

RECOMENDACIÓN 611-2

**PROTECCIÓN DEL SERVICIO DE RADIOASTRONOMÍA
CONTRA LAS EMISIONES NO ESENCIALES**

(Cuestión 145/7)

(1986-1990-1992)

El CCIR,

considerando

- a) que la radioastronomía continúa estando en la vanguardia del progreso del conocimiento científico;
- b) que el servicio de radioastronomía 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 perjudicial a la 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 8 al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) establece los límites máximos admisibles de emisiones no esenciales de los transmisores que funcionan en frecuencias inferiores a 17,7 GHz;
- f) que las estaciones de los servicios especiales que funcionan en frecuencias superiores a 960 MHz, están excluidas de la aplicación del apéndice 8 al RR;
- g) que las emisiones no esenciales procedentes de los sistemas radioeléctricos que utilizan técnicas de modulación digital están actualmente excluidas de la aplicación del apéndice 8 del RR;
- h) que se realizan observaciones radioastronómicas en bandas de frecuencias de hasta 275 GHz y superiores;
- j) que los criterios técnicos relativos a la interferencia perjudicial a que se hace referencia en la Recomendación N.º 61 de la CAMR-79 deben ser, para el servicio de radioastronomía, aquéllos que establecen los cuadros 1, 2 y 3 del anexo 1 a la Recomendación 769 para los transmisores que funcionan fuera del haz principal de la antena de radioastronomía;
- k) que los criterios técnicos para el caso especial de interferencia perjudicial debida a emisiones no esenciales procedentes de transmisores de las estaciones espaciales geoestacionarias deben ser, para el servicio de radioastronomía, los que fija el anexo 1 a la Recomendación 769 que permiten efectuar observaciones de radioastronomía a 5° o más a partir de la órbita de los satélites geoestacionarios;
- l) que se ha avanzado en el cumplimiento de los requisitos de la radioastronomía 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 el servicio de radioastronomía continúe situando los observatorios en emplazamientos que tengan una buena protección natural contra la interferencia perjudicial;
2. que el servicio de radioastronomía debe realizar todos los esfuerzos posibles para minimizar las ganancias en la dirección de los lóbulos laterales de las antenas radioastronómicas;
3. que al explotar estaciones en bandas de frecuencias no cubiertas por las disposiciones del apéndice 8 al RR, las administraciones tengan en cuenta en la mayor medida posible, el riesgo particular de interferencia a las observaciones radioastronómicas, debido a las emisiones no esenciales procedentes de estaciones terrenas de elevada potencia o de estaciones espaciales;
4. que, para el caso especial de las estaciones espaciales geoestacionarias, las administraciones tengan en cuenta, en la mayor medida posible, el objetivo del servicio de radioastronomía de liberarse de las interferencias perjudiciales (véase la Recomendación 769 procedentes de emisiones no esenciales cuando efectúan observaciones a 5° o más desde la órbita de los satélites geoestacionarios).

Interferencia causada al servicio de radioastronomía por las emisiones no esenciales

1. Criterios de protección para el servicio de radioastronomía

El límite de sensibilidad de la mayoría de las observaciones de radioastronomía está en un nivel de densidad de flujo muy inferior al utilizado para la recepción de señales de radiocomunicaciones. El anexo 1 a la Recomendación 769 trata los criterios de protección y de interferencia perjudicial para la compartición de frecuencias entre la radioastronomía y otros servicios; en los cuadros 1, 2 y 3 se indican los límites de sensibilidad en distintas frecuencias. Sin embargo, como consecuencia de la sensibilidad de las observaciones de radioastronomía, incluso los transmisores que no comparten la misma banda pueden originar interferencias. Éstas pueden clasificarse como interferencias de banda adyacente (véase la Recomendación 517) e interferencias procedentes de emisiones no esenciales de transmisores que funcionan en otras bandas.

Debe señalarse también que no todos los tipos de mediciones radioastronómicas son tan sensibles a la interferencia como las realizadas con instalaciones de una sola antena a las que se aplican los cuadros 1 y 2 del anexo 1 a la Recomendación 769. Los interferómetros y sistemas de antenas de síntesis tienen umbrales más altos para la interferencia perjudicial. Estos instrumentos son útiles principalmente para estudiar fuentes con estructura angular muy pequeña mientras que los telescopios de una sola antena desempeñan un papel importante en la astronomía observando fuentes de más amplia estructura angular.

Un segundo criterio que afecta a la protección del servicio de radioastronomía se refiere a la porción de cielo para la cual se deben proteger las observaciones de radioastronomía. Para los agentes interferentes que operan desde la superficie de la Tierra se adopta un valor de 0 dB para la ganancia de la antena de radioastronomía en la dirección del horizonte. Se adopta este valor de forma que las señales potencialmente interferentes no provoquen una interferencia perjudicial sobre las observaciones realizadas para ángulos de elevación superiores a 19° (véase la Recomendación 509). La misma ganancia de antena de 0 dB resulta aceptable para los casos de interferencia procedente de transmisores en aeronaves o en vehículos espaciales en órbita baja. Sin embargo, para la interferencia procedente de un vehículo espacial geoestacionario se requiere un valor de +15 dB para la ganancia de la antena de radioastronomía, para que puedan realizarse observaciones a 5° de la órbita de los satélites geoestacionarios (véase el anexo 1 de la Recomendación 769).

2. Interferencia causada por frecuencias armónicas y productos de intermodulación

Las interferencias por radiación armónica o por los productos de intermodulación de dos o más señales pueden estar 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 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 las transmisiones. Además, se pueden generar armónicos y productos de intermodulación por la no linealidad de los alimentadores y de las antenas.

El cuadro 1 enumera los servicios que pueden causar interferencia armónica en atribuciones primarias del servicio de radioastronomía; sólo se han tenido en cuenta los segundos y terceros armónicos.

CUADRO 1

Servicios que podrían causar interferencia perjudicial al servicio de radioastronomía*

Banda atribuida a título primario en todo el mundo al servicio de radioastronomía	Servicio interferente	Orden del armónico de la frecuencia atribuida
13,36-13,41 MHz	Móvil aeronáutico	2
25,55-25,67 MHz	Móvil marítimo	2, 3
322-328,6 MHz	Móvil, (Regiones 2 y 3)	2
	Radiodifusión	3
	Radionavegación aeronáutica	3
1 400-1 427 MHz	Radiodifusión	2, 3
	Móvil	2 (Regiones 2, 3), 3 (Regiones 2 ⁽¹⁾ , 3)
	Meteorología por satélite (espacio Tierra)	3 ⁽¹⁾
1 610,6-1 613,8 MHz	Radiodifusión	2,3
	Móvil	2, (Regiones 2, 3), 3 (Regiones 2 ⁽¹⁾ , 3)
1 660-1 670 MHz	Radiodifusión	2, 3
	Móvil (Regiones 2, 3)	2, 3 (Región 3)
	Radionavegación (Región 3)	3
2 690-2 700 MHz	Radionavegación aeronáutica	2
	Radiolocalización	2 ⁽¹⁾ , 3 ⁽¹⁾
	Radiodifusión (Regiones 1 y 3)	3
	Móvil (Región 3)	3
4 990-5 000 MHz	Móvil por satélite (espacio-Tierra)	2
	Móvil	2
	Radiolocalización	2 (Región 1 ⁽¹⁾)
	ISM	2
	Radiodeterminación por satélite (espacio-Tierra)	2 (Regiones 2, 3 ⁽¹⁾)
10,6-10,7 GHz	Radiolocalización	2, 3
	Móvil (Región 1)	3 ⁽¹⁾
	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	3
15,35-15,4 GHz	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	2
	Radionavegación aeronáutica	3
22,21-22,5 GHz	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	2, 3
23,6-24 GHz	Radiodifusión (Regiones 1 y 3)	2
	Radiodifusión por satélite (Regiones 1 y 3)	2
	Fijo por satélite (Región 2)	2
	Móvil	3

* No se incluyen los servicios fijo y móvil (salvo móvil aeronáutico).

⁽¹⁾ Atribución secundaria.

CUADRO 1 (Continuación)

Banda atribuida a título primario en todo el mundo al servicio de radioastronomía	Servicio interferente	Orden del armónico de la frecuencia atribuida
31,3-31,8 GHz	Radionavegación aeronáutica	2
	Radiolocalización	2, 3
	Móvil	3
	Radioaficionados	3 (1)
	Radioaficionados por satélite	3 (1)
42,5-43,5 GHz	Móvil	2
	Radionavegación	3
	Radionavegación por satélite	3 (1)
	Investigación espacial	3 (1)
86-92 GHz	Móvil	2,3
	Móvil por satélite	2
	Radionavegación	2
	Radionavegación por satélite	2
	Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (espacio-Tierra)	3 (1)
105-116 GHz	Entre satélites	2
	Móvil	2, 3
	Investigación espacial	3 (1)
	Ayudas a la meteorología	3
	Radiolocalización	3
	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	3
164-168 GHz	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	2
	Móvil	2, 3
	Móvil por satélite (espacio-Tierra)	2
	Entre satélites	3
182-185 GHz	Móvil	2, 3
	Radiolocalización	2, 3
	Entre satélites	3
	ISM	3
217-231 GHz	Móvil	3
	Radioaficionados	3
	Radioaficionados por satélite	3
	Radiolocalización	3
265-275 GHz	Entre satélites	2
	Móvil	2
	Móvil por satélite	2
	Radionavegación	2
	Radionavegación por satélite	2
	Radiolocalización	2

(1) Atribución secundaria.

3. Emisiones no deseadas causadas por modulación de banda ancha

En ciertos tipos de transmisión, 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 de 2 estados (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 a 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 densidad de flujo de potencia, incluso en la banda 1 400-1 427 MHz, en la ubicación del receptor que estaría 40 dB por encima del umbral de interferencia perjudicial del cuadro 1 de la Recomendación 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 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 servicio de radioastronomía. 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 umbrales perjudiciales de la densidad de flujo de potencia de señales artificiales que están dentro de la banda de radioastronomía figuran en el anexo 1 a la Recomendación 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 permitirá 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° en el esquema de modulación MDP-2, sino más suavemente, para producir un espectro de potencia de la forma $(\sin x/x)^n$ con $n > 2$. Deben efectuarse estudios detallados para determinar la forma en que los distintos esquemas de modulación afectan a la eficacia de dichos esquemas activos y suprimen las bandas laterales alejadas que son adversas para el servicio de radioastronomía.

4. Interferencias causadas por transmisiones procedentes de satélites

Las transmisiones desde satélites, en particular las de radiodifusión sonora y de televisión, pueden causar graves interferencias a la radioastronomía. Dada la naturaleza de los sistemas de radiodifusión por satélite, resultarán iluminadas vastas zonas de la Tierra y existirán las condiciones de visión en línea directa. Las fuentes terrenales interferentes se encuentran normalmente en la región de los lóbulos laterales más lejanos de los radiotelescopios, mientras que las transmisiones desde satélites pueden recibirse también en el haz principal y en los lóbulos laterales próximos, con una ganancia considerablemente mayor. Por ejemplo, para ángulos de hasta 5° con respecto al haz principal la ganancia puede ser 25 dB más alta que en la región de los lóbulos laterales más alejados (véase la Recomendación 509).

Los satélites geoestacionarios que se encuentran por encima del horizonte de cualquier observatorio pueden ser particularmente perjudiciales. El radio de la órbita de los satélites geoestacionarios es aproximadamente 6,6 veces el radio de la Tierra. En la fig. 1 se representa la posición de la órbita en coordenadas celestes tal como se contempla desde las latitudes de cierto número de observatorios de radioastronomía importantes. Con la puesta en servicio de numerosos satélites geoestacionarios pudiera producirse un grave problema de interferencia a las observaciones radioastronómicas. La solución de este problema entraña evidentemente un compromiso entre la zona del firmamento que se pierde para las observaciones radioastronómicas y la dificultad de suprimir las emisiones no deseadas procedentes de los satélites. Al considerar la zona del firmamento que se pierde para las observaciones radioastronómicas debe señalarse que la fig. 1 indica que si pueden hacerse observaciones dentro de una distancia angular de unos 5° con respecto a la órbita de los satélites geoestacionarios, puede observarse el firmamento en todas las direcciones al menos desde un observatorio existente, siempre que esté convenientemente equipado.

El análisis presentado de la radiación procedente de satélites geoestacionarios se basa en la hipótesis de que las órbitas de estos satélites están situadas en el plano ecuatorial de la Tierra. El efecto de la inclinación orbital dependerá de la distribución de los ángulos de inclinación de estos satélites geoestacionarios cuyas transmisiones son posibles fuentes de interferencia a la radioastronomía. Este efecto requiere ulterior estudio.

Además de los satélites geoestacionarios, cabe esperar un aumento del número de satélites no geoestacionarios utilizados por algunos servicios activos. El carácter de dicho problema orbital se hace más complejo a medida que los radiotelescopios tienen que hacer sus observaciones a través de un entramado de redes de satélite. Los servicios activos prevén la utilización creciente de dichos satélites (por ejemplo, los satélites de radionavegación y los satélites en órbita terrena baja del servicio móvil por satélite). Los numerosos estudios que se están realizando para disminuir los niveles de los lóbulos laterales de los actuales y futuros radiotelescopios, pueden verse frustrados por la proliferación de satélites no geoestacionarios. No sólo se reduce considerablemente la zona del firmamento accesible a los radioastrónomos, sino que también puede llegar a ser imposible programar en la práctica el horario de observaciones radioeléctricas. Este problema requiere un ulterior estudio.

FIGURA 1

Proyección de la órbita de los satélites geoestacionarios en la esfera celeste

