

## RECOMENDACIÓN UIT-R RA.611-4\*, \*\*

**Protección del servicio de radioastronomía contra las emisiones no esenciales**

(Cuestión UIT-R 145/7)

(1986-1990-1992-2003-2006)

**Cometido**

La presente Recomendación facilita orientaciones a las administraciones y/u operadores con miras a la protección del servicio de radioastronomía (SRA) contra las emisiones no esenciales que pueden ser causadas por servicios activos con atribuciones en bandas adyacentes o vecinas a las bandas del SRA.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la radioastronomía continúa estando en la vanguardia del progreso del conocimiento científico;
- b) que el servicio de radioastronomía (SRA) requiere bandas de frecuencias libres de interferencia perjudicial para poder efectuar las observaciones astronómicas;
- c) que la utilización creciente del espectro radioeléctrico, particularmente en el espacio, aumenta la posibilidad de interferencia en detrimento del servicio de radioastronomía procedente de las emisiones no esenciales (véase el Anexo 1 a esta Recomendación);
- d) que la utilización de ciertas técnicas de modulación con un filtrado inadecuado de los productos de modulación no esenciales puede afectar a las bandas de radioastronomía muy alejadas de la banda de la emisión deseada;
- e) que el Apéndice 3 al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) establece los límites máximos admisibles de emisiones no esenciales y prevé la consideración de niveles más estrictos de las emisiones no esenciales para la protección adecuada de las estaciones receptoras del SRA;
- f) que en el caso de los sistemas radioeléctricos que utilizan técnicas de modulación digital los niveles de emisiones no esenciales especificados en el Apéndice 3 al RR no son aplicables pero se pueden utilizar como una guía. Cabe señalar que la protección del SRA contra las emisiones no deseadas resultantes de aplicaciones de modulación digital de banda ancha se considera en la Recomendación UIT-R RA.1237;
- g) que se realizan observaciones de radioastronomía en bandas de frecuencias de hasta 1 000 GHz;

---

\* NOTA – Los niveles de interferencia perjudiciales para el SRA que se indican en el Anexo 1 de la Recomendación UIT-R RA.769 no son aceptados por las Administraciones Árabes pues se consideran irrealistas, como se confirmó en las precedentes Conferencias de Radiocomunicaciones de 1995, 1997 y 2000 que tratan de la Recomendación 66 del RR.

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

- h) que los niveles de umbrales de interferencia en detrimento del SRA figuran en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769;
- j) que la Recomendación UIT-R RA.1513 contiene los niveles aceptables de pérdida de datos para las observaciones de radioastronomía y los criterios de porcentajes de tiempo resultantes de la degradación causada por la interferencia a las bandas de frecuencias atribuidas al SRA a título primario;
- k) que los criterios técnicos para el caso de interferencia en detrimento del servicio de radioastronomía debida a emisiones no esenciales procedentes de transmisores de las estaciones espaciales OSG deben ser, para el SRA, los que fija el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769 que permiten efectuar observaciones de radioastronomía a 5° o más a partir de la OSG;
- l) que se ha avanzado en el cumplimiento de los requisitos del SRA sin efectos perjudiciales para otros servicios;
- m) que se está mejorando continuamente el diseño de las antenas, así como las técnicas de filtrado de las emisiones no esenciales,

*recomienda*

- 1 que los observatorios de radioastronomía sigan estando situados en emplazamientos que tengan una buena protección natural contra la interferencia que pudiera ir en detrimento del SRA;
- 2 que deben hacerse todos los esfuerzos posibles para minimizar las ganancias en la dirección de los lóbulos laterales de las antenas de radioastronomía;
- 3 que, al explotar estaciones, las administraciones tengan en cuenta en la mayor medida posible la interferencia a las observaciones de radioastronomía, debido a las emisiones no esenciales procedentes de estaciones terrenas de elevada potencia o de estaciones espaciales;
- 4 que, para el caso de las estaciones espaciales OSG, las administraciones tengan en cuenta, en la mayor medida posible, el objetivo del SRA de liberarse de las interferencias en detrimento del SRA (véase la Recomendación UIT-T RA.769) procedentes de emisiones no esenciales cuando efectúan observaciones a 5° o más desde la OSG.

## **Anexo 1**

### **Interferencia causada al SRA por las emisiones no esenciales**

#### **1 Criterios de protección para el SRA**

El límite de sensibilidad de la mayoría de las observaciones de radioastronomía está en un nivel de  $dfp$  muy inferior al utilizado para la recepción de señales de radiocomunicaciones. En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769 se tratan los niveles de umbral de la interferencia y los criterios de protección para la compartición de frecuencias entre el SRA y otros servicios; en los Cuadros 1, 2 y 3 se indican los límites de sensibilidad en distintas frecuencias. Sin embargo, incluso pueden originar interferencias en detrimento del SRA los transmisores que no comparten la misma banda, que pueden clasificarse como interferencias en la banda adyacente (véase la Recomendación UIT-R RA.517) e interferencia procedente de las emisiones no esenciales de transmisores en otras bandas. Si todos los parámetros son iguales, el efecto de las emisiones no esenciales resultantes de la modulación digital

de banda ancha que aplica técnicas de espectro ensanchado en un transmisor será más grave, y se considera en la Recomendación UIT-R RA.1237.

## 2 Interferencia causada por radiación armónica y por intermodulación

Las interferencias por radiación armónica o por los productos de intermodulación de dos o más señales pueden ser causadas por transmisores muy alejados, en frecuencia, de la banda de radioastronomía. De forma similar, la interferencia procedente de señales moduladas digitalmente que no se han filtrado de manera adecuada (por ejemplo, las señales de espectro de frecuencia ensanchado) pueden afectar a las bandas de radioastronomía muy alejadas de la portadora.

La interferencia armónica puede producirse en cualquier banda y normalmente, se genera en las etapas del amplificador de potencia de salida de los transmisores. El segundo y tercer armónicos de la frecuencia portadora pueden manifestarse en un nivel bastante elevado, pero los transmisores están normalmente provistos de filtros (sintonizados o de paso bajo) que atenúan todos los armónicos a la salida del transmisor hasta un valor de por lo menos 60 dB por debajo de la potencia de cresta. La intermodulación entre portadoras se manifestará también cuando una parte de la señal proveniente de un transmisor penetre a través de los filtros combinadores en el circuito de salida de otro transmisor que alimente a una antena común. Mediante filtros adicionales relativamente sencillos se pueden atenuar estos productos no deseados, siempre y cuando no estén muy próximos en frecuencia al transmisor.

Los niveles examinados en el párrafo anterior se aplican a la interferencia generada en las etapas finales de los transmisores. Además, se pueden generar armónicos y productos de intermodulación por la no linealidad del sistema transmisor<sup>1</sup>.

## 3 Emisiones no deseadas causadas por modulación de banda ancha

En ciertos tipos de transmisiones previstas, a menudo asociadas con la transmisión de datos en forma digital, se generan bandas laterales espectrales en una banda de frecuencia mucho más ancha que la utilizada para la recepción de estas señales. En particular, la técnica de modulación por desplazamiento de fase binaria (MDP-2) produce un espectro de potencia de la forma  $(\sin x/x)^2$  con máximos secundarios repetidos fuera de la anchura de banda deseada, que disminuye con la frecuencia. Sin filtro, la densidad espectral de potencia en las bandas laterales que se producen a aproximadamente diez veces la anchura de banda (3 dB) de la frecuencia portadora es apenas 36 dB menor que el nivel de potencia en el centro de la banda. Si, además, la frecuencia de modulación de esta transmisión MDP-2 es de 10 a 20 MHz, esas diez anchuras de banda abarcarán varios centenares de megahertzios a partir de la frecuencia asignada. Por ejemplo, supóngase un transmisor simple de MDP-2 con una frecuencia de modulación de 10 MHz centrada en 1 615 MHz con 40 W de potencia y una antena transmisora isótropa montada en una aeronave a una distancia en línea recta de 400 km, que es la distancia del horizonte a una altitud de la aeronave de unos 10 000 m. Las emisiones no deseadas del transmisor tendrían como resultado un nivel de d<sub>fp</sub>, incluso en la banda 1 400-1 427 MHz, en la ubicación del receptor que estaría 40 dB por encima de los niveles de umbral de interferencia en detrimento del SRA indicados en el Cuadro 1 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769. El nivel de las emisiones en la banda 1 660-1 670 MHz, también atribuida a la radioastronomía, sería naturalmente considerablemente más alto. Los transmisores de este tipo instalados en vehículos espaciales pueden ser una fuente de interferencia todavía más perturbadora

---

<sup>1</sup> Puede consultarse el material técnico con más datos de interés en la página web del Grupo de Trabajo 7D del UIT-R.

para la radioastronomía. Es importante que cuando se diseñen estos tipos de transmisores, se procure suprimir adecuadamente las emisiones no deseadas.

En algunos tipos de modulación con ensanchamiento del espectro se utiliza la MDP-2 con una frecuencia de modulación de varios megahertzios. Una característica de las técnicas corrientes de ensanchamiento del espectro es una señal de banda ancha con baja densidad espectral de potencia, que se asemeja al ruido aleatorio. Esta característica suele reducir la posibilidad de que estos sistemas con ensanchamiento del espectro causen interferencia a los sistemas de comunicación clásicos de banda estrecha, pero no al SRA. En la radioastronomía, las señales cósmicas tienen la forma de ruido aleatorio y se utilizan a menudo bandas anchas. En los niveles de señal bajos que interesan a los radioastrónomos no hay en general un modo práctico de distinguir entre señales de espectro ensanchado y señales cósmicas. Los niveles de umbral perjudiciales de la dfp de señales artificiales que están dentro de la banda de radioastronomía figuran en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769 y se aplican tanto a las emisiones no deseadas como a las deseadas y a todos los tipos de modulación, incluidos los ya examinados. La tecnología actual permite diseñar nuevas generaciones de transmisores de este tipo que aseguren una supresión adecuada de las emisiones fuera de banda no deseadas. Dichos transmisores podrán funcionar sin radiar en bandas laterales alejadas siempre que la fase de la portadora no conmute abruptamente  $180^\circ$  en el esquema de modulación MDP-2, sino más suavemente, para producir un espectro de potencia de la forma  $(\sin x/x)^n$  con  $n > 2$ .

#### **4 Interferencias provenientes de transmisiones de satélites**

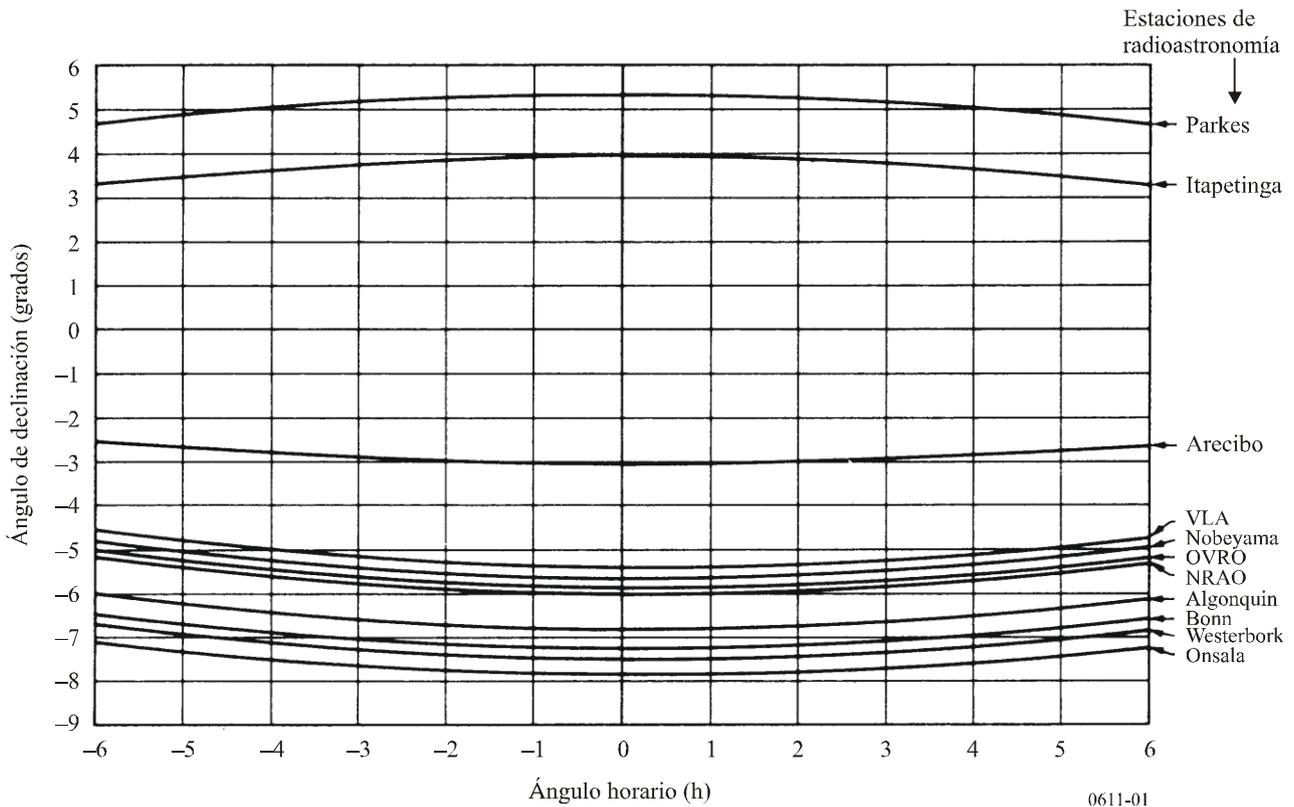
Las transmisiones desde satélites pueden causar graves interferencias al SRA. Las fuentes terrenales interferentes se encuentran normalmente en la región de los lóbulos laterales más lejanos de los radiotelescopios, y posiblemente están más atenuadas por la topografía de los alrededores del observatorio de radioastronomía, mientras que es probable que las transmisiones desde satélites se reciban en el haz principal y en los lóbulos laterales más próximos, con una ganancia considerablemente mayor. La naturaleza de la interferencia depende del tipo de transmisor y del servicio prestado por el sistema, de si los satélites están en la OSG o en la no OSG, y del número de satélites en el sistema considerado que están por encima del horizonte del observatorio de radioastronomía.

##### **4.1 Satélites geoestacionarios**

Múltiples satélites geoestacionarios son visibles desde casi todos los radiotelescopios actualmente en funcionamiento, y ocupan una gama más o menos constante de acimutes y elevaciones. Por lo tanto, tienen la posibilidad de ser fuentes de interferencia molestas a las observaciones de radioastronomía. El radio de la OSG es aproximadamente 6,6 veces el radio de la Tierra. A esa distancia radial, un solo satélite puede iluminar un tercio de la superficie de la Tierra, y por ende muchos radiotelescopios, con señales de visibilidad directa. La Fig. 1 muestra la posición del cinturón de satélites geoestacionarios en coordenadas celestes tal como se ve desde las latitudes de algunos observatorios de radioastronomía importantes. Los planes de desarrollo de algunos servicios activos requieren un gran número de satélites geoestacionarios. Esta serie de posibles fuentes de interferencia que pueden ser recibidas a través de los lóbulos próximos del diagrama de antena de los radiotelescopios podría plantear un problema de interferencia único a los radioastrónomos.

FIGURA 1

Proyección de la órbita de los satélites geostacionarios en la esfera terrestre



En el Anexo 1 a la Recomendación UIT-T RA.769 figuran los niveles de umbral de interferencia que pueden ir en detrimento del servicio de astronomía. Se enumera, para cada banda de radioastronomía, el nivel de potencia del receptor de valor suficiente para producir interferencia perjudicial al servicio. Asimismo, se enumeran las dfp equivalentes ( $\text{dB(W/m}^2\text{)}$ ) asociadas con esa interferencia, las cuales se calculan suponiendo que la ganancia del radiotelescopio es 0 dBi en la dirección de la fuente interferente. Esta ganancia resulta apropiada para la consideración de las fuentes terrenales de interferencia confinadas a las proximidades del horizonte. Los resultados son muy diferentes cuando se trata de satélites geostacionarios.

Si suponemos que la antena de la estación de radioastronomía tiene las características de lóbulo lateral supuestas en la Recomendación UIT-R SA.509, la ganancia del lóbulo lateral se reduciría a 0 dBi a  $19^\circ$  del eje del haz principal. Para dicha antena, el nivel de interferencia perjudicial para el SRA será excedido si el haz principal está apuntado dentro de  $19^\circ$  de un satélite que produce en la anchura de banda de radioastronomía una dfp en el observatorio radioastronómico igual al umbral de interferencia perjudicial indicado en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R RA.769. Una serie de satélites separados a intervalos de  $30^\circ$  a lo largo de la OSG radiando este nivel de interferencia darían como resultado una zona de unos  $38^\circ$  de abertura angular centrada en la órbita en la cual no sería posible realizar observaciones radioastronómicas que estuviesen libres de interferencia perjudicial. La amplitud de esta zona aumentaría con el número de satélites interferentes en la órbita y, en principio, podría cubrir todo el firmamento. El número efectivo de satélites interferentes dependerá de si las señales interferentes son haces puntuales de las antenas transmisoras de los satélites o si son más amplias. Es probable que las emisiones no esenciales cuya frecuencia no está muy separada de la frecuencia del transmisor del satélite sean dirigidas por las antenas de manera muy similar a las de las señales deseadas.

## 4.2 Satélites no geoestacionarios

La posibilidad de que los satélites de órbita terrestre baja (LEO) no geoestacionarios causen interferencia perjudicial al SRA se debe a que hay un gran número de estos satélites en funcionamiento, por lo que es posible que muchos de ellos estén simultáneamente por encima del horizonte de un observatorio de radioastronomía y en línea de visibilidad directa de la antena del radiotelescopio. Este factor plantea la situación de que la antena del radiotelescopio puede recibir emisiones no deseadas de estos satélites LEO no geoestacionarios visibles a través de muchos lóbulos laterales cercanos y lejanos del haz de la antena, y también a través del haz principal. El problema de interferencia es agravado por las direcciones de llegada continuamente cambiantes de las señales interferentes, y la necesidad que tiene la antena del radiotelescopio de seguir la fuente celeste observada. Múltiples entradas de señales fuertes pueden activar el punto de funcionamiento del receptor en una región no lineal, resultando en la generación de productos de intermodulación.

La repercusión en los emplazamientos de radioastronomía de las señales no deseadas producidas por una constelación de satélites en órbitas no geoestacionarios (bajas) se puede determinar aplicando la metodología de d<sub>fp</sub> equivalente descrita en la 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, o la 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, y las ganancias de antena indicadas en la Recomendación UIT-R RA.1631.

Es posible utilizar estas Recomendaciones para determinar el porcentaje de pérdida de datos durante las observaciones hechas en un determinado emplazamiento de radioastronomía debido a la interferencia causada por un determinado sistema de satélites. El porcentaje aceptable de pérdida de datos se define en la Recomendación UIT-R RA.1513.

---