

# UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

## Recomendación UIT-R RA.1513-2 (03/2015)

**Niveles de las pérdidas de datos en las observaciones de radioastronomía y criterios sobre el porcentaje de tiempo como resultado de la degradación causada por la interferencia en las bandas de frecuencias atribuidas a título primario al servicio de radioastronomía**

**Serie RA  
Radio astronomía**



## Prólogo

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

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

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

### Series de las Recomendaciones UIT-R

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

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión (sonora)
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	<b>Radio astronomía</b>
<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, 2017

© UIT 2017

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 RA.1513-2\*

**Niveles de las pérdidas de datos en las observaciones de radioastronomía y criterios sobre el porcentaje de tiempo como resultado de la degradación causada por la interferencia en las bandas de frecuencias atribuidas a título primario al servicio de radioastronomía**

(2001-2003-2015)

**Cometido**

Esta Recomendación trata de los niveles de las pérdidas de datos en las observaciones de radioastronomía y de los criterios sobre el porcentaje de tiempo como resultado de la degradación causada por la interferencia en las bandas de frecuencias atribuidas a título primario al servicio de radioastronomía. Se incluyen estudios de compartición entre aplicaciones terrenales y espaciales, además de una amplia sección dedicada a la pérdida de datos causada por la interferencia impulsiva de baja intensidad.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la investigación en radioastronomía depende de forma crucial de la capacidad de efectuar observaciones en límites extremos de sensibilidad y/o precisión, y que la utilización creciente del espectro radioeléctrico aumenta la posibilidad de crear interferencias perjudiciales para el servicio de radioastronomía (SRA);
- b) que para algunas observaciones de radioastronomía, tales como las relacionadas con el paso de un cometa, un ocultamiento de la Luna o una explosión de supernova, conviene contar con una gran probabilidad de éxito, debido a la dificultad o la imposibilidad de repetirlas;
- c) que como la interferencia en radioastronomía puede ser el resultado de emisiones no deseadas procedentes de servicios en bandas adyacentes, próximas o relacionadas armónicamente, puede producirse la interferencia procedente de diversos servicios o sistemas en cualquier banda de la radioastronomía;
- d) que es necesario compartir las dificultades para facilitar la utilización eficaz del espectro radioeléctrico;
- e) que la compartición impone la utilización de técnicas de reducción y que se están desarrollando otras técnicas más avanzadas para permitir en el futuro una utilización más eficaz del espectro radioeléctrico;
- f) que la Recomendación UIT-R RA.769 indica niveles umbral de interferencia (suponiendo una ganancia de antena de 0 dBi) perjudiciales para el SRA para tiempos de integración de 2 000 s, pero que no se ha establecido un porcentaje de tiempo aceptable para la interferencia procedente de servicios con transmisiones distribuidas aleatoriamente en el tiempo y que pueden compartir una banda con el SRA, o que producen emisiones no deseadas que caen dentro de una banda de radioastronomía;

---

\* La Comisión de Estudio 7 de Radiocomunicaciones introdujo modificaciones redaccionales en esta Recomendación en 2017, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

- g) que las administraciones pueden necesitar criterios para evaluar la interferencia entre el SRA y otros servicios en bandas compartidas, adyacentes, próximas o relacionadas armónicamente;
- h) que se han desarrollado métodos (por ejemplo, el método de Monte Carlo) para determinar la distancia de separación adecuada entre emplazamientos de radioastronomía y una acumulación de estaciones terrenas móviles, y que dichos métodos exigen la especificación de un porcentaje aceptable de tiempo durante el que la potencia combinada de interferencia rebasa los niveles umbral perjudiciales para el SRA;
- i) que los estudios sobre situaciones de compartición y la experiencia obtenida de una dilatada práctica han desembocado en valores de pérdidas de tiempo admisibles debidas a la degradación de la sensibilidad, en escalas temporales de una única observación, que se explican con más detalle en el Anexo 1,

*recomienda*

- 1 que, para la evaluación de la interferencia, se utilice un criterio del 5% de las pérdidas de datos combinadas en el SRA debidas a la interferencia procedente de todas las redes, en toda banda de frecuencias atribuida a título primario al SRA, señalando que se requieren nuevos estudios sobre el reparto entre las distintas redes;
- 2 que, para la evaluación de la interferencia, se utilice un criterio del 2% de pérdidas de datos en el SRA debidas a la interferencia procedente de toda red aislada, en cualquier banda de frecuencias que esté atribuida a título primario al SRA;
- 3 que el porcentaje de pérdidas de datos en bandas de frecuencias atribuidas a título primario al SRA se determine utilizando cualquiera de las siguientes opciones: 1) Recomendación UIT-R S.1586; 2) Recomendación UIT-R M.1583; o 3) el porcentaje de periodos de integración de 2 000 s en los que la  $df_p$  media espectral en el radiotelescopio rebasa los niveles definidos (suponiendo una ganancia de antena de 0 dBi) en la Recomendación UIT-R RA.769, según convenga;
- 4 que los criterios descritos en el § 3.3.2 del Anexo 1 se utilicen para evaluar la interferencia en cualquier banda de frecuencias atribuida al SRA a título primario, causada por las emisiones no deseadas procedentes de cualquier sistema de satélites no OSG en antenas de radioastronomía.

**Anexo 1****Pérdidas de datos debidas a la interferencia**

## ÍNDICE

	<i>Página</i>	
1	Introducción.....	5
2	Pérdidas de datos y bloqueo espacial .....	6
3	Situaciones de compartición.....	7
3.1	Interferencia debida a condiciones variables de propagación .....	8
3.1.1	Aplicaciones terrenales .....	8
3.1.2	Aplicaciones basadas en el espacio.....	9
3.2	Compartición en la banda cuando la transmisión es variable en el tiempo y en el emplazamiento .....	9
3.2.1	Aplicaciones terrenales .....	9
3.2.2	Aplicaciones espaciales.....	9
3.2.3	Aplicaciones espaciales de la radioastronomía.....	9
3.3	Emisiones no deseadas en una banda de frecuencias de radioastronomía cuando la transmisión es variable en el tiempo y/o la dirección de llegada .....	9
3.3.1	Aplicaciones terrenales .....	9
3.3.2	Aplicaciones espaciales.....	10
3.4	Medición de la pérdida de datos causada por una interferencia impulsiva de baja intensidad .....	11
3.4.1	Método .....	12
3.4.2	Efecto de los impulsos regulares.....	14
3.4.3	impulsos de periodo largo .....	14
3.4.4	Métodos de reducción de la interferencia .....	14
3.4.5	Equivalencia entre impulsos rápidos y emisiones continuas .....	15
3.4.6	Resumen.....	15
4	Conclusión.....	15

## 1 Introducción

Un parámetro importante en todos los servicios de radiocomunicación es el porcentaje de tiempo perdido a causa de la interferencia. Las administraciones pueden necesitar criterios cuantitativos referentes a las operaciones de radioastronomía con servicios activos que funcionan en la misma banda o en bandas adyacentes, próximas o relacionadas por armónicos. Por ejemplo, la Recomendación UIT-R M.1316 utiliza este porcentaje de pérdida temporal debido a la interferencia en el cálculo de la distancia de separación por defecto entre estaciones que funcionan en el SMS (Tierra-espacio) y un observatorio de radioastronomía, utilizando el método de Monte Carlo.

A efectos de comparación, el Cuadro 1 da los límites actuales de las pérdidas temporales acumuladas que toleran otros servicios «científicos».

CUADRO 1

### Ejemplos de criterios de porcentaje de tiempo acumulado de pérdidas de datos que se utilizan en otros servicios científicos

Servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) (sensores pasivos) (%) (Recomendación UIT-R SA.1029-2):	
– Sondeos atmosféricos 3-D	0,01
– Todos los demás sensores pasivos	1,0-5,0
Sistemas de transmisión de datos y mando del servicio de exploración de la Tierra por satélite y del servicio de meteorología por satélite (%) (Recomendación UIT-R SA.514-3)	0,1-1,0
SETS y MetSat con vehículos espaciales en la órbita geoestacionaria (%) (Recomendación UIT-R SA.1161-1)	0,0025-0,1
Sistemas de operaciones espaciales, S/N > 20 dB durante > 99% del tiempo (%) (Recomendación UIT-R SA.363-5)	1,0

Los radiotelescopios se diseñan para un funcionamiento continuo, siguiendo un calendario de programas de observación que solicitan los astrónomos. Por lo general, el acceso a los radiotelescopios se realiza de una forma competitiva, en la que las propuestas de investigación suelen rebasar el tiempo disponible del telescopio en un factor de 2-3. Prácticamente todas las instalaciones de radioastronomía funcionan con fondos públicos y deben utilizarse de forma muy eficaz. No obstante, no puede evitarse una cierta pérdida de tiempo de observación resultante del mantenimiento o de la mejora de los circuitos o los programas. La experiencia de muchos años de funcionamiento con instrumentación importante de una administración muestra que dichas pérdidas no deben rebasar el 5% del tiempo, por ejemplo, en una jornada de 8 h por semana. Las consideraciones en cuanto a la eficacia general y al coste de la explotación indican que las pérdidas temporales acumuladas adicionales debidas a la interferencia deben también limitarse a una cifra del 5%.

A fin de lograr los valores indicados en el Cuadro 1, cada uno de los servicios debe concebir sus sistemas y controlar sus operaciones teniendo en cuenta un porcentaje adecuado de estas cifras. La prudencia indica que debe atribuirse a cada uno de estos sistemas únicamente una parte del presupuesto de interferencia, dependiendo de factores relacionados con la situación real de atribución, tales como los de compartición de la banda y de potencial de interferencia debida a emisiones no deseadas procedentes de otros servicios.

Debe señalarse que el concepto de pérdida de datos combinada no está plenamente desarrollado en la actualidad. Los instrumentos de simulación, tales como el que se describe en la Recomendación UIT-R M.1316, permiten considerar el caso de la interferencia resultante de un solo sistema. También se están desarrollando otras metodologías para sistemas únicos. En este momento no hay un

instrumento similar para el caso de pérdidas de datos combinadas resultantes de varios sistemas. Un método que tenga en cuenta las características de varios sistemas puede ser difícil de desarrollar. Una dificultad particular es el reparto de las pérdidas de datos combinadas entre los diversos sistemas. Se necesitan estudios adicionales sobre estos problemas.

La aparición de servicios de radiocomunicación que utilizan estaciones espaciales y estaciones situadas en plataformas a gran altitud exige la reevaluación de las medidas con las que se protege de la interferencia al SRA. La compartición con dichos servicios generalmente es imposible, si bien los posibles efectos negativos en el SRA causados por servicios en bandas próximas proceden de dos factores:

- a) emisiones no deseadas que caen en bandas atribuidas al SRA;
- b) intermodulación y faltas de linealidad de los sistemas de radiotelescopio debidas a señales intensas en bandas adyacentes.

Se supone que los operadores de satélites utilizarán todos los medios prácticos para reducir al mínimo las emisiones no deseadas y los radioastrónomos todos los métodos prácticos para minimizar la sensibilidad a las señales situadas en bandas adyacentes o próximas. No obstante, lo indicado en b) debe ser un aspecto importante al explotar sistemas en bandas adyacentes o próximas a las atribuidas al SRA.

## **2 Pérdidas de datos y bloqueo espacial**

Siempre que se habla de pérdidas de datos en esta Recomendación, se refieren a datos que se han desechado porque estaban contaminados por interferencia combinada procedente de una o más fuentes y que excede los niveles de la Recomendación UIT-R RA.769, con las hipótesis allí indicadas. El término bloqueo se utiliza aquí para indicar direcciones de antena en las que el nivel de interferencia recibida rebasa los niveles considerados como interferencia perjudicial en la Recomendación UIT-R RA.769. En presencia de dicha interferencia, no pueden obtenerse, por lo general, datos útiles para la investigación en las fronteras del conocimiento. Las pérdidas de datos pueden ser debidas a una pérdida de parte de la banda de observación o de una parte del tiempo de observación, o debidas al bloqueo de una parte del espacio. Todas éstas pueden expresarse en forma de pérdida efectiva del tiempo de observación.

Tal como se indica en la Recomendación UIT-R RA.1031, muchas mediciones de radioastronomía pueden admitir interferencia de un servicio compartido que rebase los niveles indicados en la Recomendación UIT-R RA.769 durante el 2% del tiempo. Debe señalarse que dichas observaciones, que pueden admitir errores de medición mayores, representan observaciones tales como las de las fulguraciones radioeléctricas solares. Las observaciones significativas en radioastronomía son las que se traducen en nuevos conocimientos del fenómeno astronómico que exigen la realización de observaciones de objetos no estudiados previamente o la observación de objetos conocidos con mayor precisión. Ambos casos exigen observaciones con la sensibilidad máxima admisible. A medida que madura la radioastronomía, la utilidad de los datos cuya precisión esté limitada por la presencia de interferencia se reduce y es habitual que los astrónomos rechacen datos en los que haya alguna prueba de interferencia. Así pues, es una realidad práctica que la interferencia producida a cualquier nivel identificable se traduzca en una pérdida de los datos contaminados.

El contorno de 0 dBi del diagrama de las antenas grandes entre 2 GHz y unos 30 GHz definido en la Recomendación UIT-R SA.509 tiene un radio de  $19^\circ$ . Cuando un radiotelescopio apunta a menos de  $19^\circ$  de un transmisor, emitiendo en una banda de radioastronomía con el nivel definido en la Recomendación UIT-R RA.769, se produce la interferencia. Esto bloquea de forma efectiva la observación radioastronómica en una región angular del espacio de  $19^\circ$ . El bloqueo fraccional del espacio es la relación entre el bloqueo espacial (por encima del horizonte), que se ha definido anteriormente, y el ángulo sólido del hemisferio visible.

La Fig. 1 muestra el efecto de un transmisor ficticio sobre el horizonte en el origen de la escala acimutal que cumple el nivel de la dfp espectral de la Recomendación UIT-R RA.769 en una estación de radioastronomía. Los contornos de la Figura muestran el nivel de decibelios por el que la potencia recibida del transmisor rebasa el nivel perjudicial para la radioastronomía, en función del ángulo de puntería de la antena de radioastronomía. La transmisión recibida da lugar a interferencia perjudicial cuando se recibe en lóbulos laterales de la antena de radioastronomía cuya ganancia sea superior a 0 dBi. El Cuadro 2 muestra el porcentaje del espacio que recibe dicha interferencia perjudicial, para ángulos de puntería de la antena en elevaciones por encima de  $5^\circ$ . Como las antenas de radioastronomía no suelen apuntarse por debajo de  $5^\circ$ , ésta es la elevación mínima considerada. Para una fuente de interferencia por encima del ángulo de elevación de  $19^\circ$  (tal como la de un transmisor de aeronave o espacial) con la que la dfp espectral en una estación de radioastronomía cumple el nivel de la Recomendación UIT-R RA.769, una zona circular del espacio, con un radio de  $19^\circ$  centrado en la fuente de interferencia, se bloquea para la observación de radioastronomía a niveles útiles de sensibilidad. Esta zona subtiende un ángulo sólido de 0,344 sr, lo que supone el 5,5% de  $2\pi$  sr del espacio por encima del horizonte.

La aplicación del concepto de bloqueo espacial en un entorno no estacionario (por ejemplo, el de los sistemas de satélite no OSG o móviles) requiere estudios adicionales.

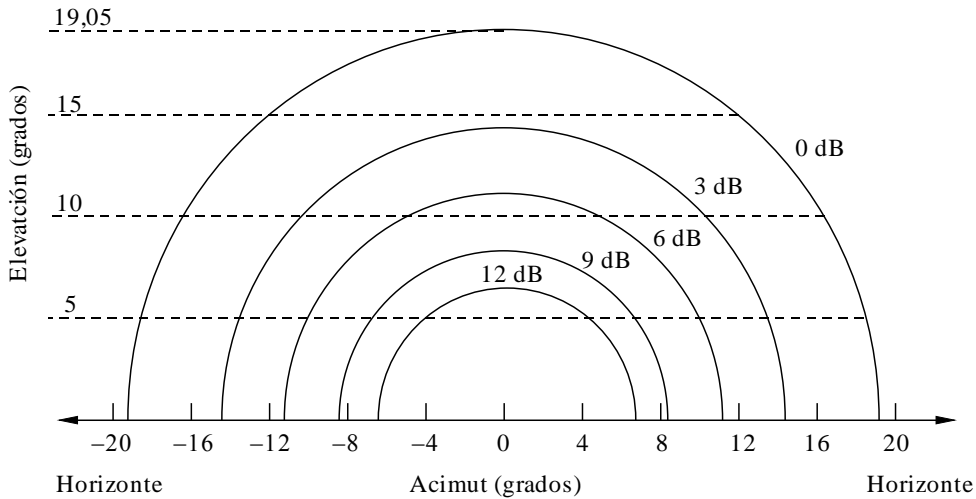
### 3 Situaciones de compartición

Al evaluar la interferencia es útil distinguir entre transmisiones de origen terrenal, especialmente en los casos en que no hay un trayecto de visibilidad directa, y las procedentes de aeronaves, plataformas situadas a gran altitud y transmisores basados en el espacio con visibilidad directa del radiotelescopio afectado. En relación con el porcentaje de tiempo de observación perdido, hay que distinguir entre la interferencia procedente de transmisores distantes debida a condiciones de propagación variables (es decir, que escapan al control humano) y la interferencia procedente de aplicaciones activas en las que la emisión es efectivamente aleatoria respecto al nivel de potencia y al ángulo de llegada en el radiotelescopio (véase el § 3.1).



FIGURA 1

Efecto de una fuente de interferencia al nivel perjudicial para el SRA, en el horizonte para acimut cero



Las curvas muestran el nivel de decibelios por el que la interferencia recibida en el receptor de radioastronomía rebasa el nivel perjudicial para distintos ángulos de puntería de la antena de radioastronomía. Véase que las observaciones de radioastronomía suelen efectuarse con ángulos de puntería por encima de 5° de elevación.

RA.1513-01

CUADRO 2

**Porcentaje del cielo en el que la interferencia recibida por encima del nivel perjudicial impide efectuar observaciones sensibles, en función de la puntería en elevación del radiotelescopio, para la fuente interferente de la Fig. 1**

Elevación mínima (grados)	Bloqueo (%)
5	2,0
10	1,3
15	0,6
20	0

### 3.1 Interferencia debida a condiciones variables de propagación

#### 3.1.1 Aplicaciones terrenales

En los casos en que la intensidad de la señal interferente varía como resultado de condiciones de propagación variables en el tiempo, debe especificarse un porcentaje de tiempo para los cálculos de la propagación. La Recomendación UIT-R RA.1031 da una cifra del 2%. No obstante, esto no conduce automáticamente a una pérdida de datos del 2% en las observaciones de radioastronomía. Las condiciones de propagación varían de una forma episódica, generalmente a lo largo de periodos de algunos días. Por tanto, debe señalarse que en periodos de semanas seguidas, el intervalo durante el que los datos resultan contaminados por la interferencia puede ser únicamente de algunos días. Estos efectos se producen principalmente en las longitudes de ondas superiores, es decir, por debajo de 1 GHz aproximadamente. Los periodos de pérdidas de datos pueden reducirse mediante la programación dinámica de las observaciones de radioastronomía.

### **3.1.2 Aplicaciones basadas en el espacio**

Es necesario no considerar condiciones de propagación troposférica variable en el tiempo en condiciones de visibilidad directa.

## **3.2 Compartición en la banda cuando la transmisión es variable en el tiempo y en el emplazamiento**

### **3.2.1 Aplicaciones terrenales**

Para hacer máxima la eficacia de utilización de los radiotelescopios, deben evitarse las pérdidas de tiempo de observación debidas a la interferencia causada por otros usuarios del espectro. No obstante, algunas pequeñas pérdidas pueden ser inevitables. Ejemplo de ellos son las emisiones no deseadas procedentes de estaciones móviles (terrenas) de los SMS. Un nivel aceptable de pérdidas de datos debidas a dichos sistemas es del 2%. La Recomendación UIT-R M.1316 ofrece un ejemplo de coordinación entre el SRA y el SMS (Tierra-espacio). En esta Recomendación, el porcentaje de pérdidas de tiempo de observación se utiliza en el cálculo de la distancia de separación por defecto entre las estaciones terrenas móviles del SMS (Tierra-espacio) y la estación de radioastronomía, utilizando la metodología de Monte Carlo.

### **3.2.2 Aplicaciones espaciales**

La compartición con los enlaces descendentes de satélites no es posible en las bandas en que el SRA tiene una atribución primaria.

### **3.2.3 Aplicaciones espaciales de la radioastronomía**

La radioastronomía basada en el espacio requiere análisis individuales adecuados a la aplicación.

## **3.3 Emisiones no deseadas en una banda de frecuencias de radioastronomía cuando la transmisión es variable en el tiempo y/o la dirección de llegada**

### **3.3.1 Aplicaciones terrenales**

La compartición temporal entre aplicaciones terrenales y la radioastronomía no suele considerarse operacionalmente factible. Se emplea el filtrado de los transmisores y la separación geográfica para suprimir los niveles de las emisiones no deseadas en la banda de radioastronomía, por debajo de los valores umbrales de la Recomendación UIT-R RA.769 en el emplazamiento del radiotelescopio. Hay posibilidad de interferencia cuando el haz de radioastronomía apunta a menos de  $19^\circ$  de una fuente terrenal (véase la Fig. 1). Los niveles de la Recomendación UIT-R RA.769 se basan en la hipótesis de que la fuente de interferencia esté en el contorno isótropo. Tal como se representa en la Fig. 1, una fuente terrenal en el horizonte (elevación =  $0^\circ$ ) puede dar lugar a interferencia perjudicial hasta en el 2% del hemisferio visible para un telescopio que pueda apuntar dentro de un arco de  $5^\circ$  del horizonte. No obstante, por regla general, los radiotelescopios apuntan en un sector de menos de  $5^\circ$  del horizonte durante una parte únicamente de su tiempo total de observación. Algunas fuentes de interferencias son conocidas y pueden evitarse. En la práctica, puede tolerarse un nivel de hasta 2% de pérdidas de datos debidas a un sistema interferente. Debe señalarse que a medida que un radiotelescopio apunta a ángulos de elevación muy reducidos el ruido del sistema aumenta, lo que reduce la sensibilidad. Esto no se tiene en cuenta en la Recomendación UIT-R RA.769, pues el límite de elevación habitual de  $5^\circ$  a  $10^\circ$  se traduce en un paso muy reducido de tiempo por la región de sensibilidad degradada.

La metodología descrita en la Recomendación UIT-R M.1316 puede también utilizarse para evaluar el efecto de las emisiones terrenales no deseadas en una banda de radioastronomía.

### 3.3.2 Aplicaciones espaciales

La protección de la radioastronomía en presencia de satélites OSG se trata en la Recomendación UIT-R RA.769.

El UIT-R ha elaborado dos Recomendaciones sobre la compatibilidad entre constelaciones no OSG y emplazamientos del SRA:

Recomendación UIT-R S.1586 – Cálculo de los niveles de emisión no deseada producidos por un sistema del servicio fijo por satélite no geoestacionario en localizaciones de radioastronomía.

Recomendación UIT-R M.1583– Cálculo de la interferencia entre los sistemas no geoestacionarios del servicio móvil por satélite o del servicio de radionavegación por satélite y los emplazamientos de los telescopios de radioastronomía.

Estas Recomendaciones proporcionan un método para evaluar los niveles de emisiones no deseadas producidos por constelaciones de satélites no OSG y algunos otros sistemas en emplazamientos de radioastronomía antes de su puesta en servicio. En concreto, en esas Recomendaciones pueden encontrarse métodos para determinar la compatibilidad entre los emplazamientos de radioastronomía y los sistemas de satélites durante la fase de construcción de estos últimos y antes de su lanzamiento, en respuesta a los *resuelve* 1 y 2 de la Resolución **739 (Rev.CMR-07)**.

El primer paso de este método consiste en dividir el cielo en células. En primer lugar, se elige aleatoriamente una dirección de puntería de la antena del SRA que se encuentre en el interior de una célula específica en el cielo. A continuación, se elige también aleatoriamente el tiempo de inicio de la constelación. Se calcula el valor medio de la dfp equivalente (dfpe) correspondiente a esta prueba para la dirección de puntería y el tiempo de inicio de la constelación elegidos, utilizando la siguiente ecuación a fin de determinar la dfpe correspondiente a cada muestra de tiempo:

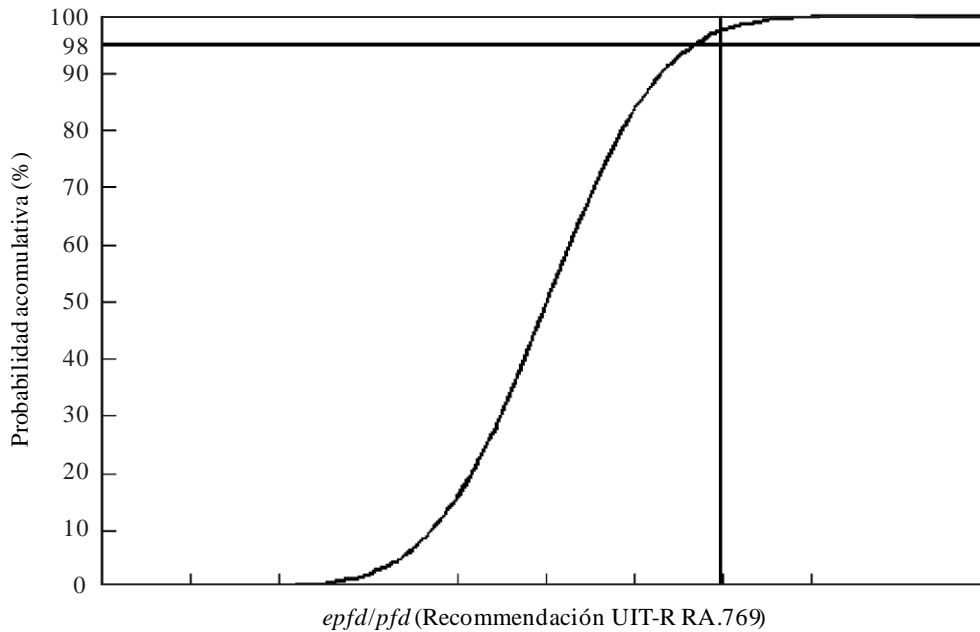
$$dfpe_{G_r = 0 \text{ dB}} = 10 \log_{10} \left[ \sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{P_i}{4\pi d_i^2} \cdot G_r(\phi_i) \right] \quad (1)$$

donde:

- $N_a$ : número de estaciones espaciales no OSG visibles desde el radiotelescopio
- $i$ : índice de la estación espacial no OSG considerada
- $P_i$ : potencia de RF de la emisión no deseada a la entrada de la antena (potencia de RF radiada en el caso de una antena activa) de la estación espacial transmisora considerada en el sistema de satélites no OSG (dBW) en la anchura de banda de referencia
- $\theta_i$ : ángulo fuera del eje entre el eje de puntería de la estación espacial transmisora considerada en el sistema de satélites no OSG y la dirección del radiotelescopio
- $G_t(\theta_i)$ : ganancia de la antena de transmisión (expresada como relación) de la estación espacial considerada del sistema de satélites no OSG en dirección del radiotelescopio
- $d_i$ : distancia (m) entre la estación transmisora considerada del sistema de satélites no OSG y el radiotelescopio
- $\phi_i$ : ángulo fuera del eje entre la dirección de puntería del radiotelescopio y la dirección de la estación espacial transmisora considerada del sistema de satélites no OSG
- $G_r(\phi_i)$ : ganancia de la antena de recepción (expresada como relación) del radiotelescopio en dirección de la estación espacial transmisora considerada del sistema de satélites no OSG.

Para cada una de estas células, se determina una distribución estadística de la dfpe. A continuación, estas distribuciones de la dfpe pueden compararse con los niveles de dfpe que aparecen en la Recomendación UIT-R RA.769 (definidos suponiendo una ganancia de la antena receptora de 0 dBi en dirección de la interferencia y considerando un tiempo de integración de 2 000 s) de manera que el porcentaje de pruebas durante el cual se satisface el criterio puede determinarse para cada una de las células que se definieron.

FIGURA 2  
Comparación entre los niveles de dfp de la Recomendación UIT-R RA.769  
y la distribución de dfpe para una célula



RA.1513-02

A partir de los niveles umbral de dfp de interferencia perjudicial para la radioastronomía que aparecen en la Recomendación UIT-R RA.769, pueden obtenerse los niveles umbral de dfpe teniendo en cuenta la máxima ganancia de la antena de radioastronomía,  $G_{m\acute{a}x}$ , supuesta en los cálculos, mediante la siguiente ecuación:

$$dfpe_{umbral} = dfp_{RA.769} - G_{m\acute{a}x}$$

En el cielo, para elevaciones superiores al mínimo ángulo de elevación de funcionamiento del radiotelescopio, el nivel umbral de dfpe definido anteriormente no debe rebasarse durante más del 2% del tiempo.

Esta metodología fue elaborada inicialmente para cubrir el caso de sistemas de satélites no OSG, sin embargo también puede utilizarse para algunos sistemas a bordo de aeronaves; por ejemplo, en el SMS aeronáutico.

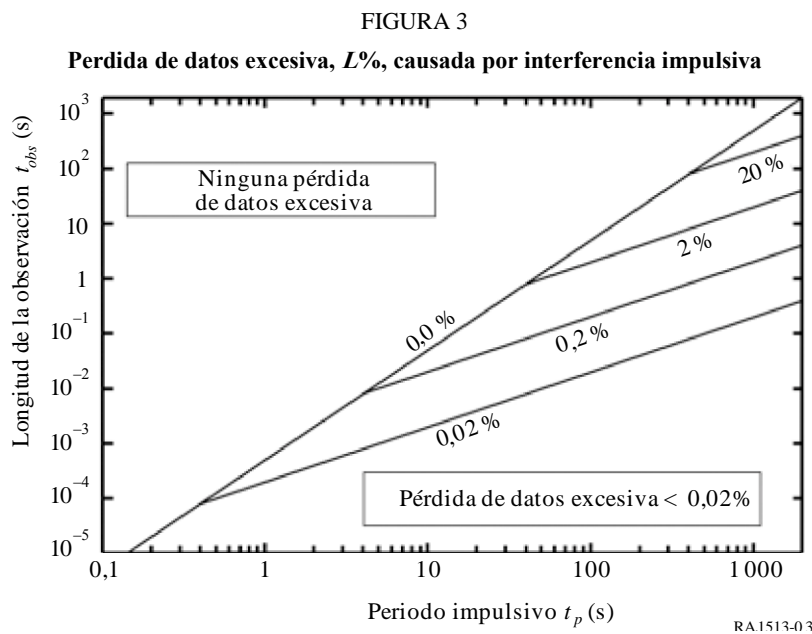
### 3.4 Medición de la pérdida de datos causada por una interferencia impulsiva de baja intensidad

En esta cláusula se especifica la medición de la pérdida de datos debida a la interferencia impulsiva superior al umbral de interferencia perjudicial para las observaciones de raya espectral medio de 2 000 segundos, especificado en la Recomendación UIT-R RA.769. se trata de una interferencia de baja intensidad. Hay una diferencia notable entre el comportamiento interferente de las señales impulsivas y el de las señales continuas. La interferencia continua, invariable en el tiempo, igual o inferior a los umbrales de interferencia perjudicial definidos en la Recomendación UIT-R RA.769

para integraciones de 2 000 segundos no perjudicará a las observaciones más cortas, pues la relación interferencia/ruido es mayor en las integraciones largas. Esto no siempre ocurre con las señales variables en el tiempo. Se definen aquí los casos en que las señales impulsivas satisfacen el umbral definido para integraciones de 2 000 segundos y, aun así, provocan una pérdida de datos excesiva a las observaciones más cortas.

En el caso de la interferencia periódica, la medición de la pérdida de datos excesiva depende de dos escalas de tiempo, el periodo impulsivo interferente,  $t_p$ , y el intervalo de observación en el que se median los datos astronómicos,  $t_{obs}$ , obteniendo una medición individual.  $t_{obs}$  se determina por criterios técnicos y científicos y suele durar unos pocos segundos. Cuando  $t_{obs}$  dura más de 0,8 s, es posible que haya una pérdida de datos excesiva > 2%, pero sólo si el periodo impulsivo interferente dura más de 40 s, como se muestra en los cálculos siguientes.

En la Fig. 3 se resumen las mediciones de la pérdida de datos.



La pérdida de datos excesiva depende únicamente de la combinación del periodo impulsivo y la longitud de la observación, como se muestra en la Fig. 3. Se considera que una observación se ha perdido cuando contiene una señal más fuerte que 1/10 del ruido del sistema, mediado en la longitud de la observación. Se ha visto que la pérdida de datos excesiva máxima es inferior a la duración de un periodo impulsivo por 2 000 s. Por consiguiente, las señales de radar y otras señales impulsivas de periodo corto no crean una pérdida de datos excesiva importante.

### 3.4.1 Método

Supóngase el caso de impulsos periódicos mediados en el tiempo que alcanzan los umbrales de interferencia perjudicial causando pérdida de datos en 2 000 s, como se presenta en la Recomendación UIT-R RA.769. Resulta que, a diferencia de cuando la interferencia es constante en el tiempo, las observaciones que naturalmente duran menos de 2 000 s (por ejemplo, los púlsar, que emiten periódicamente a intervalos muy inferiores a 2 000 s) sufrirán en ocasiones de pérdida de datos, porque la energía impulsiva interferente puede concentrarse en una o en un reducido número de estas observaciones más cortas.

Por ejemplo, un único impulso interferente cada 2 000 s coincidirá con una de cada dos observaciones de una serie de 1 000 s cada una. La relación interferencia/ruido ya no será de 1/10, como exige la Recomendación UIT-R RA.769, sino de  $\sqrt{2} / 10$  en una observación y de 0 en la otra. Esto supone

una pérdida de datos excesiva del 50%. (El factor es  $\sqrt{2}$ , pues la interferencia media es dos veces más fuerte en la observación afectada, pero el valor cuadrático medio del ruido será sólo  $\sqrt{2}$  superior). En el ejemplo siguiente se muestra el caso más desfavorable de pérdida de datos excesiva.

La pérdida de datos excesiva se deriva de la siguiente manera:

Pongamos que:

- $t_{obs}$  es la longitud de la observación en segundos,
- $t_p$  es el periodo impulsivo en segundos,
- $N_{obs}$  es el número de observaciones cada 2 000 s,  $= 2\,000/t_{obs}$ ,
- $N_p$  es el número de impulsos cada 2 000 s,  $= 2\,000/t_p$ ,
- $P$  es la potencia impulsiva media durante el intervalo de observación  $t_{obs}$ ,
- $P_{sys}$  es la potencia de ruido del sistema sin perturbaciones mediada en 2 000 s,
- $L$  es la pérdida de datos excesiva en segundos, y
- $L\%$  es el porcentaje de pérdida de datos excesiva.

La energía provista por el tren impulsivo debe ser  $\leq 1/10$  de la energía del sistema sin perturbaciones (véase la Recomendación UIT-R RA.769), de manera que:

$$N_p P t_{obs} \leq (2000 P_{sys})/10 \quad (2)$$

Ahora, parametrícese  $P$  como:

$$P = (a P_{sys}/10) \sqrt[3]{(2000/t_{obs})} \quad (3)$$

de manera que la potencia impulsiva media sea un factor por encima del umbral de interferencia perjudicial para el intervalo  $t_{obs}$ .

De las ecuaciones (2) y (3) se deriva un límite superior para el número de impulsos regulares en 2 000 s:

$$N_{p,m\acute{a}x} = (1/a) \sqrt[3]{(2000/t_{obs})} \quad (4)$$

y el correspondiente periodo impulsivo más corto permisible:

$$t_{p,m\acute{i}n} = a \sqrt[3]{(2000 t_{obs})} \quad (5)$$

Esto demuestra que el periodo impulsivo interferente debe ser superior a la media geométrica de la longitud de la observación y 2 000 s para causar pérdida de datos excesiva en las observaciones más cortas, ajustándose al mismo tiempo el límite de interferencia perjudicial de  $a = 1$  en 2 000 s fijado en la Recomendación UIT-R RA.769. Así, por ejemplo, hay exactamente 100 observaciones con  $t_{obs} = 20$  s en un intervalo de 2 000 s, donde (5) garantiza que  $t_{p,m\acute{i}n} = 200$  s. Dado que  $t_{p,m\acute{i}n}$  es el periodo más largo que satisface el requisito de  $a = 1$ , menos de 10 impulsos causarán pérdida de datos de, como máximo 9 de las 100 observaciones de 20 segundos.

Por tanto, la pérdida de datos es:

$$L = N_p t_{obs} \text{ en segundos,} \quad (6)$$

y el porcentaje de pérdida de datos es:

$$L\% = 100 L/2000 \quad (7)$$

De las ecuaciones (5) y (6) se deriva que:

$$L(\text{l\acute{i}mite superior}) = t_{p,m\acute{i}n} \text{ en segundos, y} \quad (8)$$

$$L\%(\text{l\acute{i}mite superior}) = 100 (t_{p,m\acute{i}n}/2000) \quad (9)$$

Queda claro que las señales impulsivas con periodo corto ( $t_p < 40$  s) no pueden causar una pérdida de datos excesiva importante por encima del límite del 2%.

La relación entre  $t_{obs}$ ,  $t_p$  y  $L\%$  se muestra en la anterior Fig. 3 para una pérdida de datos excesiva de 0, 0,02, 0,2, 2 y 20%.

### 3.4.2 Efecto de los impulsos regulares

Los impulsos periódicos interferentes con intensidad constante representan el caso más desfavorable en términos de pérdida de datos excesiva. Los impulsos irregularmente espaciados en el tiempo o con intensidad variable causan, como mucho, una pérdida de datos equivalente, siempre y cuando se cumpla el requisito de  $a = 1$  de que su media no supere el umbral de interferencia perjudicial después de 2 000 s. En ocasiones puede haber más de un impulso interferente durante una misma observación, pero no por ello se aumenta el número total de observaciones perdidas, pues un solo impulso basta para eso.

Del mismo modo, los impulsos interferentes con intensidad variable pueden reducir el número de observaciones perdidas. Esto ocurre cuando los impulsos están suficientemente por debajo de la media para no rebasar el nivel de interferencia perjudicial. Por tanto, en ningún caso pueden causar más pérdidas que los impulsos periódicos con intensidad constante.

### 3.4.3 impulsos de periodo largo

Los únicos impulsos interferentes que pueden causar una pérdida de datos excesiva notable son aquellos cuyo periodo es muy largo, de entre decenas y cientos de segundos. Tales cadenas de impulsos se dan raramente en la práctica, aunque las aplicaciones con botón de cambio («push-to-talk») pueden efectuar transmisiones irregularmente espaciadas con un tamaño parecido.

En el siguiente ejemplo se muestra el motivo para limitar los periodos impulsivos largos. A partir de la ecuación (5), para causar pérdida de datos excesiva, el periodo impulsivo debe ser superior a la media geométrica de la longitud de la observación y 2 000 s. por ejemplo, hay cien integraciones de 20 segundos en 2 000 s. por tanto, un único impulso mediado en 20 s puede ser 100 veces el umbral de interferencia perjudicial en 2 000 segundos y, aún así, mediarse por debajo de ese nivel y causar una pérdida de datos excesiva del 1%. Esta potencia excesiva puede reducirse por un factor de  $\sqrt{100} = 10$  y distribuirse a lo largo de, como mucho, 10 impulsos antes de encontrarse por debajo del nivel de interferencia perjudicial en 20 s. Se obtiene un periodo impulsivo mínimo de 200 s.

### 3.4.4 Métodos de reducción de la interferencia

La interferencia fácilmente visible en una antena isótropa en cualquier intervalo de integración igual o superior a un segundo ya muestra que la potencia media en 2 000 s superará el umbral de interferencia perjudicial, como se muestra a continuación.

Para las señales iguales o inferiores al umbral de interferencia perjudicial ( $a \leq 1$ ), la intensidad impulsiva máxima que causa una pérdida de datos del 2% es un único impulso cada 2 000 s 1,5 dB por debajo de la media de ruido en 40 s. esto dañará una integración de 40 segundos de cada 50, es decir, el 2%. La media de ruido en 40 s es de  $\sqrt{50}$  8,5 dB por encima del ruido en 2 000 s, mientras que el impulso puede ser 50 veces superior (17 dB) a ese nivel. La diferencia es de 8,5 dB, lo que aún es  $\sqrt{2}$  más débil que el ruido medio en 40 s, por lo que no se detectará en las observaciones normales. Sólo las observaciones muy cortas (milisegundos) pueden lograr detectar los impulsos, a partir de cinco sigma por encima del ruido.

En todos los casos para detectar la interferencia impulsiva se necesitará una ganancia de antena en dirección de la interferencia muy por encima de la isótropa o, en el caso de los impulsos muy breves, de una gran resolución temporal. Por último, la interferencia visible en una antena isótropa con una

integración de pocos segundos seguro que supera el límite de interferencia perjudicial al realizar la media en 2 000 s, incluso sin que haya interferencia.

En esta cláusula se asume que no se ha intentado sincronizar la velocidad de adquisición de los datos con el periodo impulsivo. Sin embargo, las señales impulsivas regulares ofrecen un método de reducción de la interferencia excepcionalmente potente, si se adopta esta opción. Gracias a los trabajos sobre la detección de púlsares se sabe que puede lograrse una mejora de la relación interferencia/ruido proporcional a la raíz cuadrada de la relación entre el ancho del impulso y su periodo, generalmente de entre 10 dB y 20 dB para los radares.

### 3.4.5 Equivalencia entre impulsos rápidos y emisiones continuas

Los impulsos rápidos, como los de los radares, pueden tratarse como una interferencia continua con una intensidad equivalente a la intensidad media del impulso. Concretamente, la interferencia impulsiva que no rebase el límite de la Recomendación UIT-R RA.769 para una integración de 2 000 segundos puede encontrarse por debajo del límite de interferencia perjudicial calculado para integraciones más cortas. Por ejemplo, si consideramos una señal impulsiva con un periodo de 20 segundos 15 dB por debajo del ruido en cada integración de 20 segundos, el ruido después de 2 000 s será 10 veces más débil. Por tanto, esta señal, inocua en las integraciones de 20 segundos, estará 5 dB por encima del nivel perjudicial tras 2 000 s.

Dicho de otro modo, la señal impulsiva se comporta igual que una señal continua. Sólo los impulsos con periodos más largos que la media geométrica del tiempo de integración y 2 000 s puede causar pérdida de datos excesiva en integraciones cortas, mientras que la interferencia impulsiva no rebasa el umbral de interferencia perjudicial de la Recomendación UIT-R RA.769 para una integración de 2 000 segundos. Sería raro que esto ocurriese en la realidad.

### 3.4.6 Resumen

Basándonos en que la interferencia impulsiva no rebasa el umbral de interferencia perjudicial de la Recomendación UIT-R RA.769 para una observación de 2 000 s, estos cálculos demuestran lo siguiente:

- 1) La radiación de radar y otras radiaciones impulsivas con periodos inferiores a 40 s, cuya media está por debajo del nivel perjudicial definido en la Recomendación UIT-R RA.769 para 2 000 s, no causarán una pérdida de datos excesiva  $> 2\%$ .
- 2) Para las mediciones en longitudes de observación de 40 segundos, la intensidad impulsiva más desfavorable para una pérdida de datos excesiva  $> 2\%$  es 1,5 dB inferior al ruido del sistema, y eso sólo en el caso de impulsos extremadamente infrecuentes (1 cada 2 000 s) sin medidas de reducción de la interferencia para sincronizar la captura de datos de manera anticorrelacionada con los impulsos regulares.
- 3) La interferencia periódica y/o de intensidad variable causará una pérdida de datos igual o inferior a la que causan los impulsos periódicos de intensidad constante.

## 4 Conclusión

Se considera que el 5% del tiempo es un criterio práctico para las pérdidas de datos combinadas resultantes de la interferencia procedente de todas las fuentes en el SRA. La existencia de múltiples fuentes de interferencia superpuestas es un aspecto práctico que debe ser tenido en cuenta. Se requieren nuevos estudios sobre el reparto de la interferencia combinada entre las distintas redes.

Las pérdidas de datos debidas a la interferencia de un sistema aislado deben ser significativamente inferiores al 5%. Para cumplir este requisito, el 2% por sistema es un límite práctico.

---