

RECOMENDACIÓN UIT-R RA.1513-1

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

(Cuestión UIT-R 227/7)

(2001-2003)

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 pueden utilizarse técnicas de reducción y se están desarrollando otras más avanzadas para aplicación futura que permiten 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;
- 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 actualmente se están desarrollando 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;

j) 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 con carácter primario al SRA se determine en forma de porcentaje de periodos de integración de 2000 s en los que la dfp media espectral en el telescopio radioeléctrico rebasa los niveles definidos (suponiendo una ganancia de antena de 0 dBi) en la Recomendación UIT-R RA.769. El efecto de la interferencia periódica en escalas temporales del orden de segundos o inferiores, tal como la de los impulsos de radar, requiere nuevos estudios;

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

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)	
– Sondeos atmosféricos 3-D	0,01
– Todos los demás sensores pasivos	1,0-5,0
SETS, vehículos espaciales próximos a la Tierra (%) (Recomendación UIT-R SA.514)	0,1
Servicio de meteorología por satélite (%) (Recomendación UIT-R SA.1161)	0,1
Sistemas de operaciones espaciales, $S/N > 20$ dB durante $> 99\%$ del tiempo (%) (Recomendación UIT-R SA.363)	1,0
SETS (sensores activos) (%) (Recomendación UIT-R SA.1166)	1,0-5,0

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 10% 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° . Cuando un radiotelescopio apunta a menos de 19° 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° . 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°. Como las antenas de radioastronomía no suelen apuntarse por debajo de 5°, ésta es la elevación mínima considerada. Para una fuente de interferencia por encima del ángulo de elevación de 19° (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° centrado en la fuente de interferencia, se bloquea para la observación de radioastronomía a niveles útiles de sensibilidad. Esta zona subtende un ángulo sólido de 0,344 sr, lo que supone el 5,5% de 2π sr del espacio por encima del horizonte.

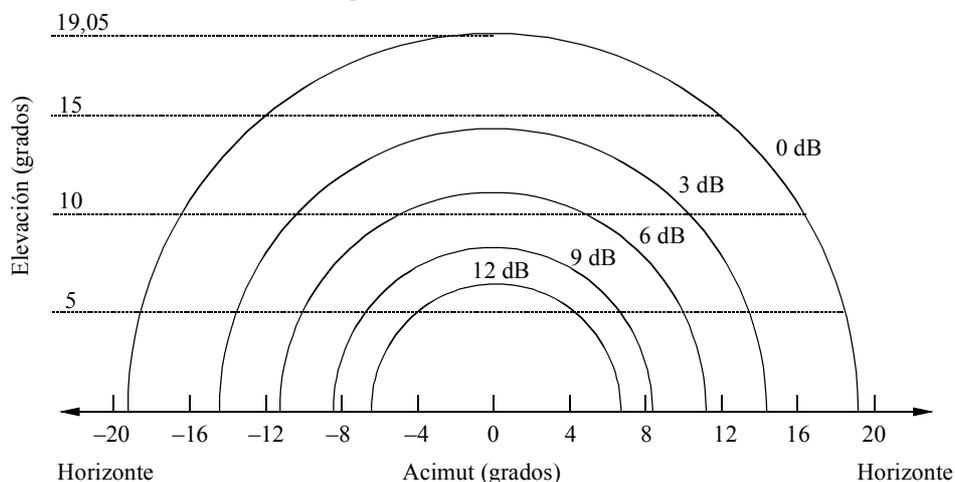
La aplicación del concepto de bloqueo espacial en un entorno no estacionario (por ejemplo, el de los sistemas de satélite no OSG o móviles) requiere estudios adicionales.

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



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 10%. No obstante, esto no conduce automáticamente a una pérdida de datos del 10% 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 basadas en el espacio

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 de la radioastronomía basadas en el espacio

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° 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°) 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° del horizonte. No obstante, por regla general, los radiotelescopios apuntan en un sector de menos de 5° 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° a 10° 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 basadas en el espacio

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

Se elaboraron dos Recomendaciones, por el UIT-R: 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, y 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, para considerar la compatibilidad entre constelaciones de satélites no OSG y emplazamientos del SRA. Estas Recomendaciones proporcionan un método para evaluar los niveles de emisiones no deseadas producidos por una constelación de satélites no OSG en emplazamientos de radioastronomía. 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 dfpe 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:

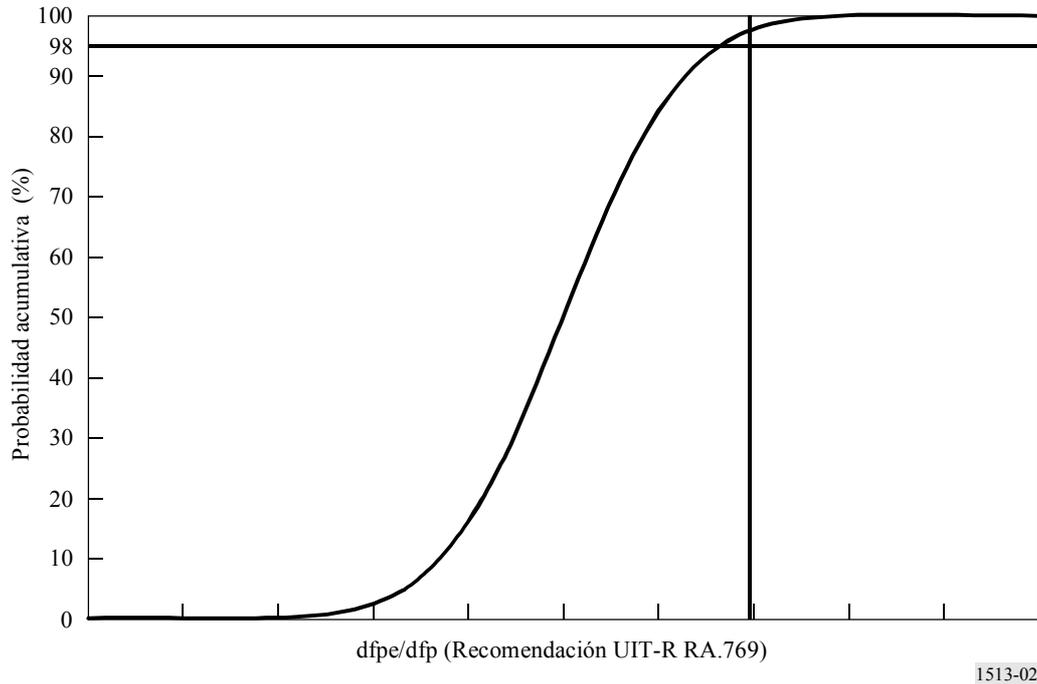
$$dfpe_{G_r = 0 \text{ dBi}} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{P_i}{4\pi d_i^2} \cdot G_t(\theta_i) \cdot G_r(\varphi_i) \right] \quad (1)$$

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
- θ_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
- φ_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
- $G_r(\varphi_i)$: 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 2000 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



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.

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.