

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R F.1403**  
(05/1999)

**Criterios de densidad de flujo de potencia  
especificados en las Recomendaciones  
UIT-R para la protección de los sistemas  
del servicio fijo que comparten bandas  
de frecuencias con estaciones espaciales  
de diversos servicios espaciales**

**Serie F**  
**Servicio fijo**



## 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>	<b>Servicio fijo</b>
<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>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<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 F.1403

**Criterios de densidad de flujo de potencia especificados en las Recomendaciones UIT-R para la protección de los sistemas del servicio fijo que comparten bandas de frecuencias con estaciones espaciales de diversos servicios espaciales**

(Cuestiones UIT-R 111/9, UIT-R 113/9, UIT-R 118/9 y UIT-R 201/9)

(1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que el servicio fijo comparte muchas bandas de frecuencias a título igualmente primario con servicios de radiocomunicaciones espaciales tales como el servicio fijo por satélite (SFS), el servicio de radiodifusión por satélite (SRS), el servicio móvil por satélite (SMS) y los servicios científicos espaciales;
- b) que se han elaborado criterios sobre la densidad de flujo de potencia (dfp) producida en la superficie de la Tierra por estaciones espaciales de servicios espaciales, a fin de controlar la interferencia causada a los sistemas del servicio fijo en bandas de frecuencias compartidas con el sentido espacio-Tierra de estos servicios espaciales;
- c) que estos criterios se traducen fundamentalmente en unos límites estrictos de la dfp producida por las estaciones espaciales, pero cuando no es posible se consideran umbrales de coordinación;
- d) en algunos casos de evaluación de la interferencia causada por satélites no geoestacionarios (no OSG) a sistemas digitales del servicio fijo en la gama 1-3 GHz, los umbrales de coordinación se han expresado en términos de degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento (DFC);
- e) que se han establecido varios criterios de dfp desde 1963, fecha en la que algunas bandas de frecuencias fueron atribuidas por primera vez a título compartido al servicio fijo y al SFS;
- f) que se han desarrollado varias metodologías para evaluar la interferencia, a fin de obtener los criterios adecuados de dfp;
- g) que es importante examinar los principios e ideas que se han incorporado a estas metodologías,

*recomienda*

**1** que se haga referencia a las Recomendaciones UIT-R siguientes para el estudio de los límites de dfp en la superficie de la Tierra producida por estaciones espaciales (principalmente geoestacionarias (OSG)) del SFS:

**SF.358** Valores máximos admisibles de la densidad de flujo de potencia producida en la superficie de la Tierra por satélites del servicio fijo que comparten las mismas bandas de frecuencias superiores a 1 GHz, con los sistemas de radioenlaces con visibilidad directa

**SF.1005** Compartición de frecuencias entre el servicio fijo y el servicio fijo por satélite con utilización bidireccional en bandas por encima de 10 GHz actualmente atribuidas para funcionamiento unidireccional

**SF.1008** Posible utilización por las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite de órbitas ligeramente inclinadas con respecto a la órbita de los satélites geoestacionarios en bandas compartidas con el servicio fijo

**SF.1573** Valores máximos admisibles de la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra creada por satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite que funcionan en la banda 37,5-42,5 GHz para proteger al servicio fijo

**2** que se consulten las Recomendaciones UIT-R siguientes para el establecimiento de los límites de dfp en la superficie de la Tierra producida por estaciones espaciales no OSG del SFS utilizadas en enlaces de conexión de sistemas del SMS:

**SF.1320** Valores máximos admisibles de densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra producidos por satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite utilizados en enlaces de conexión del servicio móvil por satélite y que comparten bandas de frecuencias con sistemas de radioenlaces

**SF.1482** Máximos valores admisibles de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida en la superficie de la Tierra por satélites no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) que funcionan en la banda 10,7-12,75 GHz

**SF.1483** Máximos valores admisibles de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida en la superficie de la Tierra por satélites no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) que funcionan en la banda 17,7-19,3 GHz

**SF.1484** Máximos valores admisibles de la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra producida por satélites no geoestacionarios del servicio fijo por satélite que funcionan en las bandas entre 37,5-42,5 GHz para proteger al servicio fijo

**3** que se tengan en cuenta las Recomendaciones UIT-R siguientes para fijar los límites de dfp causada por estaciones espaciales de los servicios científicos espaciales:

**SA.1273** Niveles de densidad de flujo de potencia causados por los servicios de investigación espacial, de operaciones espaciales y de exploración de la tierra por satélite en la superficie de la tierra necesarios para proteger el servicio fijo en las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz

**F.1502** Protección del servicio fijo en la banda de frecuencias 8025-8400 MHz en compartición con los sistemas de satélites geoestacionarios del servicio de exploración de la Tierra por satélite (espacio-Tierra)

**4** que se consideren las Recomendaciones UIT-R siguientes a la hora de establecer los umbrales de coordinación para las asignaciones de frecuencia a estaciones espaciales OSG y no OSG del SMS en la gama de frecuencias 1-3 GHz:

**M.1141** Compartición en la gama de frecuencias 1-3 GHz entre las estaciones espaciales no geoestacionarias que operan en el servicio móvil por satélite y las estaciones del servicio fijo

**M.1142** Compartición en la gama de frecuencias 1-3 GHz entre las estaciones espaciales geoestacionarias que operan en el servicio móvil por satélite y las estaciones del servicio fijo

- M.1143** Metodología específica de sistema par la coordinación de estaciones espaciales no geoestacionarias (espacio-Tierra) que operan en el servicio móvil por satélite con el servicio fijo
- F.1246** Anchura de banda de referencia de las estaciones receptoras del servicio fijo para la coordinación de asignaciones de frecuencias con las estaciones espaciales transmisoras del servicio móvil por satélite en la gama 1-3 GHz
- 5** que se haga referencia a la Recomendación UIT-R siguiente para determinar los umbrales de coordinación de las asignaciones de frecuencia a las estaciones espaciales del SRS (sonora) en la banda 1 452-1 492 MHz:
- F.1338** Niveles umbrales para determinar la necesidad de coordinación entre determinados sistemas del servicio de radiodifusión por satélite (sonora) en la órbita de los satélites geoestacionarios para las transmisiones espacio-Tierra y el servicio fijo en la banda 1 452-1 492 MHz
- 6** que se apliquen las Recomendaciones UIT-R siguientes para establecer la metodología de evaluación de la interferencia producida por las estaciones espaciales OSG y no OSG a los sistemas del servicio fijo:
- F.1107** Análisis probabilístico para calcular la interferencia al servicio fijo causada por satélites que ocupan la órbita geoestacionaria
- F.1108** Determinación de los criterios para proteger los receptores del servicio fijo de las emisiones procedentes de estaciones espaciales situadas en órbitas de satélites no geoestacionarios y que funcionan en bandas de frecuencias compartidas
- SF.1572** Metodología para evaluar la repercusión de la interferencia en el trayecto espacio-Tierra causada por el servicio fijo por satélite al servicio fijo en las bandas de frecuencia en las que la precipitación es el mecanismo predominante de los desvanecimientos
- SF.1602** Metodología para determinar las estadísticas de la densidad de flujo de potencia que se utilizan en los estudios de compartición entre sistemas inalámbricos fijos por satélite y satélite múltiples del servicio fijo
- 7** que se consulte el Anexo 1 para estudiar la evolución histórica de los criterios de dfp en las Recomendaciones UIT-R aplicados con objeto de proteger los sistemas del servicio fijo que comparten estaciones espaciales de diversos servicios espaciales; dicho Anexo puede utilizarse como orientación para realizar futuros estudios sobre los criterios de dfp aplicables en diversas situaciones de compartición.

## Anexo 1

### **Evolución histórica de los criterios de dfp en las Recomendaciones UIT-R para la protección de los sistemas del servicio fijo**

#### **1 Introducción**

La dfp producida en la superficie de la Tierra por estaciones espaciales es un factor de gran importancia que debe considerarse a fin de proteger los sistemas del servicio fijo contra las emisiones procedentes de estaciones espaciales que comparten las mismas bandas de frecuencias. Desde 1963 se han elaborado numerosas Recomendaciones UIT-R sobre este asunto.



Algunas de ellas presentan unos límites estrictos de dfp. Ello facilita la compartición de frecuencias porque no se requiere la coordinación individual. Pero en algunos casos, es difícil establecer estos límites estrictos puesto que no pueden encontrarse unos valores que protejan adecuadamente al servicio fijo y, a la vez, no impongan limitaciones excesivas en el diseño de los sistemas de servicios espaciales. En tales casos, las Recomendaciones indican unos valores umbrales de coordinación y si la dfp rebasa dichos umbrales de coordinación, es necesario efectuar coordinaciones individuales con las administraciones afectadas.

Además de la dfp, se ha introducido el concepto de DFC en la Recomendación UIT-R F.1108 a fin de evaluar los efectos de la interferencia producida en el servicio fijo por los satélites no OSG.

Este Anexo presenta una evolución histórica de los criterios de dfp adoptados en diversas Recomendaciones UIT-R, varias de las cuales se han incorporado al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).

## **2 Límites de dfp producida por las estaciones espaciales del SFS**

Los límites de dfp producida en la superficie de la Tierra por estaciones espaciales del SFS se indican en la Recomendación UIT-R SF.358. En 1963 se elaboró la primera versión de esta Recomendación y llevó más de veinte años finalizarla. Es aplicable tanto a las estaciones espaciales OSG como a las no OSG. Sin embargo, cabe señalar que sólo se ha supuesto un número limitado de estaciones espaciales no OSG para confirmar la pertinencia de dicha Recomendación al respecto; por consiguiente, ésta debe de considerarse aplicable fundamentalmente a estaciones espaciales OSG y si interviene un número elevado de estaciones espaciales no OSG deben hacerse consideraciones por separado (véase, por ejemplo, la Recomendación UIT-R SF.1320).

En el Apéndice 1 al Anexo 1 aparece una historia detallada sobre la Recomendación UIT-R SF.358.

## **3 SFS con utilización bidireccional de la banda y empleo por las estaciones espaciales del SFS de órbitas ligeramente inclinadas con respecto a la OSG**

La coexistencia del servicio fijo con el SFS fue planificada por la Conferencia Administrativa Extraordinaria de Radiocomunicaciones (CAER) (1963) para transmisiones del SFS unidireccionales y para estaciones espaciales situadas en la órbita de los satélites OSG. Como resultado, la interferencia admisible procedente del SFS ha permanecido casi invariable a lo largo del tiempo, salvo en el caso de anomalías de la propagación, y ha sido generada por estaciones espaciales transmisoras o estaciones terrenas transmisoras.

Sin embargo, para incrementar la capacidad del SFS y aumentar la longevidad del segmento espacial, se consideró la utilización de transmisiones bidireccionales para frecuencias adicionales así como el empleo de órbitas ligeramente inclinadas a fin de ahorrar combustible y ampliar la vida útil de las estaciones espaciales.

Las ventajas que reporta al SFS las frecuencias adicionales mediante el empleo de transmisión bidireccional se consiguen a expensas de crear más fuentes de interferencias tanto al servicio fijo como al SFS y la utilización de órbitas ligeramente inclinadas trae consigo el riesgo de incrementar el número de receptores fijos expuestos a interferencia casi directa procedente de estaciones espaciales transmisoras.

### 3.1 Recomendación UIT-R SF.1005 (Ginebra, 1993)

Los criterios de compartición establecidos por la CAER (1963) suponían que la interferencia admisible combinada causada en el circuito ficticio de referencia tomado como modelo era pequeña en comparación con el ruido total del sistema y, de hecho, podría incluirse en el balance de ruido total de los sistemas existentes sin introducir ninguna modificación en los sistemas ya instalados en todo el mundo. Específicamente, la interferencia admisible causada a los receptores fijos por las estaciones espaciales transmisoras podría limitarse efectivamente controlando la dfp en la superficie de la Tierra y la interferencia procedente de las estaciones terrenas transmisoras podría controlarse limitando la p.i.r.e. en el horizonte. Los límites de la dfp y la p.i.r.e. satisfacían la hipótesis de un pequeño valor de interferencia admisible y a la vez permitían el desarrollo efectivo del SFS en beneficio de la tecnología de satélites en todo el mundo.

La utilización de transmisión bidireccional por el SFS aumenta las fuentes de interferencia; en consecuencia, la hipótesis de que la interferencia admisible procedente del SFS debe ser pequeña no podría mantenerse sin imponer restricciones adicionales a dicho servicio. En la Recomendación UIT-R SF.1005 – Compartición de frecuencias entre el servicio fijo y el servicio fijo por satélite con utilización bidireccional en bandas por encima de 10 GHz actualmente atribuidas para funcionamiento unidireccional (que se basa en el Informe 1005 del ex CCIR de 1986) se establecieron las siguientes restricciones adicionales: el funcionamiento bidireccional se limita a frecuencias por encima de 10 GHz; la dfp para ángulos de llegada no superiores a 5° por encima del horizonte y la interferencia procedente de estaciones terrenas transmisoras deben reducirse en 7 dB, 5 dB y 3 dB para las bandas de frecuencias 10-15,4 GHz, 15,4-20 GHz y por encima de 20 GHz, respectivamente; y para ángulos de llegada superiores a 25° deben continuar aplicándose los límites de dfp indicados en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R SF.358.

La aplicación de la utilización bidireccional puede introducirse con menos repercusiones de la interferencia en el servicio fijo siempre que el SFS utilice estaciones terrenas transmisoras con ángulos de elevación altos (>40°), emplee haces puntuales de aproximadamente 2° y no haga uso excesivo de la OSG.

### 3.2 Recomendación UIT-R SF.1008 (Ginebra, 1994)

La coexistencia entre el SFS y el servicio fijo se ha realizado satisfactoriamente durante las últimas tres décadas, especialmente en el caso de estaciones espaciales situadas en sus emplazamientos nominales de la órbita de los satélites OSG. La probabilidad de que un receptor del servicio fijo intercepte la OSG es baja y la probabilidad de que una estación espacial transmisora se encuentre situada en esa posición orbital es significativamente menor. Como consecuencia, la interferencia combinada que cabe esperar que reciba el sistema de radioenlaces modelo proviene fundamentalmente de una sola exposición directa y cercana y de la interferencia del lóbulo lateral procedente del resto de las estaciones espaciales visibles situadas en la OSG.

Sin embargo, para mantener las estaciones espaciales en sus posiciones orbitales nominales es necesario consumir más combustible, especialmente en el caso de mantenimiento en posición en sentido norte-sur. De hecho, la vida útil del segmento espacial puede venir determinada por la disponibilidad de combustible. Si se hiciese menos estricto el mantenimiento en posición de la estación en sentido norte-sur, la longevidad de las estaciones espaciales podría ampliarse pero la inclinación de la órbita resultante daría lugar a un mayor número de receptores terrenales expuestos a una interferencia casi directa, aunque la duración de la exposición sería sólo una fracción del periodo de 24 h y la interferencia media total del circuito ficticio de referencia tomado como modelo podría no aumentar.

La fracción del periodo de 24 h durante la cual el receptor terrenal está expuesto a la interferencia del lóbulo principal dará lugar a un aumento muy significativo en el margen de desvanecimiento de ruido térmico y durante estos periodos el receptor será susceptible a los desvanecimientos poco profundos no dispersivos y de variación lenta. Estos desvanecimientos pueden producirse con la suficiente frecuencia como para que el receptor afectado se encuentre indisponible durante un periodo de tiempo inaceptable. En la Recomendación UIT-R SF.615 figuran los objetivos para las indisponibilidades de la red causadas por todas las fuentes de interferencia y la contribución de la indisponibilidad esperada por unos cuantos receptores expuestos hará que se rebasen los anteriores objetivos en orden de magnitud. Como consecuencia, los receptores susceptibles a la interferencia del lóbulo principal deberán reubicarse a fin de mantener la calidad de funcionamiento del sistema.

La Recomendación UIT-R SF.1008 – Posible utilización por las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite de órbitas ligeramente inclinadas con respecto a la órbita de los satélites OSG en bandas compartidas con el servicio fijo limita la inclinación a menos de 5° sin imponer ninguna restricción adicional al SFS. La ligera inclinación de la órbita limita los receptores terrenales adicionales que están expuestos a la interferencia del lóbulo principal y aunque el número de estaciones afectadas aumenta con la latitud, el número de receptores susceptibles a la interferencia para latitudes tan elevadas como 60° es muy reducido para un sistema de 50 tramos. Sin embargo, para inclinaciones superiores a 5°, el número de estaciones afectadas aumenta linealmente y se recomienda una reducción en la dfp que aumente linealmente entre 5° y 10° de inclinación y alcance un máximo de 20 dB de reducción para una inclinación de 10°.

Por último, la inclinación de la órbita puede diseñarse en la etapa de planificación del satélite y un satélite puede introducirse en una órbita inclinada de manera que se maximice su vida útil minimizando a la vez el grado de inclinación y, por consiguiente, la influencia sobre el servicio fijo y la necesidad de seguimiento.

#### **4 Límites de dfp producida por las estaciones espaciales del SRS en la banda de 12 GHz**

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la radiodifusión por satélite de 1977 (CAMR SAT-77) estableció el Plan del SRS para las Regiones 1 y 3 en las bandas 11,7-12,2 GHz (en la Región 3) y 11,7-12,5 GHz (en la Región 1). La Conferencia Administrativa Regional de Radiocomunicaciones de 1983 (CARR-83) estableció el Plan del SRS para la Región 2 en la banda de frecuencias 12,2-12,7 GHz. En dicho Plan se establecían varios parámetros de las estaciones espaciales del SRS. Estas bandas de frecuencias están compartidas con el servicio fijo y, por consiguiente, en la planificación de los sistemas de este servicio es necesario tener en cuenta el Plan del SRS y no provocar ningún tipo de interferencia perjudicial a las estaciones terrenas receptoras del SRS.

Cuando se introduce un cambio en el Plan del SRS existe el riesgo de que una estación espacial del SRS en una nueva posición orbital o con una nueva asignación de frecuencia pueda causar interferencia inaceptable a los sistemas del servicio fijo existentes. Por esa razón, en el Anexo 1 al Apéndice 30 del RR se estipulan los límites de dfp necesarios para proteger los servicios terrenales en las tres Regiones.



## **5 Nuevas atribuciones efectuadas por la CAMR-92 a varios servicios de radiocomunicaciones espaciales**

En 1992 se celebró en Málaga-Torremolinos la CAMR-92 para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro. Esta Conferencia atribuyó diversas bandas de frecuencias a varios servicios de radiocomunicaciones espaciales a título compartido con el servicio fijo. Como consecuencia de ello, las situaciones de compartición de frecuencias se hicieron mucho más complicadas y se invitó al UIT-R a que llevara a cabo urgentemente estudios para establecer los adecuados criterios de compartición.

### **5.1 Atribución al SRS para la televisión de alta definición (TVAD) cerca de 20 GHz**

La CAMR-92 atribuyó la banda 21,4-22 GHz al SRS en las Regiones 1 y 3 a título compartido con el servicio fijo y la banda 17,3-17,8 GHz al SRS en la Región 2, fuera de la cual la banda 17,7-17,8 GHz está compartida con el servicio fijo. Estas atribuciones al SRS entrarán en vigor el 1 de abril de 2007 (véanse los números 5.517 y 5.530 del RR).

La Resolución 525 (CAMR-92) especifica las condiciones de utilización de la banda 21,4-22 GHz en las Regiones 1 y 3 por el SRS después de esa fecha y, a título provisional, antes de la misma. Esta Resolución indica los valores de d<sub>fp</sub> en la superficie de la Tierra producida por las emisiones procedentes de una estación espacial perteneciente a un sistema operativo del SRS (TVAD) antes del 1 de abril de 2007, que deben considerarse como umbrales de coordinación. Estos valores son idénticos a los que figuran en la Recomendación UIT-R F.760 establecidos por la Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones inmediatamente antes de la CAMR-92.

La Recomendación UIT-R F.760 examina para un receptor MAQ-64 del servicio fijo la interferencia dentro del haz para ángulos de llegada bajos y la interferencia fuera del haz para ángulos de llegada altos. Tras considerar la correlación del desvanecimiento debido a la lluvia entre las señales deseada e interferente, la Recomendación establece los valores de d<sub>fp</sub> propuestos. Se trata del primer caso en el que los valores que figuran en una Recomendación UIT-R fueron incorporados a una Resolución del RR como umbrales de coordinación.

### **5.2 Atribución al SRS (sonora) en la gama de frecuencias 1-3 GHz**

La CAMR-92 atribuyó la banda 1 452-1 492 MHz al SRS (sonora) en todo el mundo (salvo en el caso de una administración, véase el número 5.344 del RR). Además, las bandas 2 310-2 360 MHz y 2 535-2 655 MHz también fueron atribuidas al SRS (sonora) para su utilización en ciertos países (véanse los números 5.393 y 5.418 del RR). Estas bandas están compartidas con el servicio fijo.

La CAMR-92 no adoptó ningún umbral de coordinación para los valores de d<sub>fp</sub> producidos por las estaciones espaciales del SRS (sonora) con objeto de utilizarlos en coordinación con el servicio fijo. La Resolución 522 (CAMR-92) invita al UIT-R a que estudie los criterios de compartición adecuados entre los sistemas del SRS (sonora) y los sistemas de otros servicios que comparten las bandas.

### **5.3 Atribución al SMS en la gama de frecuencias 1-3 GHz**

La CAMR-92 atribuyó ciertas bandas de frecuencias en la gama 1-3 GHz al SMS (Tierra-espacio y espacio-Tierra) a título compartido con el servicio fijo. Dicha Conferencia consideró qué valores de d<sub>fp</sub> eran los apropiados en las bandas atribuidas al SMS (espacio-Tierra) a fin de proteger al servicio fijo. Se reconoció que no era posible encontrar un límite de d<sub>fp</sub> adecuado que protegiese convenientemente al servicio fijo y, al mismo tiempo, no impusiese limitaciones excesivas en el diseño de los sistemas del SMS. Por consiguiente, la CAMR-92 decidió establecer umbrales de coordinación en vez de límites de d<sub>fp</sub>.

En ausencia de una Recomendación UIT-R sobre este tema, la CAMR-92 tuvo problemas para determinar los umbrales de coordinación adecuados. Tras largos debates, la Conferencia llegó a una conclusión provisional en el sentido de que en las bandas atribuidas al SMS (espacio-Tierra) la coordinación de las estaciones espaciales del SMS con respecto a los servicios terrenales sólo es necesaria si la dfp producida en la superficie de la Tierra rebasa los límites indicados en el número 21.16 del RR (3400-7850 MHz). En este caso, el número 21.16 del RR hace referencias a los límites de dfp producida por las estaciones espaciales del SFS en la banda 3-8 GHz ( $-152 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  y  $-142 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 4 kHz de anchura, para ángulos de llegada bajos y altos, respectivamente).

Al mismo tiempo, la Recomendación 717 (CAMR-92) invita al UIT-R a que lleve a cabo más estudios sobre los criterios de compartición de frecuencias entre el SMS y el servicio fijo y el resto de servicios terrenales.

#### **5.4 Atribución a los servicios científicos espaciales**

Antes de la CAMR-92, las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz habían sido atribuidas a los servicios científicos espaciales mediante una nota en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias del RR. La atribución estaba sujeta a un acuerdo obtenido mediante el procedimiento indicado en el Artículo 14 del RR (edición de 1994). La CAMR-92 suprimió el requisito del Artículo 14 (del RR) y cambió esta nota de atribución mediante una atribución primaria en el Cuadro, con lo que la banda 2025-2110 MHz fue atribuida a los servicios de operaciones espaciales, exploración de la Tierra por satélite e investigación espacial (para los sentidos Tierra-espacio y espacio-espacio) y la banda 2200-2290 MHz fue atribuida a los servicios de operaciones espaciales, exploración de la Tierra por satélite e investigación espacial (para los sentidos espacio-Tierra y espacio-espacio). Ambas bandas están compartidas con el servicio fijo.

La CAMR-92 realizó atribuciones de bandas adicionales a los servicios científicos espaciales. Se atribuyó la banda 25,25-27,5 GHz al servicio entre satélites en compartición con el servicio fijo.

La CAMR-92 mantuvo los límites de dfp existentes antes de la Conferencia relativos a estaciones espaciales en las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz para proteger al servicio fijo ( $-154 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  y  $-144 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en una banda de 4 kHz para ángulos de llegada bajos y altos, respectivamente). Para la banda 25,25-27,5 GHz se aplicó el mismo límite de dfp que para las estaciones espaciales del SFS en la banda 17,7-19,7 GHz ( $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  y  $-105 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en una banda de 1 MHz para ángulos de llegada bajos y altos, respectivamente).

## **6 Metodología para evaluación de la interferencia**

Las diversas nuevas atribuciones de frecuencias a servicios espaciales que realizó la CAMR-92 hicieron necesario establecer criterios de compartición para proteger las estaciones del servicio fijo contra las emisiones procedentes de estaciones espaciales que comparten las mismas bandas de frecuencias. Se elaboraron las Recomendaciones UIT-R F.1107 y UIT-R F.1108 para presentar la metodología de evaluación de la interferencia causada al servicio fijo por las estaciones espaciales OSG y no OSG, respectivamente.

### **6.1 Recomendación UIT-R F.1107 (Ginebra, 1994)**

La Recomendación UIT-R F.1107 realiza consideraciones geométricas y presenta métodos de cálculo de la potencia interferente total recibida en los receptores del servicio fijo causada por estaciones espaciales OSG. La metodología se basa en el enfoque adoptado durante muchos años para elaborar la Recomendación UIT-R SF.358, que establece los límites de dfp producida en la superficie de la Tierra por estaciones espaciales del SFS.

Se supone que un cierto número de satélites funcionan en la OSG con una separación uniforme entre ellos. Se supone igualmente que producen la máxima dfp en la superficie de la Tierra que permite un contorno de protección dfp hipotético. La interferencia combinada se evalúa mediante simulaciones por ordenador utilizando el método de Monte Carlo para generar realizaciones de servicio representativas. Se supone además que la red del servicio fijo está compuesta de rutas de 50 tramos distribuidas aleatoriamente en una superficie de aproximadamente  $65^\circ$  de longitud por  $22,5^\circ$  de latitud. Todos los receptores presentan la misma temperatura de ruido, característica de antena y separación.

Los cálculos a lo largo de muchas rutas del servicio fijo dan lugar a una distribución de la interferencia. En el caso de interferencia causada a sistemas analógicos del servicio fijo, la interferencia combinada no debe rebasar el valor de 1000 pW salvo para un pequeño porcentaje (generalmente el 10%). Se adjunta un programa informático a esta Recomendación.

## **6.2 Recomendación UIT-R F.1108 (Ginebra, 1994)**

En la Recomendación UIT-R F.1108 aparece un método de determinación de los criterios necesarios para proteger los receptores del servicio fijo de las emisiones procedentes de estaciones espaciales situadas en órbitas de satélites no OSG y que funcionan en bandas de frecuencias compartidas. Se realizan consideraciones geométricas para los satélites no OSG que utilizan órbitas circulares. Los parámetros de la órbita del satélite son la altitud orbital, el número de planos orbitales de satélites, la longitud del nodo ascendente para cada plano, la inclinación de la órbita y el número de satélites por plano. La interferencia causada en las rutas del servicio fijo se evalúa mediante simulaciones por ordenador utilizando el método de Monte Carlo.

En el caso de simulación de la interferencia causada en las rutas del servicio fijo analógicas, el modelo del sistema del servicio fijo tiene 50 tramos, rutas de 2500 km y las direcciones de los tramos se eligen mediante el método de Monte Carlo. La Recomendación UIT-R SF.357 define los límites de interferencia a corto y largo plazo admisibles en un sistema analógico del servicio fijo.

Se introdujo un nuevo concepto, denominado DFC, para evaluar la interferencia causada por las estaciones espaciales no OSG a los sistemas digitales del servicio fijo. La DFC es un valor medio de la relación interferencia-ruido térmico realizándose el sumatorio para todos los sucesos de interferencia. La Recomendación establece la equivalencia de este valor medio con la DFC de los sistemas digitales cuando dicha calidad de funcionamiento viene determinada por el desvanecimiento multitrayecto. Con objeto de determinar el efecto de la interferencia en los receptores digitales que utilizan diversidad, se introdujo una fórmula distinta para evaluar la DFC. Esta fórmula se aplicó por primera vez en el proceso de elaboración de la Recomendación UIT-R SF.1320 relativa a los límites de dfp en la superficie de la Tierra producida por estaciones espaciales no OSG utilizadas en enlaces de conexión del SMS. La fórmula fue posteriormente incorporada al Anexo 4 a la Recomendación UIT-R F.1108.

## **7 Umbrales de coordinación para el SMS en la gama de frecuencias 1-3 GHz**

La compartición de frecuencias entre el SMS y el servicio fijo en la gama de frecuencias 1-3 GHz fue estudiada por la Comisión de Estudio 2 (Grupo de Tareas Especiales 2/2) durante 1992 y 1995. Como resultado de esos estudios se elaboraron las Recomendaciones UIT-R IS.1141, UIT-R IS.1142 y UIT-R IS.1143, aprobadas en 1995. Tras la disolución de la Comisión de Estudio 2 en 1995, un Grupo Mixto de Relatores de las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones continuó los estudios que dieron lugar a la revisión de las Recomendaciones UIT-R M.1141, UIT-R M.1142 y UIT-R M.1143 y a la nueva Recomendación UIT-R F.1246 en 1997.

### 7.1 Recomendación UIT-R M.1141

La metodología de la Recomendación UIT-R F.1108 se aplicó para evaluar la interferencia causada por estaciones espaciales no OSG del SMS a sistemas del servicio fijo en varias bandas de frecuencias de la gama 1-3 GHz. Como resultado, se confirmó que los umbrales de coordinación adoptados provisionalmente por la CAMR-92 eran aplicables a ciertas bandas de frecuencias con respecto a la compartición con sistemas analógicos del servicio fijo. Para otras bandas de frecuencias se establecieron unos umbrales de coordinación algo más elevados.

Por otro lado, se adoptó fundamentalmente un valor de la DFC del 25% como umbral de coordinación para la compartición con los sistemas digitales del servicio fijo.

Basándose en los resultados de los análisis se observaron diversas tendencias:

- la interferencia recibida media puede depender muy directamente del acimut de puntería del servicio fijo para algunas constelaciones de satélites no OSG. En el caso de constelaciones con órbitas polares o casi polares, el efecto de los acimuts de puntería del servicio fijo es mucho menos acusado;
- las estaciones del servicio fijo situadas en latitudes más elevadas generalmente experimentan más interferencia a lo largo del tiempo que las estaciones del servicio fijo ubicadas en latitudes inferiores. Este fenómeno es aún más significativo en constelaciones con órbitas polares; sin embargo, entre otros requisitos reales de explotación, podría resultar necesario reducir las emisiones procedentes de los satélites debido a la superposición de coberturas, lo que, a su vez, disminuiría el efecto de la interferencia.

La Recomendación UIT-R IS.1141 fue aprobada en 1995 a fin de establecer los criterios sobre umbrales de coordinación para la compartición entre los sistemas de satélites no OSG del SMS (espacio-Tierra) y el servicio fijo en la gama 1-3 GHz y a partir de 1997 pasó a ser la Recomendación UIT-R M.1141.

### 7.2 Recomendación UIT-R M.1142

La metodología de la Recomendación UIT-R F.1107 se aplicó para evaluar la interferencia causada por las estaciones espaciales OSG del SMS a los sistemas del servicio fijo en varias bandas de frecuencias de la gama de frecuencias 1-3 GHz. Como resultado se confirmó que los umbrales de coordinación adoptados de forma provisional por la CAMR-92 eran aplicables a varias bandas de frecuencias en la gama de frecuencias 1-3 GHz con respecto a la compartición con los sistemas del servicio fijo, salvo en la banda 2 520-2 535 MHz para la que se recomienda un umbral inferior.

La Recomendación UIT-R IS.1142 fue aprobada en 1995 a fin de establecer los criterios sobre umbrales de coordinación para la compartición entre los sistemas de satélites OSG del SMS (espacio-Tierra) y el servicio fijo en la gama de frecuencias 1-3 GHz y en 1997 pasó a ser la Recomendación UIT-R M.1142. En el Anexo 1 a dicha Recomendación aparecen algunas consideraciones sobre los sistemas del servicio fijo que pueden facilitar el éxito de la coordinación.

### 7.3 Recomendación UIT-R M.1143

Con objeto de aplicar la Recomendación UIT-R M.1141 para establecer los criterios sobre umbrales de coordinación de las estaciones espaciales no OSG del SMS con respecto a la compartición con sistemas digitales del servicio fijo, es necesario calcular la DFC. La Recomendación UIT-R IS.1143 (Ginebra, 1995) fue elaborada fundamentalmente con ese objetivo. En primer lugar, se evalúa la interferencia causada a los sistemas del servicio fijo con las características de referencia descritas en

el Anexo 2 a dicha Recomendación. Si los umbrales establecidos en la Recomendación UIT-R M.1141 son rebasados por estos parámetros de referencias del servicio fijo, se utiliza la metodología específica de sistema descrita en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R IS.1143 para determinar la necesidad de coordinación de las redes de satélites no OSG del SMS (espacio-Tierra) con las asignaciones del servicio fijo. Esta metodología tiene en cuenta características más específicas de los sistemas de satélites no OSG del SMS y las características de referencia del servicio fijo. Si no se rebasan los criterios de interferencia máxima, se considera que no es necesaria la coordinación (a menos que la administración responsable de los sistemas del servicio fijo decida lo contrario).

En 1997 la Recomendación UIT-R IS.1143 pasó a ser la Recomendación UIT-R M.1143.

#### **7.4 Recomendación UIT-R F.1246 (Ginebra, 1997) (Anchura de banda de referencia)**

Las Recomendaciones UIT-R IS.1141 (Ginebra, 1995) y UIT-R IS.1142 (Ginebra, 1995) adoptaron una anchura de banda de referencia de 4 kHz con objeto de definir los umbrales de coordinación, en términos de dfp, para sistemas analógicos del servicio fijo con respecto a la compartición de frecuencias con estaciones espaciales no OSG y OSG del SMS, respectivamente. Por otro lado, la Recomendación UIT-R IS.1141 (Ginebra, 1995) adoptó una anchura de banda de referencia de 1 MHz para definir la DFC de los sistemas digitales del servicio fijo con respecto a la compartición de frecuencias con estaciones espaciales no OSG del SMS. Sin embargo, la Recomendación UIT-R IS.1142 (Ginebra, 1995) adoptó una anchura de banda de referencia de 4 kHz a fin de definir los umbrales de coordinación, en términos de dfp, para sistemas digitales del servicio fijo con respecto a la compartición de frecuencias con estaciones espaciales OSG del SMS. Se reconoció la necesidad de resolver esta incoherencia y de realizar estudios sobre la aplicabilidad de la anchura de banda de referencia de 1 MHz a sistemas analógicos del servicio fijo. Al mismo tiempo, se observó que parte del espectro de los sistemas SMS puede no ser uniforme en una anchura de banda de 1 MHz.

Un amplio estudio realizado por las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones sobre los efectos de la interferencia causada por el SMS a los sistemas del servicio fijo desembocó en la Recomendación UIT-R F.1246 que recomienda la utilización de una anchura de banda de referencia de 1 MHz para los sistemas digitales del servicio fijo y de anchuras de banda de referencia de 4 kHz y 1 MHz para los sistemas analógicos del servicio fijo que utilizan modulación por desplazamiento de frecuencia/modulación de frecuencia (MDF-MF). Basándose en esta Recomendación, se modificaron convenientemente los umbrales de coordinación que figuran en las Recomendaciones UIT-R IS.1141 y UIT-R IS.1142 (estas Recomendaciones son actualmente las Recomendaciones UIT-R M.1141 y UIT-R M.1142). También se incorporaron las mismas conclusiones al Apéndice 5 del RR.

### **8 Límites de dfp producida por satélites no OSG utilizados para enlaces de conexión del SMS (Recomendación UIT-R SF.1320)**

La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995) (CMR-95) atribuyó las bandas 6700-7075 MHz y 19,3-19,6 GHz con funcionamiento en banda inversa (espacio-Tierra y Tierra-espacio, respectivamente) al SFS y designó estas bandas para su utilización por los enlaces de conexión de sistemas de satélites no OSG del SMS. Además, también atribuyó la banda 19,3-19,6 GHz como utilización adicional por el SFS para los enlaces de conexión (espacio-Tierra) de redes de satélites no OSG del SMS. Posteriormente, la CMR-97 amplió esta última gama de frecuencias en 100 MHz para cubrir la banda 19,3-19,7 GHz y aclaró su utilización por las redes de satélites de enlaces de conexión del SFS OSG y el SMS no OSG. Estas bandas también están atribuidas al servicio fijo que ha utilizado estas gamas de frecuencia en una gran variedad de

aplicaciones de radioenlaces de corto y largo alcance. Con objeto de establecer la viabilidad de la compartición de la banda, y en la preparación de la CMR-95, se llevaron a cabo amplios estudios conjuntamente por las Comisiones de Estudio 4 y 9 en el Grupo de Trabajo 4-9S de Radiocomunicaciones. Los diseños de los enlaces previstos como enlaces de conexión del SMS no OSG dieron lugar al establecimiento de unos límites de dfp en vez de unos umbrales de coordinación con el servicio fijo. Esto supuso una gran ventaja puesto que las bandas ya estaban siendo ampliamente utilizadas por el servicio fijo en muchos países y la coordinación de frecuencias hubiera impuesto una pesada carga administrativa para esos países.

Una forma de tratar la naturaleza variable en el tiempo de la interferencia producida por las estaciones espaciales no OSG del SMS en el servicio fijo fue llevar a cabo análisis de interferencia utilizando la metodología de la DFC contenida en la Recomendación UIT-R F.1108. Además, de acuerdo con la Recomendación UIT-R F.1094, se permite una máxima DFC del 10% para los servicios que comparten el espectro con el servicio fijo a título primario con igualdad de derechos. Para establecer los límites de dfp necesarios y suficientes para proteger al servicio fijo y que además no impongan limitaciones indebidas en las redes de enlaces de conexión del SMS no OSG, hubo de realizarse la evaluación de un cierto número de hipótesis de compartición de banda.

Para el caso de la banda de 7 GHz, los estudios demostraron que los límites de dfp aplicables a las bandas de 4 GHz y 5 GHz ( $-152/-142$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 4 kHz) no serían suficientes para asegurar que la DFC de los sistemas del servicio fijo en 7 GHz se mantuviera con un límite máximo de degradación del 10%. Por ejemplo, en los acimuts de puntería críticos, el servicio fijo experimentaría una DFC de cresta comprendida entre el 50% y el 250% y en una amplia gama de acimuts de las estaciones del servicio fijo aparecería una DFC superior al 10%. En posteriores análisis realizados utilizando un contorno de dfp 10 dB más estricta se observaron unos valores de DFC de cresta próximos al 4% en acimuts de estaciones del servicio fijo críticos. Las DFC medias en este caso fueron inferiores al 1%. Este contorno de dfp más estricto, en ausencia de otros factores de reducción, fue suficiente para proteger al servicio fijo en la banda de 7 GHz. Se observó que también podría producirse una degradación de la calidad de funcionamiento en el servicio fijo causada por las redes de satélites OSG del SFS en sentido del enlace ascendente pero la mayoría de los casos pueden solucionarse mediante acuerdos nacionales o bilaterales de coordinación de frecuencias entre estación terrena/estación terrenal. Al mismo tiempo, cabe esperar que en el futuro la mayoría de las estaciones del servicio fijo utilicen modulación digital y en los análisis de interferencia podría suponerse una anchura de banda de referencia más ancha de 1 MHz. Por consiguiente, fue necesario determinar un aceptable incremento en la dfp de  $-138/-128$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 1 MHz que se considerara necesario y suficiente para proteger al servicio fijo.

Se tuvo en cuenta un cierto número de factores, incluyendo por un lado un aumento de hasta 6 dB en la dfp debido a la latitud de la estación del servicio fijo y al ángulo de elevación de la antena; los efectos, caso de existir, de la discriminación por polarización cerca del lóbulo principal de la antena de la estación del servicio fijo; la utilización de un contorno de dfp y un factor de extrapolación de dicho contorno; y por otro lado una disminución de hasta 3 dB debida al efecto de múltiples redes de enlaces de conexión del SMS no OSG. Se llegó a la conclusión de que una vez considerados todos los factores, un aumento de 4 dB en la dfp y un factor de extrapolación de 10 dB entre los límites de ángulos de llegada bajo y alto, proporcionará la necesaria protección al servicio fijo ofreciendo, además, la necesaria flexibilidad a las futuras redes de enlaces de conexión del SMS no OSG.



Además, en un estudio separado presentado a la CMR-95, se demostró que un contorno de dfp de  $-154/-144$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 4 kHz también protegería al servicio fijo. Tales niveles de dfp facilitarían la utilización de portadoras de banda estrecha por una red de enlaces de conexión del SMS no OSG. Este estudio fue ampliamente considerado por la Conferencia que llegó a la conclusión de que sería necesario aplicar simultáneamente ambos límites (es decir,  $-154/-144$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 4 kHz y  $-134/-124$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 1 MHz) para permitir una compartición de banda en 7 GHz. Las portadoras de satélite de banda estrecha podrían implantarse de manera económica siempre que su dfp combinada no rebase el valor  $-134/-124$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 1 MHz. La CMR-95 también decidió, sin entrar en debates de tipo técnico, que los límites de dfp (en una anchura de banda de referencia de 1 MHz) en la subbanda 6 700-6 825 MHz requieren una disminución de 3 dB con respecto a la banda 6 825-7 075 MHz para proteger a las estaciones del servicio fijo más sensibles.

En el caso de la banda de 19 GHz fue necesario considerar la Recomendación UIT-R SF.1005 que indica que para la gama de frecuencias 15,4-20 GHz, en las bandas donde el SFS tiene atribuciones con utilización bidireccional, la dfp debe ser 5 dB inferior a los límites señalados en la Recomendación UIT-R SF.358; es decir, debe reducirse a un valor de  $-120/-110$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 1 MHz. Los estudios demostraron que si no se tiene en cuenta la atenuación atmosférica, los límites de dfp actuales aplicables a la banda de 19 GHz (es decir,  $-115/-105$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 1 MHz) no serían suficientes para proteger el servicio fijo. La aplicación de la Recomendación UIT-R F.1108 en este caso dio lugar a unas DFC de cresta comprendidas entre el 11% al 55%. Sin embargo, en esta gama de frecuencias, la precipitación desempeña un papel fundamental en la propagación y en el diseño de los enlaces del servicio fijo. En consecuencia, el método de DFC de la Recomendación UIT-R F.1108 no era suficiente para extraer conclusiones válidas sobre la pertinencia de los valores de dfp para proteger el servicio fijo. Por lo tanto, fue necesario evaluar los resultados de otras metodologías de interferencia además del método DFC, tales como la distribución acumulativa de las funciones de interferencia.

Al igual que se hizo con la banda de 7 GHz, se estudió un cierto número de factores de reducción de la interferencia. Por ejemplo, los ángulos de funcionamiento del satélite mínimos de las redes del SMS no OSG candidatas están en la gama de 5° a 8°. Las pérdidas atmosféricas para ángulos del trayecto oblicuo bajos es normalmente de varios dB, suficiente para compensar la rigidez de los límites de dfp indicados en la Recomendación UIT-R SF.1005. Además, el aislamiento por polarización entre los sistemas por satélite y terrenales podría compensar hasta 3 dB en los casos de interferencia del lóbulo principal. Los resultados de los análisis de la distribución acumulativa de las funciones de interferencia, teniendo en cuenta las pérdidas atmosféricas pero suponiendo que las redes no OSG funcionaban con un ángulo mínimo de 0° en los límites de dfp, demostraron que se cumplían los objetivos de interferencia a largo y corto plazo del servicio fijo pero con pequeños márgenes (del orden de 2 a 4 dB para el caso bidireccional). Un estudio demostró que el objetivo de interferencia a corto plazo para el servicio fijo (en el caso bidireccional) se rebasaba aproximadamente de 4 dB, aunque no se tuviera en cuenta ninguna pérdida atmosférica. Se llegó a la conclusión de que considerando todos los factores, los límites de dfp existentes para la banda de 19 GHz son necesarios y suficientes para proteger el servicio fijo contra la interferencia causada por estaciones espaciales de enlaces de conexión del SMS no OSG.

Es importante observar que la banda de 19 GHz también puede ser utilizada por el SFS OSG (espacio-Tierra) así como por los enlaces de conexión del SMS no OSG en sentido inverso (Tierra-espacio). Considerando que existe un margen de interferencia, aunque de reducido valor, resultante de la introducción de las redes de enlaces de conexión del SMS no OSG (espacio-Tierra), este margen está a disposición del servicio fijo para los casos de coordinación de frecuencia con las estaciones terrenas de enlaces de conexión del SMS no OSG que funcionan en sentido inverso.

En la Recomendación UIT-R SF.1320 aprobada en 1997 figura un análisis detallado de la obtención de los límites de dfp en las redes de enlaces de conexión del SMS no OSG.

## **9 Examen de los límites de dfp para los servicios científicos espaciales en las bandas de 2 GHz (Recomendación UIT-R SA.1273)**

La Recomendación UIT-R SA.1273 considera los límites de dfp en las bandas 2025-2110 MHz y 2200-2290 MHz necesarios para proteger las estaciones del servicio fijo contra las emisiones procedentes de los sistemas de satélites de los servicios científicos espaciales. Esta Recomendación, elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 7 y 9 de Radiocomunicaciones, es el resultado de varios años de estudios dirigidos a determinar los límites adecuados de dfp basándose en las características y en los requisitos de calidad de funcionamiento de los sistemas del servicio fijo y de los servicios científicos espaciales que funcionan o tienen previsto su funcionamiento en estas bandas. En las bandas de 2 GHz los servicios científicos espaciales utilizan dos tipos de redes: una red terrena y una red espacial. La primera hace uso de estaciones terrenas para la telemetría, el seguimiento, el telemando y la adquisición de datos de misión de satélites científicos situados en todo tipo de órbita. Las transmisiones desde las estaciones terrenas a los satélites se realizan en la banda de 2025-2110 MHz y las transmisiones de los satélites a las estaciones terrenas se efectúan en la banda 2200-2290 MHz.

En la red espacial se sustituyen las estaciones terrenas empleadas en la red terrena por un satélite de retransmisión de datos (SRD) OSG que se utiliza para establecer enlaces de radiocomunicaciones para telemetría, seguimiento, telemando y adquisición de datos de misión con satélites que se encuentran normalmente en órbitas más bajas que la órbita de los satélites OSG. La banda 2025-2110 MHz es utilizada por los enlaces entre el SRD y el satélite en órbita baja (es decir, enlaces de ida), mientras que la banda 2200-2290 MHz se emplea para los enlaces entre el satélite en órbita baja y el SRD (es decir, enlaces de retorno).

Se ha hecho una amplia utilización del método de Monte Carlo y de simulaciones determinísticas de los sistemas de satélites y de sistemas del servicio fijo para determinar los límites adecuados de dfp. En la banda 2025-2110 MHz estas simulaciones incluyeron una orientación aleatoria de la antena de recepción de las estaciones del servicio fijo y el cálculo de la interferencia combinada procedente de todas las estaciones SRD a la vista de la estación receptora del servicio fijo al realizar el seguimiento de un conjunto de satélites situados en órbitas aleatorias. Estas simulaciones confirmaron que los actuales límites de dfp, expresados en una anchura de banda de referencia de 1 MHz, eran adecuados para proteger las estaciones del servicio fijo que funcionan en la banda.

Para evaluar los límites de dfp aplicables a la banda 2200-2290 MHz se utilizaron técnicas de simulación basadas en la Recomendación UIT-R F.1108. En estas simulaciones se supuso una orientación aleatoria de la antena de recepción del servicio fijo y emisiones cocanal simultáneas procedentes de 15 satélites situados en órbitas bajas aleatorias. Estas simulaciones demostraron que el límite de dfp podría disminuirse de 3 dB y la anchura de banda de referencia podría aumentarse de 4 kHz a 1 MHz.

La Recomendación UIT-R SA.1273 señala que en la banda 2200-2290 MHz los límites de dfp producida en la superficie de la Tierra por emisiones de satélites en sentido espacio-Tierra deben oscilar entre  $-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  y  $-120 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz; y para las emisiones de satélites en sentido espacio-espacio, la dfp puede oscilar entre  $-127 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  y  $-117 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en cualquier banda de 1 MHz. En la banda 2025-2110 MHz, estos límites de dfp aplicables a las emisiones en sentido espacio-espacio de los SRD OSG deben contarse entre  $-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  y

-120 dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 1 MHz. Los valores más bajos se aplican a ángulos de elevación inferiores a 5°. Entre 5° y 25° el límite de d<sub>fp</sub> aumenta linealmente hasta el valor más elevado. Cabe señalar que los límites de d<sub>fp</sub> de la Recomendación UIT-R SA.1273 difieren de los límites que figuran en el Cuadro 21-4 del Artículo 21 del RR.

## **10 Umbrales de coordinación para el SRS (sonora) en la banda 1452-1492 MHz**

Como se describe en el § 5.2, la CAMR-92 atribuyó ciertas bandas de frecuencias en la gama 1-3 GHz al SRS (sonora). En la Oficina de Radiocomunicaciones se presentaron algunos proyectos del SRS (sonora). Como las bandas están compartidas con el servicio fijo, fue necesario establecer niveles umbrales para determinar la necesidad de coordinar los sistemas del SRS (sonora) y los sistemas del servicio fijo. Se observó que los sistemas del servicio fijo se empleaban generalmente para sistemas punto a punto de corto alcance y sistemas de acceso local punto a multipunto. En algunas situaciones desfavorables, las estaciones espaciales del SRS (sonora) pueden aparecer en las direcciones del haz principal de las estaciones receptoras del servicio fijo provocando una interferencia muy significativa. El establecimiento de umbrales de coordinación teniendo en cuenta estas situaciones fue una tarea muy difícil.

Tras un amplio estudio en el que participaron expertos tanto del servicio fijo como del SRS, la Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT de 1997 aprobó la Recomendación UIT-R F.1338. La Recomendación presenta, como umbrales de coordinación, los niveles de d<sub>fp</sub> equivalentes a los que se aplican a las bandas del SMS adyacentes, pero al mismo tiempo reconoce la necesidad de aplicar distintos niveles de d<sub>fp</sub> dependiendo de la situación. En el Anexo 1 a la Recomendación figuran algunas consideraciones sobre los sistemas del servicio fijo que pueden facilitar el éxito de la coordinación.

La Recomendación UIT-R F.1338 es un primer paso sobre este tema y se están llevando a cabo más estudios al respecto.

## **11 Observaciones finales**

Desde 1963, el establecimiento de criterios de d<sub>fp</sub> ha sido uno de los temas más importantes para la compartición de frecuencias entre el servicio fijo y diversos servicios espaciales. En particular, desde la CAMR-92, que efectuó nuevas atribuciones de frecuencias a los servicios espaciales, se han elaborado un cierto número de nuevas Recomendaciones UIT-R para determinar los criterios adecuados de d<sub>fp</sub> a fin de proteger al servicio fijo.

En muchos casos, los criterios se fijaron tras largos y controvertidos debates entre los expertos que representaban al servicio interferente y al servicio interferido. El tema en general fue complicado y difícil de analizar.

En el futuro, las situaciones de compartición de frecuencias pueden resultar más complejas y puede que sea necesario establecer criterios de d<sub>fp</sub> apropiados para nuevas situaciones. Cabe esperar que esta Recomendación sirva como directriz adecuada a esos futuros análisis.

## Apéndice 1 al Anexo 1

### Desarrollo de los límites de dfp en las estaciones espaciales del SFS

La Conferencia Administrativa Extraordinaria de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1963) atribuyó las bandas 3 700-4 200 MHz y 5 925-6 425 MHz al SFS a título compartido con el servicio fijo. Fue la primera atribución al SFS a efectos operativos. Los sistemas de radioenlaces en el servicio fijo habían estado funcionando durante más de 10 años y, por consiguiente, los criterios de compartición de frecuencias entre ambos servicios era uno de los temas más importantes que discutió la X Asamblea Plenaria del ex CCIR (Ginebra, 1963) celebrada antes de la Conferencia.

Las Comisiones de Estudio 4 y 9 abordaron conjuntamente este tema y elaboraron la Recomendación 358 (actualmente Recomendación UIT-R SF.358) que propone unos valores máximos admisibles de la dfp producida en la superficie de la Tierra por estaciones espaciales del SFS. Desde entonces, se ha continuado trabajando en el tema para mejorar esta Recomendación y ampliar su aplicación a otras bandas de frecuencias. Este Apéndice presenta un resumen de los esfuerzos realizados en ese sentido.

#### 1 Recomendación 358 del ex CCIR (Ginebra, 1963)

##### 1.1 Criterios de compartición para proteger los sistemas de radioenlaces

La primera ruta de un sistema de radioenlaces que funcionó en la banda de 4 GHz entró en servicio en 1947 entre Nueva York y Boston en Estados Unidos de América. Desde entonces, muchos países de todo el mundo han introducido sistemas de radioenlaces en sus redes de telecomunicaciones, como sistemas de largo alcance y como sistemas de corto alcance.

Cuando apareció la tecnología de satélites, uno de los temas fundamentales fue la forma de proteger los sistemas de radioenlaces existentes contra las emisiones procedentes de las estaciones espaciales. A tal efecto, el ex CCIR elaboró la Recomendación 357 titulada «Sistemas de comunicación por satélites que utilicen las mismas bandas de frecuencias que los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa – Valores máximos admisibles de interferencia en un canal telefónico de un sistema de relevadores radioeléctricos» (actualmente Recomendación UIT-R SF.357). (Cabe señalar que el término «servicio fijo por satélite» fue definido por la Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales (Ginebra, 1971) (CAMR-71). Hasta entonces se utilizó el término «sistemas de comunicaciones por satélite».)

Esta Recomendación recomendaba:

1 que los sistemas de comunicaciones por satélite que comparten bandas de frecuencias con sistemas de radioenlaces con visibilidad directa deben diseñarse de tal forma que en cualquier canal telefónico de un circuito ficticio de referencia de 2 500 km para sistemas de radioenlaces, la potencia de ruido de interferencia en un punto de nivel relativo cero, causada por la combinación de las estaciones terrenas y de los transmisores de los sistemas de comunicaciones por satélite no rebase los siguientes valores:

- 1.1 1 000 pW, valor sofométrico medio en cualquier hora;
- 1.2 1 000 pW, potencia sofométrica media de 1 min, durante más del 20% de cualquier mes;
- 1.3 50 000 pW, potencia sofométrica media de 1 min, durante más del 0,01% de cualquier mes.

Tras la Recomendación 357, apareció la Recomendación 393 (actualmente Recomendación UIT-R F.393) que especifica la potencia de ruido admisible en el circuito ficticio de referencia de sistemas de radioenlaces para telefonía con MDF. La Recomendación 393 recomendaba:

**1** que la potencia de ruido en un punto de nivel relativo cero, en cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia 2 500 km de longitud para sistemas de radioenlaces en telefonía con multiplexión por distribución de frecuencia, no rebase los siguientes valores, elegidos para tener en cuenta el desvanecimiento:

- 1.1** 7 500 pW, potencia sofométrica media en cualquier hora;
- 1.2** 7 500 pW, potencia sofométrica media, durante 1 min y más del 20% de cualquier mes;
- 1.3** 47 500 pW, potencia sofométrica media, durante 1 min y más del 0,1% de cualquier mes;
- 1.4** 1 000 000 pW, potencia no ponderada (con un tiempo de integración de 5 ms) durante más del 0,01% de cualquier mes.

Aunque posteriormente fue suprimido el punto sobre el ruido medio horario, el resto aún figura en la actual versión de la Recomendación UIT-R F.393. Por otro lado, cabe señalar que había otra Recomendación que especificaba el máximo ruido admisible en circuitos reales cuya longitud sea más corta de 2 500 km. Era la Recomendación 395 (actualmente en Recomendación UIT-R F.395), que incluía los siguientes objetivos:

- la potencia de ruido en un canal telefónico de un sistema de radioenlaces MDF real de  $L$  km de longitud, estando  $L$  comprendida entre 280 km y 2 500 km, no debe rebasar una potencia media durante 1 min de  $3L$  pW durante más del 20% de cualquier mes;
- la potencia de ruido en un canal telefónico de un sistema de radioenlaces MDF real de  $L$  km de longitud, estando  $L$  comprendida entre 50 km y 280 km, no debe rebasar una potencia media durante 1 min de  $50 \sqrt{L}$  pW durante más del 20% de cualquier mes.

De lo anterior se deduce que la Recomendación 357 se elaboró basándose en la Recomendación 393 pero la Recomendación 395 no fue tenida en cuenta. La Recomendación 395 especificaba la máxima potencia de ruido admisible en circuitos reales cuya longitud podría ser tan corta como 50 km. Incluso en esa época, ya era evidente que lo dispuesto en la Recomendación 395 no podría cumplirse si se tuviese en cuenta la interferencia procedente de satélites debido al hecho de que en la situación más desfavorable, que se produce cuando el satélite aparece en el haz principal de la antena de recepción del radioenlace, la interferencia puede rebasar muy significativamente el límite permitido por la Recomendación 395. Por consiguiente, se acordó por unanimidad que la máxima interferencia admisible procedente de los sistemas del SFS se especificase únicamente para el circuito ficticio de referencia de 2 500 km de longitud.

## **1.2 Límites de densidad de flujo de potencia**

Un amplio estudio realizado en 1963 para determinar los límites adecuados de dfp en las estaciones espaciales del SFS a fin de cumplir el objetivo de interferencia de la Recomendación 357 condujo a la formulación de la histórica Recomendación 358 que indicaba:

**1** que la compartición de frecuencias entre los sistemas de comunicaciones por satélite y los sistemas de radioenlaces con visibilidad directa se considere posible si se cumplen las condiciones señaladas en los puntos 2 ó 3;

**2** que para los sistemas de comunicaciones por satélite que utilizan modulación de frecuencia con amplia desviación, la densidad de flujo de potencia causada en la superficie de la Tierra por las emisiones de un satélite no rebase el valor de:

$$-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)} \text{ para todos los ángulos de llegada}$$

y que las señales radiadas por un satélite sean continuamente moduladas por una onda adecuada, si es necesario, de manera que la densidad de flujo de potencia medida en cualquier banda de 4 kHz, particularmente durante los periodos de poco tráfico, no rebase el valor de:

–149 dB(W/m<sup>2</sup>) por 4 kHz para todos los ángulos de llegada,

3 que para los sistemas de comunicaciones por satélite que utilizan otros tipos de modulación, la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra procedente de las emisiones de un satélite, medida en cualquier anchura de banda de 4 kHz, no rebase el valor de:

–152 dB(W/m<sup>2</sup>) por 4 kHz para todos los ángulos de llegada,

4 que los valores anteriores se consideren provisionales hasta realizar más estudios al respecto.

La justificación de los límites señalados se describe en el Informe 209 del ex CCIR (Ginebra, 1963) titulado «Sistemas de comunicación por satélites – Compartición de frecuencias entre sistemas de comunicación por satélites y los servicios terrestres de radiocomunicación». A continuación se resumen algunos textos de dicho Informe:

Parece evidente que los sistemas de comunicaciones por satélite exigirán un amplio volumen de espacio espectral para satisfacer los futuros requisitos de tráfico. Sin embargo, el espectro de radiofrecuencias comprendido entre aproximadamente 1 y 10 GHz, técnicamente el más adecuado para estos sistemas, es ampliamente utilizado por los servicios terrenales. En consecuencia, el problema de encontrar espacio espectral suficiente para los sistemas de comunicaciones por satélite se vería en gran medida resuelto si fuese posible compartir bandas de frecuencias con otros servicios compatibles. Tal compartición debería basarse en normas de protección contra la interferencia mutuamente aceptables, estableciendo algunos márgenes para futuros desarrollos de los servicios correspondientes.

La potencia admisible de un transmisor de satélite debe ser lo suficientemente elevada como para otorgar una libertad razonable a los diseñadores de los sistemas de comunicaciones por satélite a fin de que puedan satisfacerse unos requisitos de calidad de funcionamiento de tales sistemas, pero no tan elevada como para que se degrade de forma significativa la calidad de funcionamiento de los actuales y futuros sistemas de radioenlaces con visibilidad directa por debajo de lo estipulado en la Recomendación 393. Puede demostrarse que es posible determinar un límite práctico que satisfaga ambos requisitos.

Sin embargo, no sería conveniente una limitación expresada en términos de la potencia del transmisor del satélite debido a la necesidad de cubrir una cierta gama de altitudes y se considera preferible definir el flujo de potencia (W/m<sup>2</sup>) admisible producido en la superficie de la Tierra por un satélite. Ello permitiría la utilización de mayores potencias de radiación de los satélites en las órbitas más elevadas.

Además del flujo de potencia admisible, también es conveniente definir la densidad espectral del flujo de potencia admisible, (W/m<sup>2</sup> por 4 kHz) en la anchura de banda normal de un canal telefónico. El objeto de este requisito es evitar la concentración de la energía radiada en una pequeña banda de frecuencias, lo que provocaría una interferencia excesiva. En el Anexo II se discute la relación entre el flujo de potencia y la interferencia causada por el mismo en un sistema de radioenlaces y en la Recomendación 358 figuran los valores provisionales del flujo de potencia admisible.



La justificación de un valor para el límite de dfp de  $-149 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  por 4 kHz de anchura de banda aparecía en el Anexo II al Informe 209 y puede resumirse de la forma siguiente:

- las hipótesis para un receptor de radioenlace son una superficie efectiva de antena de  $10 \text{ m}^2$  (43 dB de ganancia a 4 GHz, valores superiores a los  $5 \text{ m}^2$  y 40 dB para una antena media), discriminación por polarización de 3 dB entre polarización circular y lineal y unas pérdidas en el alimentador de 3 dB;
- por consiguiente, una dfp de  $-149 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  por 4 kHz de anchura de banda en una exposición directa pasará a ser de  $-145 \text{ dBW}$  por 4 kHz de anchura de banda a la entrada del receptor;
- suponiendo un factor de ruido de 4 dB (muy inferior al valor típico de 10 dB), la potencia del ruido térmico es de  $-164 \text{ dBW}$  por 4 kHz de anchura de banda;
- suponiendo el ruido térmico sin desvanecimiento (por salto) en un canal telefónico de 5 a 10 pW, el ruido de interferencia (19 dB más elevado que el ruido térmico) toma un valor entre 400 y 800 pW;
- como la probabilidad de que resulten afectados dos saltos es despreciable (inferior al 1%), la interferencia indicada anteriormente es inferior al valor de 1000 pW señalado como límite superior en la Recomendación 357.

Aparentemente, las aportaciones de interferencia a través de los lóbulos laterales de la antena del radioenlace se consideraron lo suficientemente pequeños como para despreciarlos. No se dan explicaciones sobre el límite de dfp total de  $-130 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  o sobre el límite de dfp de  $-152 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en una anchura de banda de 4 kHz. Pero es interesante observar que el límite de  $-152 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  en una banda de 4 kHz para la banda 4 GHz continúa apareciendo en la última versión de la Recomendación UIT-R SF.358.

Es difícil entender por qué la Recomendación 358 (Ginebra, 1963) especificaba el mismo límite de dfp para todo ángulo de llegada, pero este punto se subsanó en 1966.

En su conjunto, la Recomendación 358 estableció una buena base para realizar con éxito una compartición de frecuencias entre el SFS y el servicio fijo. Particularmente interesante es el hecho de que el Informe 209 supone un factor de ruido tan pequeño como 4 dB y el factor de ruido típico en esos días era de aproximadamente 10 dB.

## 2 Recomendación 358-1 del ex CCIR (Oslo, 1966)

En 1966, la Recomendación 358 sufrió una importante revisión y sus *recomienda* decían lo siguiente:

1 que en las bandas de frecuencias de la gama 1-10 GHz, compartidas entre sistemas de comunicación por satélite y sistemas de radioenlaces con visibilidad directa, la máxima densidad del flujo de potencia producida en la superficie de la Tierra por las transmisiones de una estación espacial, con todo método y en cualquier condición de modulación, no rebase:

$$\left( -152 + \frac{\theta}{15} \right) \text{ dB con respecto a } 1 \text{ W/m}^2 \text{ en cualquier banda de 4 kHz,}$$

siendo  $\theta$  el ángulo de llegada de la onda medido en grados sobre el horizonte;

2 que el valor arriba mencionado se suponga referido a la densidad del flujo de potencia en las condiciones de propagación en el vacío.

El Informe 387 (Oslo, 1966), «Densidad espectral del flujo de potencia producido en la superficie terrestre por los satélites de comunicación», proporciona la siguiente información:

- de acuerdo con un estudio sobre la medida en que las antenas de los radioenlaces existentes están orientadas en dirección de la órbita de un satélite OSG, el porcentaje del total de orientación de lóbulos en las cuales hay intersección varía de una red a otra, pero en cerca de 6 000 orientaciones de lóbulos de radiación estudiados, aproximadamente en el 2% de los casos la OSG está a menos de 1° de los ejes del haz;
- para los sistemas con modulación de frecuencia con gran excursión se puede utilizar la dispersión de energía de la portadora, de manera que pueda rebasarse el límite de la dfp total (-130 dB(W/m<sup>2</sup>)) sin rebasar el límite de dfp en una banda cualquiera de 4 kHz (-149 dB(W/m<sup>2</sup>)). En consecuencia, el primero de estos límites es restrictivo, pues no proporciona una protección suplementaria a los radioenlaces;
- aumentando el valor límite de la dfp en una banda cualquiera de 4 kHz, a medida que se va llegando al punto de proyección del satélite, se facilitaría la realización de sistemas de satélites en los que intervengan estaciones terrenas más sencillas. Esta flexibilidad facilitaría el trabajo al realizador de un sistema de satélites sin aumentar los riesgos de interferencia a los radioenlaces;
- para la mayoría de las antenas de satélite, el diagrama de radiación da una ganancia en la dirección del horizonte probablemente 3 dB inferior a la ganancia en la dirección del centro de la Tierra y el trayecto entre el satélite y el horizonte es mayor entre el satélite y su proyección sobre la Tierra, lo que tiene como consecuencia una mayor atenuación; la combinación de estos dos factores hace que la dfp en la proyección del satélite sobre la Tierra sea probablemente superior a unos 6,5 dB a lo que es en el horizonte para un satélite de 8 000 km de altitud y unos 4,2 dB para un satélite de 20 000 km de altitud (cabe señalar que en esa época las antenas de los satélites era de baja ganancia y con cobertura mundial).

Estos factores fueron razón suficiente para revisar la Recomendación. Para la estación de radioenlace de referencia con las características indicadas a continuación se obtuvo el valor de -152 dB(W/m<sup>2</sup>) en una banda de 4 kHz:

- antena con una superficie equivalente de 7,5 m<sup>2</sup> (aproximadamente 42 dB de ganancia);
- pérdidas en la línea de alimentación: 3 dB;
- discriminación de polarización: 3 dB;
- temperatura de ruido para el conjunto del sistema: 750 K;
- ruido térmico: 25 pW de ruido térmico, potencia sofométrica, en un canal telefónico, para un trayecto en espacio libre de 50 km;
- frecuencia utilizada: 4 GHz.

Bajo estas hipótesis, la interferencia de 1 000 pW corresponde a una dfp de -150,6 dB(W/m<sup>2</sup>) en una banda de 4 kHz.

### 3 Informe 387-1 del ex CCIR (Nueva Delhi, 1970)

La reunión conjunta de las Comisiones de Estudio 4 y 9 celebrada en 1969 recibió una propuesta en el sentido de sustituir el límite dfp en cualquier banda de 4 kHz de la Recomendación 358-1 por los siguientes valores:

$$\begin{array}{ll} -152 + 0,5 \theta \text{ dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 0^\circ \leq \theta < 20^\circ \\ -142 \text{ dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 20^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

siendo  $\theta$  el ángulo de llegada por encima del plano horizontal.

La razón de la propuesta era permitir a los satélites utilizar haces puntuales. Sin embargo estos valores no fueron aceptados por la reunión y tras un amplio debate se decidió seguir estudiando el siguiente contorno de dfp para una anchura de banda de 4 kHz:

$$\begin{array}{lll} -152 & \text{dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 0^\circ \leq \theta < 5^\circ \\ -152 + 0,5 (\theta - 5) & \text{dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 5^\circ \leq \theta < 25^\circ \\ -142 & \text{dB(W/m}^2\text{)} & \text{para } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

En este caso, el límite de dfp es constante para ángulos de llegada entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$ . La razón para adoptar un valor constante en esta gama se describe en la Recomendación UIT-R SF.358, Anexo 1, § 2.3.

El contorno de dfp revisado se incorporó al Informe 387-1 revisado (Nueva Delhi, 1970), invitando a las administraciones a llevar a cabo más estudios.

#### 4 Reunión Mixta Especial del ex CCIR (Ginebra, 1971)

Para preparar la CAMR-71 se celebró una reunión especial de las Comisiones de Estudio del ex CCIR (similar a la actual Reunión Preparatoria de la Conferencia). Los límites de dfp para las estaciones espaciales del SFS fue uno de los temas más importantes que consideró esta reunión.

Se presentaron varias contribuciones informando sobre los resultados de las simulaciones con respecto al contorno de dfp revisado para la banda de 4 GHz descrito en el Informe 387-1 (Nueva Delhi, 1970). La mayoría de ellas indicaba que el contorno era aceptable, pero una administración informó que el límite de dfp para ángulos de llegada altos era demasiado elevado cuando se tenía en cuenta el diagrama de radiación relativamente pobre de las antenas reales de tipo asimétrico en el plano vertical.

Por último, la reunión aceptó el contorno de dfp propuesto en el Informe 387-1. Los resultados de estos estudios aparecen resumidos actualmente en el Apéndice 1 al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R SF.358. Se supuso que los satélites se encontraban situados en la órbita de los satélites OSG con una separación uniforme ( $3^\circ$  o  $6^\circ$ ) y se suponía, además, que cada satélite producía la máxima dfp en la superficie de la Tierra permitida por el contorno de dfp para todos los ángulos de llegada.

A fin de simular las rutas de los sistemas de radioenlaces de 50 saltos, se supuso la existencia de una estación en el centro de la ruta a una cierta latitud (típicamente  $40^\circ$ ). Su longitud se eligió como un parámetro aleatorio. A continuación se eligió también aleatoriamente el ángulo acimutal de la dirección de la ruta entre  $0^\circ$  y  $360^\circ$ . La dirección de la antena (acimut) de cada estación se eligió también de manera aleatoria en un margen de  $\pm 25^\circ$  con respecto a la dirección de la ruta, con ello se determinaba el emplazamiento de la estación adyacente y podrían fijarse las ubicaciones de todas las estaciones. Para determinar la interferencia total, se realizó un sumatorio de las interferencias procedentes de todos los satélites visibles.

Los resultados de los estudios de simulación demostraron que en la mayoría de las rutas de radioenlaces, la interferencia combinada estaba por debajo de 1 000 pW. Únicamente en algunas rutas (menos el 10%) la interferencia rebasó ligeramente el valor de 1 000 pW.

A continuación, la reunión trató de establecer nuevos contornos de dfp para bandas de frecuencias distintas a las de 4 GHz. Se observó que había muchos sistemas de radioenlaces operativos en la gama de frecuencias comprendida entre 2 GHz y 15 GHz.

La reunión tuvo en cuenta que el límite de dfp puede aumentar a medida que lo hace la frecuencia de funcionamiento de 10 a 30 GHz por varias razones:

- una mayor absorción atmosférica;
- mayores temperaturas de ruido del receptor;
- límites de la apertura efectiva de las antenas del servicio fijo impuestos por las tolerancias del fabricante y por las anchuras de haz mínimas necesarias para asegurar una puntería precisa.

En conclusión, la reunión decidió aplicar a la banda 3-8 GHz el contorno de dfp propuesto en el Informe 387-1, y se adoptaron los siguientes contornos para otras bandas de frecuencias;

- 2 dB más estricto para la banda 1,7-2,3 GHz, provisionalmente;
- 2 dB menos estricto para la banda 8-11,7 GHz;
- 4 dB menos estricto para la banda 11,7-15,4 GHz.

Sin embargo, para la banda 15,4-23 GHz se adoptó un enfoque totalmente distinto. No había ningún sistema del servicio fijo funcionando en frecuencias por encima de 15,4 GHz, aunque algunas administraciones estaban llevando intensas actividades de investigación y desarrollo al respecto. Por consiguiente, fue difícil identificar modelos de sistemas del servicio fijo para su protección. Además no existía ningún criterio de protección.

La reunión recibió cuatro contribuciones en las que se proponían límites de dfp en la banda 15,4-23 GHz. Se acordó que en estas bandas funcionarían fundamentalmente sistemas digitales. Este hecho llevó a adoptar la anchura de banda de referencia de 1 MHz, en vez de la anchura de banda de 4 kHz adoptada para las bandas de frecuencias inferiores.

Curiosamente, tres contribuciones propusieron casi los mismos límites de dfp. Por otro lado, una contribución propuso un límite de dfp mucho más elevado. En la reunión se discutió si había suficiente argumento técnico como para apoyar un límite de dfp definitivo y se tuvo la suficiente audacia como para responder afirmativamente. Basándose en una propuesta mayoritaria se adoptó el contorno de dfp de  $-115$  y  $-105$  dB(W/m<sup>2</sup>) en cualquier banda de 1 MHz para ángulos de llegada bajos y altos, respectivamente; estos valores aún figuran en la última versión de la Recomendación UIT-R SF.358.

## **5 Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales (Ginebra, 1971)**

La CAMR-71 realizó varias atribuciones de frecuencias a diversos servicios espaciales, incluyendo el SFS, el SRS, el SMS y los servicios científicos espaciales. Los límites de dfp incluidos en el Informe de la Reunión Mixta Especial del ex CCIR (Ginebra, 1971) constituyeron una base importante para su consideración por la CAMR-71. La mayoría de ellos fueron incorporados al RR sin modificación como límites de dfp para las nuevas bandas atribuidas al SFS. Además, también fueron adoptados como límites de dfp para ciertas bandas atribuidas a los servicios científicos espaciales.

Una excepción fue la banda 2 500-2 690 MHz que fue atribuida al SRS para la televisión por recepción comunitaria. En esta banda, la CAMR-71 adoptó los límites de dfp de  $-152$  y  $-137$  dB(W/m<sup>2</sup>) en una banda de 4 kHz para ángulos de llegada bajos y altos, respectivamente. En esta decisión se tuvieron en cuenta las necesidades especiales de los sistemas del SRS y se basó en la hipótesis de que en esta banda no funcionarían muchos sistemas del SRS.

## **6 Recomendación 358-2 del ex CCIR (Ginebra, 1974)**

La Recomendación 358-2 del ex CCIR, revisada en 1974, incorporaba las conclusiones de la Reunión Mixta Especial del ex CCIR (Ginebra, 1971) y de la CAMR-71 sin introducir ninguna modificación adicional de fondo. Desde entonces esa Recomendación se ha mantenido como Recomendación UIT-R SF.358 sin modificaciones importantes.

Cabe señalar que la Recomendación UIT-R SF.358 fue elaborada para proteger a los sistemas del servicio fijo fundamentalmente de las emisiones procedentes de las estaciones espaciales del SFS situadas en la OSG, pero también es aplicable a las estaciones espaciales del SFS que utilizan las no OSG. Los análisis han confirmado que esta Recomendación fue apropiada para un número limitado de satélites no OSG.

## **7 Avance de sistemas de radioenlaces digitales**

La Recomendación 358-2 del ex CCIR (Ginebra, 1974) tenía por objeto proteger los sistemas de radioenlaces analógicos. Sin embargo, la tecnología de los sistemas de radioenlaces digitales hizo rápidos progresos desde finales de los años 60. La primera Recomendación del ex CCIR relativa al comportamiento de los sistemas de radioenlaces digitales fue la Recomendación 594 adoptada en 1982 que especificaba el objetivo global de característica de error de los sistemas de radioenlaces digitales en el trayecto digital ficticio de referencia de 2 500 km.

En 1986, se elaboró la Recomendación 615 del ex CCIR (la Recomendación UIT-R SF.615, más reciente, se ha suprimido en 2003) que especificaba la máxima interferencia admisible producida por sistemas del SFS en los sistemas de radioenlaces digitales. Se llevaron a cabo varios estudios para determinar si la Recomendación 358-2 era adecuada para proteger a los sistemas de radioenlaces digitales. Como resultado, apareció un factor importante. Los progresos tecnológicos experimentados por los sistemas de radioenlaces digitales hicieron posible mejorar la eficacia del espectro introduciendo una modulación multiestado que hizo al sistema más vulnerable a la interferencia procedente de estaciones espaciales. Bajo esta condición, se consideró necesario evitar la órbita a la hora de diseñar los sistemas de radioenlaces digitales para que la interferencia procedente de las estaciones espaciales del SFS se mantuviese dentro de los valores admisibles indicados por la antigua Recomendación UIT-R SF.615. Este tema se discute con más detalle en el Apéndice 3 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SF.358.

Los límites de dfp de la Recomendación 358-2 del ex CCIR (Ginebra, 1974) tenían por objeto proteger los sistemas de radioenlaces analógicos a los que no se había impuesto la condición de evitación de la órbita. Pero desde la llegada de los sistemas de radioenlaces digitales que utilizan modulación multiestado se ha convertido en práctica general evitar la OSG al elegir el emplazamiento de las estaciones receptoras del servicio fijo compartidas con el SFS (espacio-Tierra) (véase igualmente la Nota 2 de la Recomendación UIT-R SF.406 y el número 21.2 del RR).

---