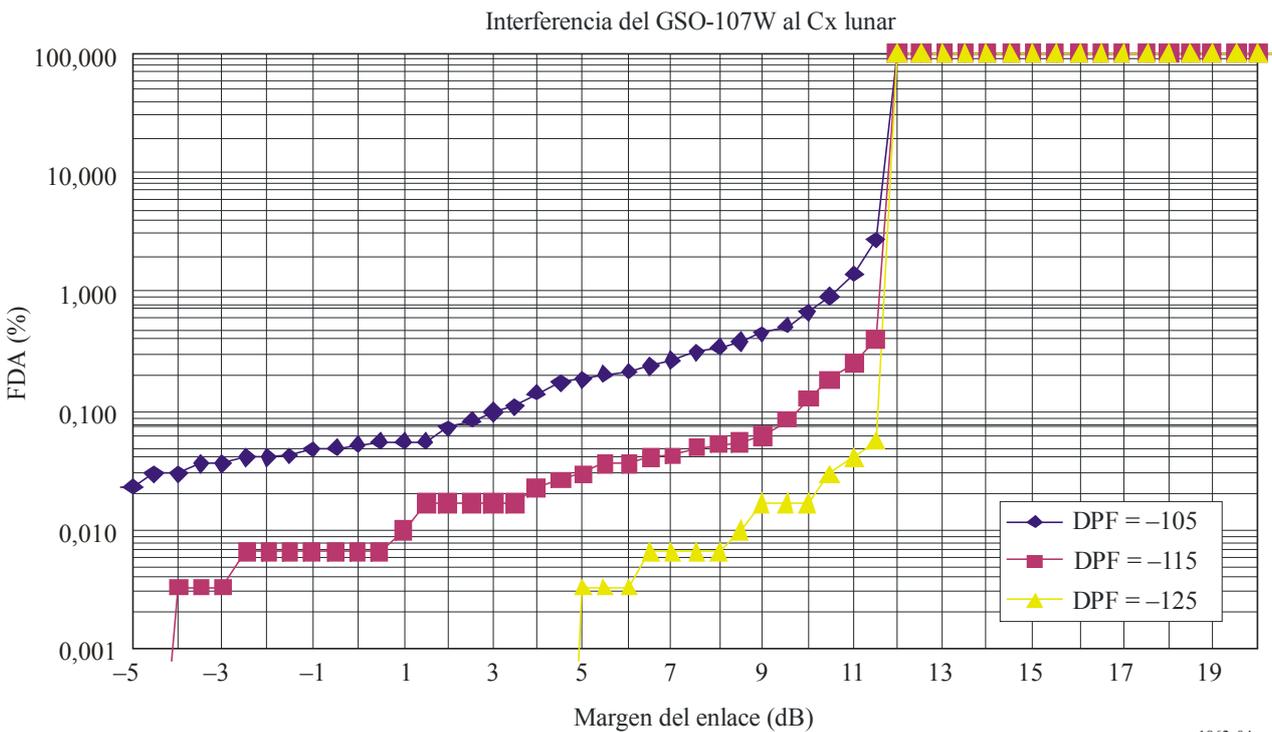


FIGURA 4  
Gráfico del margen de interferencia causada por el GSO-107W al Cx lunar



En resumen, todos los estudios han llegado a la conclusión de que la interferencia procedente de los satélites geoestacionarios que funcionan con la misma densidad de flujo de potencia que los satélites de observación de la Tierra provocarían niveles de interferencia al menos un orden de magnitud por encima del criterio de la Recomendación UIT-R SA.609, y notablemente superiores en comparación con las misiones del SETS no OSG debido al aumento de la visibilidad. No obstante, un rebasamiento del criterio de densidad de la interferencia establecido en la citada Recomendación UIT-R SA.609 no provocará condiciones de  $E_s/(N_0 + I_0)$  inaceptables si los satélites geoestacionarios funcionan por debajo de un valor de  $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ . Sin embargo, los satélites geoestacionarios que funcionan con los límites de DFP del N.º 21.16 del RR podrían causar una interferencia importante. En muchas regiones del mundo con un valor pequeño o moderado de la atenuación debida a la lluvia, generalmente pueden instalarse sistemas de satélites geoestacionarios sin necesidad que funcionen con arreglo a los actuales límites de DFP.

Un límite de DFP de aproximadamente  $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  para sistemas de satélites geoestacionarios para todos los ángulos de llegada proporcionaría, por tanto, una adecuada protección a las misiones del SIE sin imponer excesivas restricciones a los satélites geoestacionarios.

## Anexo 2

### Límites de densidad de flujo de potencia en la órbita de los satélites geoestacionarios para satélites no geoestacionarios

La Recomendación UIT-R SA.1155 especifica un máximo valor de densidad espectral de potencia de interferencia admisible de  $P_{sd} = -178 \text{ dB(W/kHz)}$  que puede convertirse a  $-148 \text{ dB(W/MHz)}$  teniendo en cuenta la gran anchura de banda del receptor de los satélites de retransmisión de datos. El correspondiente valor de DFP puede calcularse teniendo en cuenta el área efectiva de la antena:

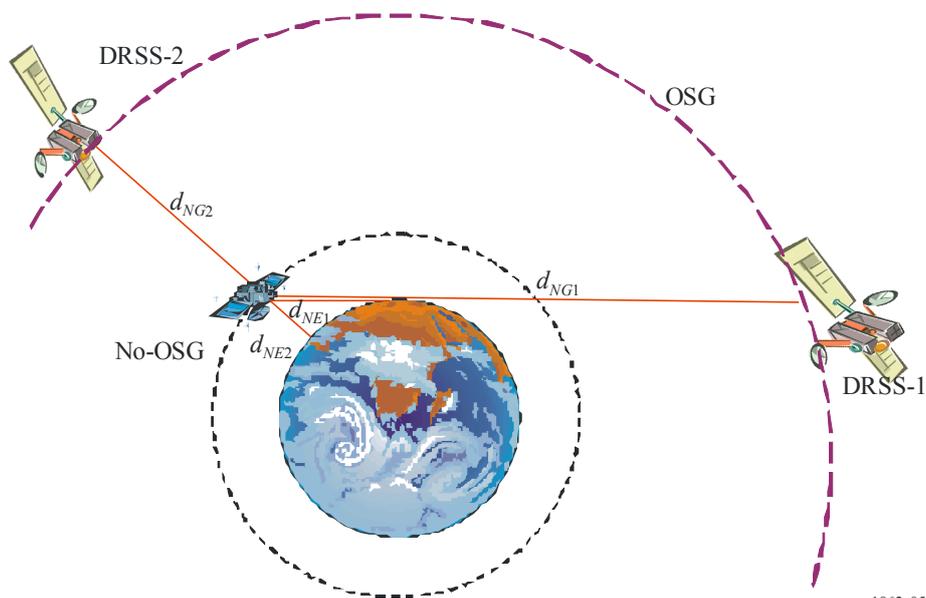
$$DFP_{\text{límite}} = P_{sd} - 10 \log \left( \eta \pi \frac{D^2}{4} \right) = -148 + 1,05 - 10 \log(\eta D^2)$$

La mayor antena de los actuales satélites de retransmisión de datos tiene un diámetro de 4,9 m. Puede suponerse una eficacia  $\eta$  del 50%. El correspondiente valor de DFP sería de  $-157,7 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ . El porcentaje de tiempo admisible del 0,1% especificado en la Recomendación UIT-R SA.1155 no puede aplicarse al límite de DFP, pues no se tendría en cuenta el hecho de que ambas antenas se están desplazando una con respecto a la otra y que la exposición del emplazamiento en la OSG del satélite de retransmisión de datos con el límite de DFP especificado sólo daría lugar a la máxima interferencia admisible cuando la antena de este satélite apunta directamente al satélite del SETS.

Se supone que un porcentaje de exceso de interferencia que corresponde a la anchura de haz del lóbulo principal es aceptable. Para una antena de 4,9 m, el primer ángulo del lóbulo lateral es de unos  $0,22^\circ$  (semiángulo). La probabilidad de que otro satélite con parámetros de órbita asíncrona se encuentre dentro de esta anchura de haz del lóbulo principal es de aproximadamente  $3,7 \times 10^{-6}$ , por consiguiente muy inferior al valor de  $1 \times 10^{-3}$  especificado en la Recomendación UIT-R SA.1155. Se supone que la ganancia del primer lóbulo lateral es unos 25 dB inferior de acuerdo con la Recomendación UIT-R S.672. Ello da lugar a un límite de DFP de  $-132,7 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ . Para determinar una distancia  $d_{NE}$  adecuada, debe suponerse el funcionamiento de un satélite no geoestacionario en el límite de DFP. Pueden considerarse los dos casos siguientes ilustrados en la Fig. 5.

FIGURA 5

**Interferencia causada por un satélite no geostacionario a un sistema de satélites de retransmisión de datos en la OSG**



1862-05

*Caso 1:* se supone una máxima DFP de  $-115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  dirigida hacia un ángulo de incidencia de  $5^\circ$  en la superficie de la Tierra, y en consecuencia también un máximo valor de la DFP hacia el DRSS-1. Es el caso típico con antenas parabólicas, o debido al apantallamiento producido por el propio vehículo espacial en el caso de antenas de cardioide. Para mayor sencillez, se ha supuesto que la DFP hacia el DRSS-1 es igual a la DFP hacia el ángulo de incidencia de  $5^\circ$ . En realidad, el nivel será más de 3 dB inferior debido a la distancia ligeramente superior y al apantallamiento de la mitad del lóbulo principal de la antena causado por la Tierra.

*Caso 2:* se supone que una máxima DFP de  $-105 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  hacia un ángulo de incidencia de  $90^\circ$  en la superficie de la Tierra y también un máximo valor de la DFP hacia el DRSS-2 a través de los lóbulos posteriores de la antena. Esta podría ser la situación en el caso de transmisiones a través de antenas omnidireccionales.

Las distancias correspondientes pueden obtenerse a partir de las siguientes ecuaciones:

$$DFP = \frac{PIRE}{4 \cdot \pi \cdot d^2}$$

$$PIRE = DFP_1 \cdot (4 \cdot \pi \cdot d_{NE}^2) = DFP_2 \cdot (4 \cdot \pi \cdot d_{NG}^2)$$

$$d_{NE} = \sqrt{\frac{DFP_2}{DFP_1}} \cdot d_{NG}$$

$$h_O = \sqrt{R^2 + d_{NE}^2} - R$$

donde:

- $d_{NE1}$ : distancia del satélite no geoestacionario al emplazamiento con ángulo de llegada de  $0^\circ$
- $d_{NG1}$ : distancia del satélite no geoestacionario al DRSS-1 ( $d_{NG1} = d_{NE1} + 41\,680$  km)
- $d_{NE2}$ : distancia del satélite no geoestacionario a su punto subsatelital (ángulo de llegada de  $90^\circ$ )
- $d_{NG2}$ : distancia del satélite no geoestacionario al DRSS-2 ( $d_{NG2} = 35\,787$  km  $- d_{NE2}$ )
- $h_O$ : altura de la órbita de un satélite no geoestacionario
- $R$ : radio de la Tierra (6 378 km).

Para el Caso 1,  $DFP_1 = -115$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)),  $DFP_2 = -133$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) y la correspondiente altura mínima de la órbita no OSG sería 2 380 km.

Para el Caso 2,  $DFP_1 = -105$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)),  $DFP_2 = -133$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) y la correspondiente altura mínima de la órbita no OSG sería 1 370 km.

Como la mínima altura de la órbita de 1 370 km representa el caso más desfavorable, se ha tomado esta distancia como base para la Recomendación.

---