

## RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1542-0\*

**Protección de los servicios pasivos\*\* de las emisiones no deseadas**

(2001)

**Alcance**

Esta Recomendación sirve como base para la vulnerabilidad de los servicios pasivos y las técnicas de mitigación destinadas a reducir al mínimo la interferencia generada por las emisiones no deseadas a los servicios pasivos.

**Palabras clave**

Emisiones no deseadas, mitigación, servicios pasivos, bandas de frecuencias, riesgo potencial de interferencia

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que es conveniente que las emisiones no deseadas procedentes de nuevas estaciones en cualquier servicio de radiocomunicaciones no deben hacer que estaciones que funcionan de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) en el mismo o en otro servicio, no puedan funcionar efectivamente;
- b) que en algunos casos se han atribuido bandas adyacentes o cercanas a servicios pasivos y a servicios que utilizan transmisores de alta potencia;
- c) que en muchos casos se han atribuido bandas de frecuencias adyacentes o cercanas a servicios pasivos y a servicios espaciales (espacio-Tierra);
- d) que en algunos casos se han atribuido bandas de frecuencias adyacentes o cercanas a servicios pasivos espaciales y a servicios que utilizan estaciones terrenas con enlaces ascendentes o una alta densidad de estaciones terrenas;
- e) que al realizar dichas atribuciones es posible que no se haya tenido en cuenta la compatibilidad entre transmisor y receptor;
- f) que el SRA, el SETS (pasivo) y el SIE (pasivo) están basados en la recepción de emisiones con niveles de potencia muy inferiores a los generalmente utilizados en otros servicios de radiocomunicaciones;
- g) que debido a dichos bajos niveles de potencia, estos servicios pasivos son generalmente más susceptibles que otros servicios a la interferencia procedente de emisiones no deseadas;
- h) que en varios números del RR (tales como los números 5.149, 5.340, 5.372) se advierte sobre la protección de estos servicios pasivos, en particular de las emisiones procedentes de estaciones a bordo de vehículos espaciales, de aeronaves o de estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS, *high altitude platform stations*), (para las estaciones de radioastronomía) y de las emisiones procedentes de estaciones terrenas de sistemas HAPS y de estaciones de sistema fijo de gran densidad (HDFS, *high-density fixed system*) (para los servicios pasivos espaciales);

---

\* La Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones introdujo algunas modificaciones redaccionales en esta Recomendación en 2018 y 2019, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

\*\* En esta Recomendación se consideran los servicios de radioastronomía (SRA), de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (pasivo) y de investigación espacial (SIE) (pasivo).

- j) que existen diversas prácticas operacionales y técnicas de mitigación que pueden utilizar los servicios pasivos y activos para minimizar los efectos de la interferencia sobre los servicios pasivos;
- k) que pueden existir limitaciones prácticas y económicas sobre la aplicabilidad de dichas medidas de mitigación;
- l) que los límites generales aplicables a las emisiones no esenciales pueden no proteger suficientemente de la interferencia a los servicios pasivos;
- m) que la Recomendación 66 (Rev.CMR-2000) solicita en su *recomienda al UIT-R 5* «que estudie las bandas de frecuencias y los casos en los cuales, por razones técnicas u operacionales, se pueden necesitar límites más estrictos para las emisiones no esenciales que los límites generales consignados en el Apéndice 3, para proteger a los servicios de seguridad y los servicios pasivos tales como el de radioastronomía, y las consecuencias de la aplicación o falta de aplicación de esos límites sobre todos los servicios interesados»;
- n) que la Recomendación 66 (Rev.CMR-2000) solicita en su *recomienda al UIT-R 6* «que estudie las bandas de frecuencias y los casos en los cuales, por razones técnicas u operacionales, se pueden necesitar límites de las emisiones fuera de banda para proteger a los servicios de seguridad y los servicios pasivos tales como el de radioastronomía, y el impacto de la aplicación o falta de aplicación de esos límites sobre todos los servicios interesados»;
- o) que el número 29.5 del RR establece que se deben proteger los emplazamientos de las estaciones del servicio de radioastronomía y que sus frecuencias de observación deben notificarse a la Oficina de Radiocomunicaciones de conformidad con el número 11.12 del RR,

*observando*

- a) que en el Anexo 1 se explica porqué los servicios pasivos son más vulnerables a la interferencia de emisiones no deseadas que otros servicios;
- b) que la Recomendación UIT-R SM.1540 proporciona directrices en relación con las emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda que caen en las bandas atribuidas adyacentes;
- c) que es necesario alcanzar con urgencia conclusiones en relación con los estudios que se vienen realizando para cada banda, así como sobre la identificación de situaciones de interferencia en las que deben aplicarse límites más exigentes de niveles de emisiones no deseadas que los incluidos en el Apéndice 3 del RR y en la Recomendación UIT-R SM.1541;
- d) que deben establecerse niveles adecuados para dichas situaciones, debiéndose analizar el impacto sobre todos los servicios de la implementación o no de tales límites,

*recomienda*

- 1 que cuando se atribuyan bandas de frecuencias a servicios por satélite, se tenga en cuenta su proximidad a bandas de frecuencias atribuidas al SRA, al SETS (pasivo) y al SIE (pasivo);
- 2 que cuando se designen bandas de frecuencia para aplicaciones terrenales específicas tales como HAPS o HDFS, se tenga en cuenta su proximidad a las bandas de frecuencias atribuidas al SRA, al SETS (pasivo) y al SIE (pasivo);
- 3 que cuando ello sea posible, las atribuciones realizadas en bandas adyacentes a servicios pasivos existentes sean tales que se minimice el riesgo potencial de interferencia;
- 4 que se considere la utilización de zonas alrededor de las estaciones utilizadas para observaciones de radioastronomía en las que se excluyan o restrinjan servicios activos como una forma de minimizar la interferencia debida a emisiones no deseadas procedentes de transmisores terrenales;

5 que técnicas de mitigación, tales como las descritas en los Anexos 2 y 3, deben considerarse como medios adecuados cuya utilización debe fomentarse en la mayor medida posible por parte de servicios activos y pasivos con el fin de minimizar la interferencia generada por emisiones no deseadas sobre servicios pasivos, teniendo en cuenta las limitaciones que ello imponga al diseño del sistema y a su eficiencia operacional;

6 que en las bandas de frecuencias de los servicios pasivos identificadas en el Anexo 4, pueden utilizarse límites de emisiones no esenciales más exigentes que los límites generales del Apéndice 3 del RR a fin de proteger los servicios pasivos;

7 que en las bandas de frecuencias de los servicios activos identificadas en el Anexo 4, pueden utilizarse los límites fuera de banda a fin de proteger las bandas adyacentes o cercanas de servicios pasivos;

8 que se tomen las medidas siguientes a fin de minimizar el riesgo potencial de interferencia sobre los servicios pasivos:

- la consulta e intercambio de información técnica y operacional entre las partes implicadas;
- la cooperación en relación con la selección e implementación de las medidas más adecuadas entre operadores de sistemas pasivos y de sistemas activos; y
- la utilización de técnicas adecuadas de gestión del espectro.

## ANEXO 1

### **Vulnerabilidad de los servicios pasivos**

Los servicios pasivos están en su totalidad dedicados al estudio de emisiones de radio que se producen de forma natural. La debilidad extrema de dichas emisiones en comparación con las transmisiones realizadas por el ser humano, hace que los medios utilizados para observarlas sean extremadamente susceptibles a la interferencia. En el caso del SRA, los receptores tienen la mayor sensibilidad posible. La realización de mediciones astronómicas puede requerir grandes anchuras de banda, así como la integración y correlación de señales durante varias horas o días. La extrema sensibilidad de los receptores de radioastronomía junto a los prolongados periodos de observación, hace que los umbrales de interferencia sean inferiores a los de cualquier otro servicio, necesitando una protección especial y, en consecuencia, la adopción de medidas especiales.

Igualmente, los detectores pasivos a bordo de aeronaves detectan cambios muy pequeños en la temperatura de ruido ambiental de los fenómenos observados. Toda la materia emite y dispersa energía electromagnética. Los detectores pasivos a bordo de aeronaves espaciales miden la energía electromagnética emitida y dispersada por la Tierra y los elementos que componen la atmósfera. Ello exige tomar medidas especiales para la protección de los servicios pasivos, pues los umbrales de interferencia se sitúan a niveles de potencia significativamente bajos.

Los transmisores a bordo de aeronaves y vehículos espaciales pueden ser fuentes especialmente serias de interferencia para el SRA. Los enlaces descendentes de los servicios espaciales cercanos a bandas de frecuencias utilizadas por los servicios pasivos, incluido el SRA, tienen la potencialidad de causar interferencia sobre muchas estaciones de radioastronomía. Las reflexiones que producen sobre la superficie de la Tierra las emisiones de los enlaces descendentes de los servicios espaciales, pueden también causar interferencia a los sensores pasivos a bordo de vehículos espaciales. Las emisiones no deseadas procedentes de enlaces espaciales ascendentes, enlaces ascendentes de las

HAPS y transmisiones de estaciones de sistemas del servicio fijo utilizadas con una alta densidad y cercanas a las bandas de frecuencia atribuidas al SETS (pasivo), tienen la potencialidad de causar interferencia sobre sensores pasivos a bordo de satélites.

## 1 Teledetección pasiva por satélite

En la Recomendación UIT-R SA.1029 se recogen los umbrales de interferencia para la teledetección pasiva por satélite en diversas bandas de frecuencias. En la Recomendación UIT-R SA.1028 se incluyen criterios de calidad de funcionamiento para la teledetección pasiva por satélite. La pérdida de datos admisible en la mayoría de las aplicaciones de la teledetección pasiva por satélite es inferior al 1%. Es decir, los niveles de interferencia de la Recomendación UIT-R SA.1029 no deben superarse en más del 1% de las células de medida (es decir, de los píxeles) dentro del área de servicio del detector. Sin embargo, para la medida tridimensional de la temperatura atmosférica o de la concentración de gases en las bandas de absorción, los niveles de interferencia no deben ser superados en más del 0,01% en las células medidas de la zona de servicio del detector. Las bandas de frecuencias que requieren este mayor grado de protección son las siguientes: 50,2-50,4 GHz (véase, sin embargo, el número 5.340.1 del RR), 52,6-59,3 GHz, 114,25-122,5 GHz y 174,8-191,8 GHz.

## 2 Radioastronomía

La radioastronomía es la ciencia que estudia las propiedades de las emisiones cósmicas radioeléctricas. Estas emisiones tienen en general características semejantes al ruido y son generalmente indistinguibles del ruido térmico que radia la Tierra o su atmósfera, o del ruido que se genera en el receptor. Las observaciones radioastronómicas pueden catalogarse en dos amplias clases:

- observaciones del continuo (continuum), en las que se mide la densidad de flujo de potencia (dfp) espectral y el grado de polarización a lo largo de toda la banda atribuida. La observación puede realizarse dividiendo la banda en canales que se procesan de forma conjunta o individual (por ejemplo, en la toma de imágenes, la interferometría o la mitigación de interferencia), pero el resultado final es normalmente una media de las cantidades observadas en la banda atribuida. Estas observaciones pueden utilizarse junto a las mediciones realizadas en otras bandas radioastronómicas a fin de estudiar la estructura espectral de banda ancha o los cambios en la estructura de las fuentes de las emisiones en función de la frecuencia de observación;
- observaciones de líneas espectrales de emisiones de banda estrecha procedentes de transiciones en moléculas, radicales o átomos cósmicos. Se trata de emisiones de banda estrecha en las que la intensidad, anchura, estructura fina, efecto Doppler y polarización son de interés astrofísico. Las observaciones se realizan dividiendo la banda en muchos canales de frecuencia al objeto de obtener las propiedades de las líneas de emisión en función de la frecuencia en comparación con las emisiones de fondo de banda ancha.

El tamaño angular de las fuentes astronómicas oscila desde grados a milisegundos de grado o menos. Algunas emisiones, tales como el ruido cósmico de fondo, se extienden por todo el cielo. Una única antena de gran tamaño puede tener la resolución angular necesaria para realizar un mapa de la zona o fuente de interés con el detalle suficiente. Cuando no es así, pueden utilizarse como interferómetros conjuntos de antenas distribuidos a lo largo de una distancia de hasta miles de kilómetros (es posible disponer conjuntos de antenas con mayores separaciones cuando alguno de los elementos se encuentra en el espacio). La producción de mapas radioastronómicos puede requerir hasta dos semanas de observaciones continuas para conseguir una imagen. Los radiotelescopios actuales pueden medir valores de dfp espectral inferior a  $-290 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ ;

sin embargo, las necesidades actuales de la investigación exigen disponer de radiotelescopios capaces de medir valores de dfp espectral de aproximadamente  $-320 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$ .

En la Recomendación UIT-R RA.769 se incluyen los umbrales de interferencia para la protección de las observaciones radioastronómicas. En la Recomendación UIT-R RA.517 se describen los criterios de protección del SRA frente a transmisores que funcionan en bandas adyacentes. En la Recomendación UIT-R RA.611 se describen los criterios de protección del SRA frente a las emisiones no esenciales.

En la Recomendación UIT-R RA.1513 se describe la tasa de pérdida de datos admisible en radioastronomía.

## ANEXO 2

### **Técnicas de mitigación que pueden utilizarse en el transmisor**

En algunas Recomendaciones UIT-R, como por ejemplo en la Recomendación UIT-R SM.328, se describen ejemplos de técnicas de mitigación de interferencias que pueden ser relevantes a los efectos de las categorías que se enumeran a continuación. Cuando se seleccionen los métodos de mitigación deben tenerse en cuenta todas las fuentes y modos de interferencia sobre los servicios pasivos a fin de garantizar que su aplicación proporciona beneficios sustanciales al servicio pasivo. La implementación de técnicas de mitigación puede influir sobre la eficiencia operacional de los sistemas afectados, así como sobre la naturaleza y alcance de los servicios de usuario que se pueden soportar en la banda considerada. La implementación de estas soluciones puede acarrear inconvenientes técnicos y operacionales significativos. Estos factores influyen en las posibilidades de aplicación real de técnicas de mitigación. Estas medidas, destinadas a reducir la interferencia producida por emisiones no deseadas, pueden tenerse en cuenta durante la fase inicial del diseño de los sistemas.

- Medidas prácticas relativas al soporte físico y al sistema, tales como:
  - arquitectura del transmisor;
  - bandas de guarda;
  - filtros de radiofrecuencia para la reducción de las emisiones no deseadas;
  - diseño del amplificador de potencia de salida para evitar la aparición de señales de radiofrecuencia en bandas adyacentes o intermodulación;
  - utilización de componentes que funcionen, en la mayor medida posible, con características lineales;
  - diseño del proceso de modulación para minimizar las emisiones no deseadas;
  - parámetros de la antena.
- Gestión de la carga de tráfico.
- Control dinámico de potencia.
- Compartición en el tiempo.
- En el caso de sistemas multisatélite, gestión de la constelación satelital.

Las comunicaciones por satélite proporcionan enlaces de comunicación vitales en todo el mundo. La naturaleza de las comunicaciones por satélite permite la implementación de redes especialmente en áreas que disponen de una infraestructura mínima; ello hace que sean un medio de comunicación

idóneo para las conexiones con muchos países. La extensión del área de cobertura las hace igualmente adecuadas para las aplicaciones de radiodifusión.

Las nuevas redes por satélite deben garantizar que los proyectos se implementan con una estructura de costes eficiente, en el plazo adecuado de modo que resulten competitivos. En consecuencia, la aplicación de los métodos de mitigación descritos a continuación debe basarse en la moderación y el equilibrio.

## **1 Sistemas del servicio fijo por satélite (SFS)**

### **1.1 Filtros de radiofrecuencia para reducir las emisiones no deseadas**

Un aspecto adicional que debe tenerse en cuenta es la supresión de emisiones no esenciales procedentes de transmisiones que producen armónicos en las bandas de frecuencias atribuidas al SRA. El diseño de sistemas del SFS debe tener en cuenta dichas consideraciones. Es posible que los equipos de prueba y los medios necesarios no estén actualmente disponibles en algunas frecuencias del SFS.

Debe tenerse en cuenta que la utilización de filtros para proteger de forma adecuada los servicios pasivos puede influir significativamente en los servicios por satélite. La utilización de especificaciones de filtros más estrictas afecta al retardo de grupo de los enlaces por satélite, particularmente para elevadas velocidades binarias, lo cual produce una pérdida de capacidad o la necesidad de utilizar equipos de igualación adicionales. En algunos casos, los requisitos del filtrado pueden obligar a que se disponga de soporte físico adicional en la plataforma espacial, con el correspondiente aumento del peso del vehículo espacial, del consumo de potencia y del coste del proyecto.

En particular, en el caso de satélites que utilizan antenas activas de múltiples elementos, el filtrado debe realizarse elemento por elemento. Ello puede influir enormemente en el peso y coste del satélite. Además, las limitaciones de espacio físico entre los elementos de un conjunto de elementos activos pueden no permitir la adición de filtros. Por lo tanto, en el caso de antenas activas compuestas por múltiples elementos, puede no ser posible la adición de tales filtros.

No obstante, un operador de redes geostacionarias (OSG) del SFS en la banda de 11-14 GHz ha trabajado intensamente con fabricantes de satélites sobre las especificaciones de los requisitos de las emisiones no deseadas al objeto de mejorar la utilización de la técnica de filtrado, junto a otras técnicas de mitigación, y cumplir así los requisitos que se muestran en los Cuadros 1 y 2 de la Recomendación UIT-T RA.769. En este sentido, la especificación de un satélite recientemente lanzado que funciona en la banda de frecuencias 10,7-12,75 GHz cumple los niveles de dfp del Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R RA.769 en todas las bandas pasivas entre 1,4 GHz y 31,8 GHz.

### **1.2 Apantallamiento del emplazamiento**

En el caso de estaciones del SFS ubicadas cerca de sensores pasivos situados en tierra, es posible que se pueda aprovechar la geografía local del entorno para conseguir el nivel de protección deseado. Cuando el terreno no proporciona una protección suficiente por apantallamiento, pueden construirse sistemas de apantallamiento adicionales.

### **1.3 Diagramas de antenas de haces conformados**

Si se conoce con suficiente antelación la ubicación de emplazamientos que vayan a ser especialmente sensibles, es posible diseñar el diagrama de radiación de la antena del SFS de forma que se minimice el impacto sobre dichos emplazamientos.

## 2 Sistemas de radar

Se han propuesto varios métodos para mitigar interferencias destinados a mejorar la compatibilidad entre sistemas de radar y sistemas de relevadores radioeléctricos. Dichos métodos de mitigación pueden aplicarse, en general, a sistemas radar para reducir las emisiones no deseadas, y mitigar así la interferencia sobre servicios pasivos. Estos métodos se analizan ampliamente en la Recomendación UIT-R F.1097.

### 2.1 Medidas operacionales

#### 2.1.1 Supresión sectorial

La supresión sectorial consiste en la desactivación momentánea de la emisión cuando el haz principal de la antena apunta hacia un receptor que puede ser perjudicado. Este método puede ser sencillo de implementar, con un gasto mínimo o nulo, ya sea mediante soporte físico en radares antiguos o mediante instrucciones del soporte lógico en instalaciones modernas. Este tipo de alternativa de mitigación se ha implementado en algunos países, consiguiéndose una coexistencia satisfactoria entre instalaciones del servicio de radiodeterminación y del servicio fijo.

#### 2.1.2 Selección o ajuste de la frecuencia del transmisor

En algunos tipos de sistemas de radar fijos es posible seleccionar o ajustar la frecuencia fundamental del transmisor del radar dentro de la gama de frecuencias permitida, de tal forma que el receptor sujeto a interferencia no reciba emisiones armónicas no esenciales. En concreto, es posible situar los armónicos del radar en la banda de guarda, entre la mitad superior y la mitad inferior de la banda del plan de frecuencias del relevador radioeléctrico digital, o bien, completamente fuera de la banda del mismo. Esta forma de mitigación se ha implementado en algunos países consiguiéndose una coexistencia satisfactoria entre instalaciones del servicio de radiodeterminación y del servicio fijo.

### 2.2 Sustitución del dispositivo transmisor

Se han observado variaciones en los niveles de las emisiones no esenciales de radares en tierra según se utilicen tubos de potencia de magnetrón convencionales o coaxiales. Estas variaciones pueden ser atribuidas a fenómenos causados por el envejecimiento que dan lugar a:

- cambios en las redes de conformación de impulsos del modulador;
- cambios en la tensión de ánodo y en la corriente del tubo de potencia; o
- formación de arco en el tubo.

Los operadores de sistemas de radar en tierra pueden tener que realizar verificaciones periódicas del transmisor radar a fin de determinar si dichos transmisores generan, debido al envejecimiento, componentes no esenciales adicionales. Se ha informado de algunos casos en los que los problemas de interferencia se han corregido sustituyendo el dispositivo de salida del transmisor del radar.

### 2.3 Instalación de un filtro de radiofrecuencia en el transmisor del radar

En algunos tipos de radar se han utilizado filtros de guía de onda de radiofrecuencia para reducir la interferencia sobre los sistemas de relevadores radioeléctricos a niveles aceptables suficientemente bajos. En este sentido, en radares fijos basados en tierra en la banda de 1,3 GHz se han utilizado filtros paso bajo absorbentes a fin de mitigar la interferencia del tercer armónico en la banda de 4 GHz atribuida al servicio fijo. Igualmente, en radares basados en tierra que funcionan en 5 GHz, se han

instalado filtros paso bajo/paso banda para suprimir componentes no esenciales que interfieren en las partes superior e inferior de la banda de 6 GHz en el servicio fijo. La industria del radar ha desarrollado la tecnología de filtros para la supresión de las emisiones no esenciales de los sistemas de radar en, aproximadamente, de 40 a 50 dB, con una pérdida de inserción de unas décimas de dB a la frecuencia fundamental de funcionamiento del radar. La adición de dichos filtros sólo se reduce ligeramente la calidad de funcionamiento del radar (gama de detección). Cuando las emisiones no esenciales de radares producen interferencias sobre sistemas de relevadores radioeléctricos, la instalación de un filtro de radiofrecuencia en el transmisor del radar puede proporcionar una protección adecuada.

### **3 Sistemas del servicio de radiodifusión por satélite (SRS)**

Algunas de las consideraciones realizadas en el § 1 anterior (relativas al SFS) son también aplicables al SRS, en particular, lo relativo al filtrado en radiofrecuencia y las antenas de haces conformados.

Por ejemplo, una técnica de filtrado avanzada para un sistema del SRS que está prevista sea utilizada en la banda 21,4-22 GHz, consigue un rechazo de, al menos, 19 dB a una separación de frecuencia de 210 MHz o más del extremo de la banda, permitiendo reducir el nivel de dfp espectral al nivel del suelo a valores de  $-199 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$  para emisiones de banda estrecha en la banda de frecuencias de 22,21-22,5 GHz, y de  $-145 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$  para emisiones de banda ancha agregada en la misma banda de frecuencia.

### **4 Sistemas del servicio móvil por satélite (SMS)**

Algunas de las consideraciones realizadas en el § 1 son también aplicables a los enlaces descendentes del SMS. Se ha realizado el análisis del impacto que tendría un enlace descendente del SMS que se ha propuesto en la banda de 405-406 MHz para futuros sistemas no OSG, sobre los servicios con atribuciones primarias en la banda adyacente superior (sistema COSPAS-SARSAT en 406-406,1 MHz y el SRA en 406,1-410 MHz). La principal conclusión de este estudio preliminar es que debe planificarse una banda de guarda mínima de 106 kHz entre la frecuencia más elevada a utilizar como portadora en los futuros satélites de órbita baja del SMS en 405-406 MHz y la frecuencia inferior de la anchura de banda del sistema COSPAS-SARSAT, es decir, 406 MHz, para que ni éste ni el SRA sufran interferencias perjudiciales.

### **5 Sistemas en HAPS**

Se ha previsto que las bandas de 47,2-47,5 GHz y de 47,9-48,2 GHz (véase el número 5.552A del RR) sean utilizadas para sistemas HAPS; estas bandas se encuentran próximas a las líneas espectrales del SRA en 48,9-49,0 GHz (véase el número 5.149 del RR) y a la banda de 50,2-50,4 GHz del SETS (pasivo) y del SIE (pasivo) (véase el número 5.340 del RR).

Durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000), se aprobó el número 5.543A del RR que prevé que la banda de 31,0-31,3 GHz sea utilizada por las HAPS en algunos países fundamentalmente de la Región 3. La banda adyacente de 31,3-31,5 GHz es una banda puramente pasiva.

La separación geográfica, la potencia y característica espectral de caída de los transmisores a bordo de HAPS y la ganancia de la antena de HAPS en la dirección de los emplazamientos de instalaciones del SRA, así como algunos otros parámetros, constituyen factores importantes para el control de la interferencia procedente de estaciones a bordo de sistemas HAPS.

La separación geográfica, la potencia y característica espectral de caída de los transmisores de estaciones en tierra de sistemas HAPS, y la ganancia de la antena de estaciones en tierra de los sistemas HAPS en la dirección de los emplazamientos de instalaciones del SRA o de los sensores del SETS (pasivo) constituyen factores importantes para el control de la interferencia procedente de estaciones en tierra de sistemas HAPS.

Un servicio fijo que utilice HAPS constituye un caso especial de servicio fijo y podría ser considerado en los estudios que para cada una de las bandas se presentan en el Anexo 4. Estudios preliminares en la banda de 31,0-31,3 GHz indican que pueden ser necesario establecer niveles suficientemente bajos de la densidad de la p.i.r.e. junto con las bandas de guarda y estrictos niveles de caída espectral a fin de reducir a niveles aceptables la interferencia producida sobre detectores pasivos.

## **6 Aplicaciones de HDFS del servicio fijo**

Las aplicaciones de HDFS están destinadas a proporcionar un despliegue a gran escala de sistemas del servicio fijo simples y poco costosos. Esencialmente se caracterizan por lo siguiente:

- transmisión de corto alcance;
- una densidad del transmisor más elevada y evolucionada que los sistemas normales del servicio fijo;
- no existencia de compromisos para la utilización de clases de antenas con una elevada directividad y una emisión limitada de lóbulos hacia atrás;
- posibilidad de transmisión con un ángulo de elevación superior al de los sistemas normales del servicio fijo;
- posibilidad de una configuración punto a multipunto; y
- posibilidad de distribución de equipos de bajo precio y bajas prestaciones adecuados para un despliegue masivo.

Las características anteriores hacen que estos sistemas tengan un potencial interferente superior frente a los SETS (pasivo) y sistemas del SRA que los sistemas convencionales del servicio fijo.

El número 5.547 del RR establece la utilización de las bandas siguientes para HDFS: 31,8-33,4 GHz, 37-40 GHz, 40,5-43,5 GHz, 51,4-52,6 GHz, 55,78-59 GHz y 64-66 GHz. Algunas de estas bandas se solapan o están próximas a bandas utilizadas por servicios pasivos. Todas las bandas con las que existe solapamiento han sido analizadas antes de establecer dicha utilización, habiéndose definido criterios de compartición.

Es necesario realizar estudios en relación con el efecto de las emisiones no deseadas sobre las bandas próximas o adyacentes a las bandas de los servicios pasivos. En particular, deben evaluarse el posible impacto de los HDFS en la banda 31,3-31,8 GHz sobre el SRA y sobre el SETS (pasivo) que funcionen en las bandas totalmente pasivas de 31,3-31,5 GHz. Se han estudiado los efectos de los HDFS en la banda 51,4-52,6 GHz sobre el SETS (pasivo) que funciona en la banda 50,2-50,4 GHz, habiéndose concluido positivamente en relación con la compatibilidad entre dichos sistemas.

## ANEXO 3

**Técnicas de mitigación que pueden utilizar los servicios pasivos**

La utilización de técnicas de mitigación adecuadas puede mejorar significativamente la capacidad de los servicios pasivos para funcionar en entornos con presencia creciente de servicios activos. Sin embargo, la implementación de dichas técnicas puede también influir en la eficiencia operacional de los sistemas implicados y en la naturaleza y calibre de las actividades que se pueden soportar en la banda de frecuencias considerada.

Los requisitos operacionales de los observatorios de radioastronomía ponen límites a la posible reducción de la efectividad global de los medios empleados.

A continuación se enumeran métodos de mitigación utilizados por los servicios pasivos. Algunos de ellos ya están implementados y otros están aún en fase de investigación.

**1 Detectores pasivos a bordo de satélites****1.1 Arquitectura del receptor**

En algunos casos, es posible ajustar las características del receptor para mitigar las emisiones no deseadas. Sin embargo, en el caso de la teledetección pasiva por satélite descrita en la Recomendación UIT-R SA.1029, el receptor del detector es un radiómetro que se utiliza para medir cambios pequeños en la temperatura de ruido al objeto de describir una condición atmosférica o climática específica. Por lo tanto, cualquier cambio en la sensibilidad del receptor afecta adversamente a la resolución del detector y a la utilidad de los datos con él obtenidos.

**1.2 Filtrado analógico en las etapas de radiofrecuencia o de frecuencia intermedia**

Esta técnica se utiliza principalmente para la protección frente a emisiones realizadas fuera de las bandas de los servicios pasivos.

**1.3 Diagramas de radiación de las antenas**

Los diagramas de radiación de los teledetectores pasivos por satélite son, por naturaleza, muy direccionales. En algunos casos, la utilización en los teledetectores pasivos por satélite de un diagrama de antena más directivo podría mitigar ciertas emisiones no deseadas si la consiguiente reducción del tamaño del píxel del detector es aceptable para la aplicación.

En determinados casos en los que el número de fuentes de interferencia está limitado y su ubicación es conocida, es posible reducir los niveles de interferencia utilizando antenas de elementos en fase que puedan controlar los puntos nulos del diagrama de radiación. Debe señalarse que actualmente los detectores pasivos a bordo de satélites no utilizan esta tecnología debido a su complejidad y a no ser la adecuada para muchas de las aplicaciones del SETS (pasivo).

**1.4 Técnicas de eliminación de la interferencia**

Es necesario realizar estudios adicionales a fin de determinar su posible aplicación.

### **1.5 Compensación adaptable digital de la interferencia**

Es necesario realizar estudios adicionales a fin de determinar su posible aplicación.

### **1.6 Ajuste de los niveles de sensibilidad**

Esta técnica es similar a la del ajuste de las características del receptor descrita en el § 1.1 anterior.

### **1.7 Compartición en el tiempo**

Para muchas aplicaciones de teledetección por satélite, la compartición en el tiempo puede resultar difícil debido a que los píxeles perdidos puede no ser recuperables hasta una órbita posterior. No obstante, esta técnica requiere estudios adicionales.

### **1.8 Apantallamiento en el foco primario de las antenas receptoras parabólicas**

Esta técnica parece no ser aplicable a los dispositivos de teledetección pasiva a bordo de satélites debido a que éstos deben realizar la medición de cambios muy pequeños en la temperatura de ruido observada y debido a la utilización de antenas muy directivas.

### **1.9 Utilización de la geometría orbital**

La geometría orbital puede utilizarse ventajosamente para minimizar la interferencia: por ejemplo, puede mitigarse parcialmente la interferencia recibida de las reflexiones de los enlaces descendentes de satélites OSG tomando medidas solamente cuando los teledetectores pasivos a bordo de vehículos espaciales se alejan del Ecuador.

## **2 Receptores de radioastronomía**

### **2.1 Apantallamiento y selección del emplazamiento**

En el caso de los radiotelescopios, que son de un tamaño relativamente reducido, puede utilizarse el apantallamiento del emplazamiento a fin de suprimir la interferencia de las emisiones de transmisores en tierra. Esta técnica se ha utilizado con éxito en algunos radiotelescopios. En el caso de radiotelescopios compuestos por un conjunto de múltiples antenas que se extiende sobre una amplia zona, esta técnica no resulta factible debido a las grandes dimensiones espaciales de la configuración, los requisitos de realizar observaciones con bajos ángulos de elevación y los costes asociados.

La selección de nuevos emplazamientos para detectores pasivos debe tener en cuenta la distribución global de la ocupación del espectro por parte de los servicios terrestres y la distribución de las zonas de cobertura de los sistemas por satélite.

### **2.2 Zonas tranquilas y zonas de coordinación**

El establecimiento por parte de una Administración de una zona tranquila alrededor de una estación de radioastronomía puede conducir a la prohibición de toda transmisión en la misma.

El establecimiento por parte de una Administración de una zona de coordinación alrededor de una estación de radioastronomía puede permitir proteger la estación de radioastronomía de las transmisiones de servicios existentes y futuros. En la Recomendación UIT-R RA.1031 se analizan más detalladamente las zonas de coordinación.

### 2.3 Arquitectura del receptor

En relación con la interferencia dentro de banda en los sistemas de radiotelescopios, los parámetros que determinan las características del receptor no pueden adaptarse fácilmente para minimizar el efecto de la interferencia. Ello se debe a que los receptores de radioastronomía están optimizados para relaciones señal/ruido muy bajas, pues las señales astronómicas instantáneas son mucho más débiles que los niveles de ruido del sistema. En la mayoría de los casos, las técnicas de supresión dentro de banda empleadas en los receptores producen aumentos inaceptables del ruido del sistema. No obstante, están en estudio técnicas para la supresión de la interferencia dentro de banda, como por ejemplo, los sistemas de precompensación de antena y los sistemas de compensación de interferencia. Los parámetros más significativos de diseño son la linealidad y el ruido del sistema.

La interferencia fuera de las bandas de radioastronomía puede suprimirse, en cierta medida, en el receptor del sistema de radioastronomía mediante el filtrado y la optimización del esquema de mezcla del sistema receptor. Las fuentes interferentes de gran potencia cercanas a las bandas de radioastronomía son muy difíciles de suprimir mediante filtrado, porque dicho filtrado debe realizarse normalmente en las primeras etapas del sistema receptor, donde son muy importantes las limitaciones de ruido del sistema en relación con las pérdidas.

### 2.4 Diagramas de radiación de las antenas

La mayoría de los radiotelescopios parabólicos están diseñados para conseguir una adaptación óptima entre el nivel de lóbulos laterales y la iluminación de la parábola. En la mayoría de los diseños de radiotelescopios parabólicos, una disminución del nivel de lóbulos laterales mediante modificaciones mecánicas, tales como el apantallamiento del reflector parabólico primario o de la caja del receptor, produce automáticamente una degradación de la calidad de la iluminación del reflector parabólico y, por tanto, no resultan atractivas. Simplemente aumentando la superficie del reflector parabólico se disminuye el nivel de lóbulos laterales y se aumenta la sensibilidad. Ello, sin embargo, no puede hacerse sin modificar el diseño mecánico de manera importante y a un elevado coste. En general, la mayoría de los radiotelescopios parabólicos disponen de una relación optimizada entre sensibilidad y nivel de lóbulos laterales. El único apantallamiento adicional que puede realizarse en la práctica es el apantallamiento del emplazamiento contra transmisores terrestres para radiotelescopios de tamaño reducido.

En el caso de los receptores de matrices de elementos en fase, debe distinguirse entre el nivel de un elemento de antena individual y los niveles a los que los elementos constituyen una matriz de elementos en fase. El elemento de antena individual, junto con su sistema de radiofrecuencia, es comparable a un sistema receptor convencional y así debe tratarse. Para la matriz de elementos en fase, el parámetro que debe utilizarse en relación con la supresión de la interferencia es la forma del haz. El haz puede deformarse (modificando los pesos relativos de los distintos elementos de antena) de tal modo que los nulos del nivel de radiación apunten hacia la fuente de interferencia, quedando así ésta suprimida. Esta posibilidad es ampliamente utilizada en las técnicas de radar. En el caso de sistemas de radioastronomía que utilizan matrices de elementos en fase, esta técnica presenta un potencial notable, pero aún debe realizarse una importante labor de investigación en este campo. Se deberán encontrar soluciones para, por ejemplo, la calibración de haces de variación rápida y para que las matrices de elementos en fase a gran escala resulten asequibles y lineales.

### 2.5 Filtrado analógico en las etapas de radiofrecuencia o de frecuencia intermedia

Esta técnica sólo es útil para la interferencia en bandas distintas a las de radioastronomía. Los elementos de las primeras etapas de los receptores actualmente más utilizados en los observatorios radioastronómicos contienen normalmente amplificadores con transistores de electrones de alta movilidad (HEMT, *high electron mobility transistors*) enfriados, que son inherentemente de banda

ancha. La banda de paso de la primera etapa del amplificador cae lentamente fuera del límite de la anchura de banda de diseño. Si existen transmisores potentes suficientemente cerca de la dirección de observación como para causar la no linealidad del sistema receptor, puede ser necesario realizar el filtrado antes de la primera etapa amplificadora de entrada del receptor. No obstante, esta no constituye una opción preferente pues degrada la sensibilidad del sistema.

Para algunas de las frecuencias que se están considerando, la tecnología de filtros no está aún suficientemente desarrollada. Una alternativa potencialmente exitosa consiste en la utilización en las primeras etapas del receptor de filtros superconductores de alta temperatura (HTSC, *high temperature super-conducting*). Los filtros HTSC del demostrador se han aplicado con éxito, pero es necesario realizar estudios de investigación adicionales para disponer de filtros HTSC de aplicación práctica en radioastronomía.

## 2.6 Técnicas de eliminación de interferencias

Actualmente la comunidad radioastronómica está estudiando diversas técnicas de eliminación de interferencia. Hasta la fecha ha quedado suficientemente claro que ninguna técnica puede proporcionar por sí sola una solución general para la realización de observaciones radioastronómicas en los diversos entornos de interferencia hostiles posibles. En entornos complejos de interferencia es necesario utilizar de forma combinada varios tipos de técnicas de mitigación de interferencia. En general, se han identificado las siguientes técnicas de supresión de interferencia:

- eliminación en el ámbito de banda de base/digital:
  - bloqueo/anulación;
  - filtrado de un solo canal (filtro convencional, transformada de forma de onda);
  - para matrices de elementos en fase: anulación, bloqueo, técnicas de proyección (espacial-espectral-temporal);
  - filtrado adaptable/compensación de lóbulos laterales;
  - compartición de tiempo;
- eliminación en postproceso:
  - supresión de interferencia mediante anulación/bloqueo;
  - borrado de interferencia de los mapas mediante algoritmos de tipo matemático.

Se han iniciado estudios de investigación sobre todas estas técnicas. Es previsible en los próximos años se disponga de estimaciones de los niveles de mitigación de interferencia realistas que se podrán conseguir.

## 2.7 Compensación adaptable digital de la interferencia

La compensación de interferencia es una forma de sustraer o eliminar el efecto de la interferencia. Puede utilizarse una antena direccional u omnidireccional en la dirección de una fuente de interferencia conocida a fin de obtener una señal de error. Se realiza la correlación de la señal de error para conseguir un esquema de compensación adaptable que permita sustraer la interferencia de la señal.

## 2.8 Ajuste de los niveles de sensibilidad

Normalmente, los niveles de las señales radioastronómicas de interés son varios órdenes de magnitud inferiores a los niveles instantáneos de potencia de ruido del receptor. Dado que los sistemas receptores se diseñan de forma que tengan el nivel de ruido más bajo posible, el ajuste del nivel de sensibilidad para suprimir la interferencia no constituye una alternativa válida.

## 2.9 Soluciones cooperativas

A medida que se concentran cada vez más servicios en un espectro ya de por sí densamente utilizado, y surgen problemas cuando se atribuyen bandas adyacentes a servicios altamente incompatibles, la reglamentación genérica y las técnicas de mitigación utilizadas uniformemente en todo el espectro son normalmente ineficientes. Los servicios con problemas de interferencia mutua deberían cooperar en la búsqueda, desarrollo e implementación de las formas de mitigación adecuadas. Esta colaboración debería comenzar incluso en la etapa de diseño del sistema. En aquellos casos en los que se demuestra que los problemas de interferencia son inevitables, pueden resultar adecuados la utilización de procedimientos tales como la compartición de tiempo, la programación coordinada o procedimientos para acomodar niveles de interferencia variables en el tiempo.

La compartición del tiempo basada en la utilización diaria de franjas horarias, puede ser de utilidad en algunos casos y en algunas bandas, supuesto que han quedado previamente resueltos los problemas de gestión relacionados con la compartición del tiempo. Debido a la regularidad o irregularidad de algunos fenómenos astronómicos, la atribución de intervalos de tiempo para la radioastronomía debe ser flexible. La compartición con servicios que necesitan intervalos de tiempo fijos y constantes, no es en general posible. La compartición del tiempo basada en modos de funcionamiento de acceso múltiple por división en el tiempo en términos de minutos, no se pueden implementar fácilmente debido a los largos tiempos de integración de los actuales sistemas de receptores radioeléctricos y de los sistemas asociados.

Si la variación con el tiempo de la fuente astronómica es inferior a la escala temporal del procedimiento de compartición de tiempo, dicho procedimiento no es viable.

## 2.10 Bandas de guarda

Las bandas de guarda pueden utilizarse en receptores pasivos para evitar interferencias perjudiciales debidas a señales de alto nivel transmitidas en una banda adyacente. La utilización de bandas de guarda dentro de la atribución pasiva reduce, en general, la anchura de banda de observación utilizada y se realiza a costa de reducir la relación señal/ruido de los datos.

# ANEXO 4

## **Lista de parejas de bandas para transmisores/servicio pasivo más problemáticas y resumen de los estudios realizados para cada banda**

El número de situaciones potenciales de interferencia debidas a emisiones no deseadas procedentes de servicios activos sobre bandas de servicios pasivos puede ser muy alto, particularmente si también se tiene en cuenta la interferencia procedente de bandas no adyacentes. En el Cuadro 1 se muestra una lista parcial de tales bandas y situaciones, identificadas por los servicios pasivos para los que pueden ser necesarios límites de emisiones no esenciales más estrictos que los límites genéricos del Apéndice 3 del RR, y en las que puede ser necesario limitar las emisiones fuera de banda de los transmisores.

Debe señalarse que el Cuadro 1 sólo enumera situaciones de interferencia que tienen lugar por debajo de 71 GHz. En la CMR-2000 se han añadido al Cuadro de atribución de bandas de frecuencias una serie de bandas de servicios pasivos por encima de 71 GHz. Actualmente se están analizando posibles situaciones de interferencia para frecuencias superiores a 71 GHz.

Como parte de los estudios para cada una de las bandas consecuencia de la Recomendación 66 (Rev.CMR-2000), se está considerando una lista más completa de situaciones de interferencia.

CUADRO 1

Banda de servicio pasivo	Atribución a un servicio activo potencialmente perjudicial	Comentarios
1 400-1 427 MHz (SRA)	1 452-1 492 MHz (SRS)↓	No hay límites de dfp en la atribución al SRS (sonido); número 5.340 del RR
1 400-1 427 MHz (SETS, SRA)	1 350-1 400 MHz (Radiolocalización)	Número 5.149 del RR
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 559-1 610 MHz (SRNS)↓	Problemas de interferencia del SRA; número 5.149 del RR
1 610,6-1 613,8 MHz (SRA)	1 613,8-1 626,5 MHz (SMS)↓	Problemas de interferencia del SRA; número 5.149 del RR
2 690-2 700 MHz (SRA)	2 655-2 690 MHz (SRS, SFS)↓	Sin límites de dfp en el SRS (sonido); número 5.340 del RR
10,6-10,7 GHz (SETS, SRA)	10,7-11,7 GHz (SFS)↓	Potenciales problemas con sistemas en desarrollo del SFS; número 5.340 del RR
21,2-21,4 GHz (SETS)	20,2-21,2 GHz (SMS, SFS)↓	Número 5.524 del RR
22,21-22,5 GHz (SRA)	21,4-22 GHz (SRS)↓	Sólo umbrales de coordinación del SRS (Resolución 525 (CMR-92)); número 5.149 del RR
23,6-24 GHz (SETS)	22,55-23,55 GHz (SES)	SES utilizados por sistemas de órbita terrestre baja, son posibles acoplamientos entre haces principales
31,3-31,5 GHz (SETS)	30-31 GHz (SFS, SMS)↑	Potenciales problemas debido a acoplamiento del haz principal
31,3-31,5 GHz (SRA, SETS)	31,0-31,3 GHz (servicio fijo)	Resolución 122 (Rev.CMR-2000)
31,5-31,8 GHz (SRA, SETS)	31,8-33,4 GHz (servicio fijo, SRN)	Resolución 75 (CMR-2000)
42,5-43,5 GHz (SRA)	40,5-42,5 GHz (SRS, SFS)↓	Resolución 128 (Rev.CMR-2000); Resolución 79 (CMR-2000)
50,2-50,4 GHz (SETS)	47,2-50,2 GHz (SFS)↑	Potenciales problemas debido al acoplamiento del haz principal
50,2-50,4 GHz (SETS)	50,4-51,4 GHz (SFS, SMS)↑	Potenciales problemas debido al acoplamiento del haz principal
52,6-52,8 GHz (SETS)	51,4-52,6 GHz (servicio fijo)	Número 5.547 del RR

SES: sistemas entre satélites

SRN: servicio de radionavegación

SRNS: servicio de radionavegación por satélite