

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R M.1831-1**  
(09/2015)

**Metodología de coordinación para estimar la  
interferencia entre sistemas del servicio  
de radionavegación por satélite**

**Serie M**

**Servicios móviles, de radiodeterminación,  
de aficionados y otros servicios  
por satélite conexos**



## 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>	<b>Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos</b>
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radioastronomía
<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, 2016

© UIT 2016

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 M.1831-1

**Metodología de coordinación para estimar la interferencia entre sistemas del servicio de radionavegación por satélite**

(Cuestión 217-2/4 del UIT-R)

(2007-2015)

**Cometido**

En esta Recomendación se presenta la metodología para estimar la interferencia entre sistemas del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) que se ha de utilizar para la coordinación entre sistemas y redes del SRNS. Dado que la Resolución **610 (CMR-03)** se aplica a todos los sistemas y redes del SRNS y contiene mediciones previstas para facilitar la determinación de la compatibilidad entre sistemas del SRNS, la presente Recomendación se aplica al SRNS en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz.

**Palabras clave**

Estimación de la interferencia entre sistemas, metodología de coordinación, SRNS

**Abreviaturas/Glosario**

ADC Conversor de señal analógica a digital

AGC Control automático de ganancia

PRN Ruido pseudoaleatorio

SSC Coeficiente de separación espectral

**Recomendaciones e Informes de la UIT conexos**

- Recomendación UIT-R M.1318-1 Modelo de evaluación de interferencias continuas causadas por otras fuentes radioeléctricas distintas a las del servicio de radionavegación por satélite a los sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz
- Recomendación UIT-R M.1787-2 Descripción de sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra y espacio-espacio) y características técnicas de estaciones espaciales transmisoras que funcionan en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz
- Recomendación UIT-R M.1901-1 Directrices sobre Recomendaciones del UIT-R relativas a sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite que funcionan en las bandas de frecuencias 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz y 5 010-5 030 MHz
- Recomendación UIT-R M.1902-0 Características y criterios de protección de las estaciones terrenas receptoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 215-1 300 MHz
- Recomendación UIT-R M.1903-0 Características y criterios de protección de las estaciones terrenas receptoras del servicio de radionavegación por satélite

(espacio-Tierra) y de los receptores del servicio de radionavegación aeronáutica que funcionan en la banda 1 559-1 610 MHz

- Recomendación UIT-R M.1904-0 Características, requisitos de calidad de funcionamiento y criterios de protección de las estaciones receptoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-espacio) que funcionan en las bandas de frecuencias 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz
- Recomendación UIT-R M.1905-0 Características y criterios de protección de las estaciones terrenas receptoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 1 164-1 215 MHz
- Recomendación UIT-R M.1906-1 Características y criterios de protección de las estaciones espaciales receptoras y características de las estaciones terrenas transmisoras del servicio de radionavegación por satélite (Tierra-espacio) que funcionan en la banda 5 000-5 010 MHz
- Recomendación UIT-R M.2030-0 Modelo de evaluación de la interferencia impulsiva causada por fuentes radioeléctricas pertinentes distintas de las del servicio de radionavegación por satélite a sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite que funcionan en las bandas de frecuencias 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz
- Recomendación UIT-R M.2031-1 Características y criterios de protección de las estaciones terrenas receptoras y características de las estaciones espaciales transmisoras del servicio de radionavegación por satélite (espacio-Tierra) que funcionan en la banda 5 010-5 030 MHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que los sistemas y redes del servicio de radionavegación por satélite (SRNS) proporcionan en todo el mundo información exacta para numerosas aplicaciones de determinación y temporización, incluidas las más importantes relacionadas con la seguridad de la vida humana;
- b) que la CMR-03 adoptó nuevas atribuciones para el SRNS y amplió las existentes;
- c) que toda estación terrena adecuadamente equipada puede recibir información de navegación desde sistemas y redes del SRNS en todo el mundo;
- d) que hay diversos sistemas y redes del SRNS operativos y planificados y que el número de notificaciones que recibe la Oficina de Radiocomunicaciones relativas al SRNS para utilizar las atribuciones a dicho servicio va en aumento;
- e) que se han elaborado métodos que pueden utilizarse a la hora de realizar la coordinación y que establezcan una base común para estimar la interferencia que se causan dichos sistemas y redes del SRNS entre sí,

*reconociendo*

- a) que las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz están atribuidas a título primario al SRNS (espacio-Tierra y espacio-espacio);
- b) que las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz también están atribuidas a título primario a otros servicios;

- c) que la Recomendación UIT-R M.1901 proporciona orientación sobre esta y otras Recomendaciones UIT-R relativas a sistemas y redes del SRNS que funcionan en las bandas de frecuencias 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz y 5 010-5 030 MHz;
- d) que las características técnicas y operativas de los receptores de sistemas y redes del SRNS (espacio-Tierra y espacio-espacio) en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz y 5 010-5 030 MHz, y los correspondientes criterios de protección, se facilitan en las Recomendaciones UIT-R M.1905, UIT-R M.1902, UIT-R M.1903, UIT-R M.1904, UIT-R M.1906 y UIT-R M.2031;
- e) que las características técnicas y operativas de los transmisores de sistemas y redes del SRNS (Tierra-espacio, espacio-Tierra y espacio-espacio) en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz, 5 000-5 010 MHz y 5 010-5 030 MHz se facilitan en las Recomendaciones UIT-R M.1787, UIT-R M.1906 y UIT-R M.2031;
- f) que la Recomendación UIT-R M.1318 presenta un modelo para evaluar la interferencia causada por fuentes ambientales a los sistemas del SRNS en las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz;
- g) que la Recomendación UIT-R M.2030 presenta un modelo de evaluación de la interferencia impulsiva causada por fuentes radioeléctricas pertinentes distintas de las del SRNS a los sistemas y redes del SRNS que funcionan en las bandas de frecuencias 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz y 1 559-1 610 MHz;
- h) que el número **4.10** del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) establece que los aspectos de seguridad del SRNS «requieren medidas especiales para garantizar que estén libres de interferencia perjudicial»;
- i) que, en virtud del número **5.328B** del RR, la utilización de las bandas 1 164-1 215 MHz, 1 215-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz por los sistemas y redes del SRNS sobre los cuales la Oficina de Radiocomunicaciones haya recibido la información de coordinación o notificación completa, según el caso, después del 1 de enero de 2005 está sujeta a las disposiciones de los números **9.12**, **9.12A** y **9.13** del RR, y que se están planificando estudios para determinar otros métodos y criterios que faciliten dicha coordinación;
- j) que, en virtud del número **9.7** del RR, las estaciones del SRNS que utilicen la órbita de satélites geoestacionarios están sujetas a la coordinación con otras estaciones del mismo tipo, y que se están planificando estudios para determinar otros métodos y criterios que faciliten dicha coordinación,

*reconociendo además*

que la Resolución **610 (CMR-03)** se aplica a todos los sistemas y redes del SRNS en las bandas mencionadas en el *reconociendo a)*, y contiene mediciones destinadas a facilitar la determinación de la compatibilidad entre sistemas del SRNS,

*recomienda*

**1** que, a la hora de realizar la coordinación entre sistemas del SRNS que utilicen o tenga previsto utilizar una o más de las bandas de frecuencias identificadas en el *reconociendo a)*, se emplee la metodología expuesta en el Anexo 1 (véase la Nota 1);

**2** que los operadores de sistemas del SRNS tengan en cuenta antes y durante la coordinación del SRNS las directrices que se presentan en los Anexos 2 y 3.

NOTA 1 – Es posible que la metodología del Anexo 1 sea difícil de aplicar a sistemas del SRNS AMDF multisatélite. En tal caso, puede aplicarse el Anexo 2.

## Anexo 1

## Método para estimar la interferencia entre sistemas y redes del SRNS

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1	Introducción..... 5
2	Método de análisis de la interferencia ..... 5
3	Datos utilizados en los cálculos..... 9
3.1	Modelos de constelación y transmisor de satélite..... 9
3.2	Modelo de receptor de usuario..... 10
3.3	Modelo de interferencia y ruido ..... 10
4	Método de simulación para el cálculo de $G^{agg}$ ..... 11
5	Ejemplo teórico de aplicación del método ..... 15
5.1	Evaluación de los niveles de interferencia..... 15
5.2	Evaluación de las relaciones portadora/ruido efectivas y la degradación correspondiente..... 17
6	Modelización y características del espectro de código corto del SRNS..... 19
6.1	Ejemplo de espectro de código PRN corto del RNSS ..... 20
6.2	Aspectos generales del modelo dinámico detallado para los códigos PRN cortos del SRNS..... 21
7	Conclusión..... 21

## 1 Introducción

Este método pretende proporcionar una técnica de estimación de la interferencia entre sistemas y redes del SRNS. Por consiguiente, resulta útil para realizar la coordinación entre sistemas del SRNS. (Por mor de brevedad, se entenderá en adelante que «sistemas» engloba los «sistemas y redes».) Este método se aplica a sistemas del SRNS que utilizan acceso múltiple por división de código (AMDC) y acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF) para poder compartir las bandas del SRNS, y reconoce que no basta simplemente con sumar la densidad de potencia de transmisión para determinar qué efecto tendrá un sistema del SRNS en los demás. Contrariamente a los sistemas del SRNS AMDC, que normalmente sólo tienen una portadora por banda ocupada, los sistemas AMDF tienen diversas portadoras en una sola banda ocupada. Es posible que no sea posible aplicar el siguiente método a cada una de las frecuencias portadoras que utilizan un Sistema AMDF multisatélite.

## 2 Método de análisis de la interferencia

Por norma general, la relación de densidad portadora/ruido efectiva después del correlador,  $C/N'_0$ , se utiliza para medir el efecto de la interferencia procedente de varias fuentes en la calidad de funcionamiento operativa de los receptores en cuestión.  $C/N'_0$  depende del receptor, la antena y el ruido externo de fuentes distintas a las del SRNS. Sin embargo, se utiliza para evaluar la interferencia entre sistemas del SRNS.

$C/N'_0$  en caso de interferencia continua<sup>1</sup>,  $C/N'_0$  se obtiene con la fórmula:

$$\frac{C}{N'_0} = \frac{C}{\nu N_0 + I_{ref} + I_{int} + I_{ext}} \quad (1)$$

donde:

- $C$ : potencia de la señal deseada (W) después del correlador recibida del satélite en la constelación de referencia, incluida cualquier pérdida de procesamiento pertinente<sup>2</sup>
- $N_0$ : densidad espectral de potencia de ruido térmico antes del correlador recibida (W/Hz)
- $N'_0$ : densidad espectral de potencia de ruido térmico efectiva del receptor después del correlador (W/Hz)
- $I_{ref}$ : densidad espectral de potencia de ruido blanco efectiva después del correlador (W/Hz) debida a la interferencia combinada de todas las señales, excepto la deseada, transmitida por todos los satélites visibles de la constelación de referencia, incluidas las pérdidas de procesamiento pertinentes

<sup>1</sup> En presencia de una interferencia impulsiva importante, ha de modificarse la ecuación (1). La interferencia impulsiva reduce la relación señal/ruido al suprimir la señal deseada e incrementar el ruido de fondo efectivo.

<sup>2</sup> Las *pérdidas de procesamiento pertinentes* comprenden las ganancias de las antenas del transmisor y el receptor, la pérdida en el receptor, como las pérdidas de filtrado y cuantización, y las pérdidas por desadaptación entre la señal recibida y el código de referencia.

- $I_{int}$ : densidad espectral de potencia de ruido blanco efectiva después del correlador (W/Hz) debida a la interferencia combinada de todas las señales transmitidas en la banda de frecuencias en cuestión por todos los satélites visibles del SRNS distintos de los de la constelación de referencia, incluidas las pérdidas de procesamiento pertinentes
- $I_{ext}$ : densidad espectral de potencia de ruido blanco efectiva después del correlador (W/Hz) debida a la interferencia combinada de todas las señales radioeléctricas distintas de las del SRNS, incluidas las pérdidas de procesamiento pertinentes
- $v$ : factor de ruido térmico efectivo adimensional, que se obtiene con la ecuación:

$$v = \int_{-\infty}^{\infty} |\overline{H}(f)|^2 S(f) df$$

$\overline{H}(f)$ : función de transferencia equivalente normalizada en la frecuencia  $f$  (Hz), que se obtiene con la ecuación:

$$\overline{H}(f) = \frac{H(f)}{\max_{\gamma} |H(\gamma)|}$$

- $H(f)$ : función de transferencia del filtro del receptor equivalente (adimensional) en la frecuencia  $f$  (Hz), que representa todo el filtrado desde la entrada del receptor antes del correlador
- $S(f)$ : densidad espectral de potencia bilateral equivalente ideal (W/Hz) en la frecuencia  $f$  (Hz) de la señal deseada antes del correlador sin filtrar, normalizada a la unidad de potencia en una anchura de banda infinita y que se calcula asumiendo códigos de dispersión aleatorios
- $\gamma$ : variable ficticia.

En ausencia de ruido exterior, el nivel de ruido térmico efectivo del receptor después del correlador se reduce a  $N'_0 = vN_0$ . Además, si  $H$  representa un filtro de banda de paso ideal con un ancho de banda de  $B_R$  (en lugar de la función de transferencia de magnitud detallada del filtro del extremo receptor),  $v$  se simplifica a:

$$v = \int_{-B_R/2}^{B_R/2} S(f) df \leq \int_{-\infty}^{\infty} S(f) df = 1$$

Cabe señalar que  $I_{int}$  (W/Hz) puede desglosarse aún más para considerar la interferencia debida a un sistema del SRNS específico:

$$I_{int} = I_{alt} + I_{rem}$$

donde:

- $I_{alt}$ : densidad espectral de potencia de ruido efectiva después del correlador (W/Hz) debida a la interferencia combinada de todas las señales transmitidas por la banda de frecuencias en cuestión por todos los satélites visibles de una constelación «alternativa» específica

$I_{rem}$ : densidad espectral de potencia de ruido efectiva después del correlador (W/Hz) debida a la interferencia combinada de todas las señales transmitidas por la banda de frecuencias en cuestión por todos los satélites visibles del SRNS «restantes», es decir, lo que no pertenecen ni a la constelación de referencia ni a la constelación alternativa.

Para calcular las densidades espectrales de potencia de ruido efectiva, se define el coeficiente de separación espectral  $\beta$  (en unidades de 1/Hz) de una señal interferente a partir de la  $n$ -ésima señal del  $m$ -ésimo satélite hasta la señal deseada,  $x$ , de la siguiente manera:

$$\int \beta_{m,n}^x = \int_{-\infty}^{\infty} |\overline{H}(f)|^2 \overline{S}_x(f) \overline{S}_{m,n}(f) df \quad (2)$$

donde:

$\overline{S}_x(f)$ : densidad de potencia bilateral (W/Hz) normalizada (unidad en la anchura de banda de transmisión) en la frecuencia  $f$  (Hz) de la señal deseada:

$$\overline{S}_x(f) = \begin{cases} \frac{S_x(f)}{B_{TD}/2} & |f| \leq B_{TD}/2 \\ \int_{-B_{TD}/2}^{B_{TD}/2} S_x(\gamma) d\gamma & \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$B_{TD}$ : anchura de banda de transmisión (Hz) en que se define la potencia de la señal deseada

$S_x(f)$ : densidad espectral de potencia bilateral (W/Hz) en la frecuencia  $f$  (Hz) de la señal deseada sin filtrar

$\overline{S}_{m,n}(f)$ : densidad espectral de potencia bilateral normalizada (a la unidad en la anchura de banda de transmisión) (W/Hz) en la frecuencia  $f$  (Hz) de la  $n$ -ésima señal interferente del  $m$ -ésimo satélite de una constelación:

$$\overline{S}_{m,n}(f) = \begin{cases} \frac{S_{m,n}(f)}{B_T/2} & |f| \leq B_T/2 \\ \int_{-B_T/2}^{B_T/2} S_{m,n}(\gamma) d\gamma & \text{y} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$S_{m,n}(f)$ : densidad espectral de potencia bilateral (W/Hz) en la frecuencia  $f$  (Hz) de la  $n$ -ésima señal interferente sin filtrar del  $m$ -ésimo satélite de una constelación

$B_T$ : anchura de banda de transmisión (Hz) en que se define la potencia de la señal interferente.

En la ecuación (2) se asume implícitamente que las señales del SRNS moduladas con código de ruido pseudoaleatorio (PRN), representadas por  $S$ , pueden aproximarse como un espectro continuo en el espectro de interferencia combinada. Sin embargo, no puede decirse lo mismo de ciertas señales con códigos PRN «cortos». Pueden encontrarse más detalles al respecto en el § 6.

Sean:

- $M_{ref}$ : número de satélites visibles en la constelación de satélites de referencia
- $N_{ref,m}$ : número de señales interferentes (excluida la señal deseada del satélite deseado) que transmite el  $m$ -ésimo satélite de la constelación de satélites de referencia
- $M_{alt}$ : número de satélites del SRNS visibles de la constelación de satélites alternativa
- $N_{alt,m}$ : número de señales interferentes transmitidas por el  $m$ -ésimo satélite de la constelación de satélites alternativa (que puede suponerse que es idéntico para todos los satélites de la constelación alternativa si se pone a cero la potencia de la señal ausente)
- $M_{rem}$ : número de satélites del SRNS visibles que no pertenecen a la constelación de satélites de referencia ni a la constelación de satélites alternativa
- $N_{rem,m}$ : número de señales interferentes transmitidas por el  $m$ -ésimo satélite que no pertenece a la constelación de referencia ni a la constelación alternativa
- $P_{m,n}^{ref}$ : potencia interferente máxima (W) de la  $n$ -ésima señal interferente del  $m$ -ésimo satélite de la constelación de referencia
- $L_{m,n}^{ref}$ : la pérdida de procesamiento (adimensional) de la  $n$ -ésima señal interferente del  $m$ -ésimo satélite de la constelación de referencia
- $P_{m,n}^{alt}$ : potencia interferente máxima (W) de la  $n$ -ésima señal del  $m$ -ésimo satélite de la constelación alternativa
- $L_{m,n}^{alt}$ : pérdida de procesamiento (adimensional) de la  $n$ -ésima señal del  $m$ -ésimo satélite de la constelación alternativa
- $P_{m,n}^{rem}$ : potencia interferente máxima (W) de la  $n$ -ésima señal del  $m$ -ésimo satélite de las constelaciones del SRNS restantes
- $L_{m,n}^{rem}$ : pérdida de procesamiento (adimensional) de la  $n$ -ésima señal del  $m$ -ésimo satélite de las constelaciones del SRNS restantes.

Con estas definiciones se pueden elaborar ecuaciones para calcular la densidad espectral de potencia interferente efectiva que se recibirá de la constelación de referencia, la constelación alternativa y las demás constelaciones, como sigue:

$$I_{ref} = \sum_{m=1}^{M_{ref}} \sum_{n=1}^{N_{ref,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{ref}}{L_{m,n}^{ref}} \quad (3)$$

$$I_{alt} = \sum_{m=1}^{M_{alt}} \sum_{n=1}^{N_{alt,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{alt}}{L_{m,n}^{alt}} \quad (4)$$

$$I_{rem} = \sum_{m=1}^{M_{rem}} \sum_{n=1}^{N_{rem,m}} \frac{\beta_{m,n}^x P_{m,n}^{rem}}{L_{m,n}^{rem}} \quad (5)$$

Con las ecuaciones (1) a (5) puede calcularse la relación de densidad portadora/ruido efectiva,  $C/N'_0$ , que puede entonces compararse con un umbral de  $C/N'_0$  basado en el modo del receptor, la adquisición del código, el rastreo del código, el rastreo de la portadora y la demodulación de los datos para medir el efecto de la interferencia.

Pueden utilizarse otros métodos basados en la relación portadora/ruido efectiva,  $C/N'_0$ , incluida su degradación debida a una única constelación alternativa específica. También puede tenerse en cuenta el grado de compatibilidad entre señales o las propiedades específicas de correlación cruzada del código entre sistemas. En el § 5.2 se muestran ejemplos de aplicación de estos métodos.

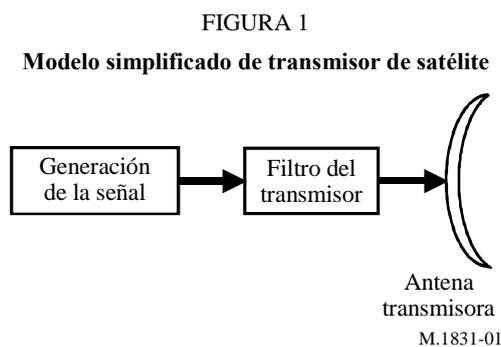
### 3 Datos utilizados en los cálculos

Con frecuencia, los datos de los cálculos se habrán medido, se habrán determinado mediante simulaciones o se habrán ajustado para ser coherentes con la realidad. Además, el cálculo de estos valores para cada satélite y cada señal se suele simular para un periodo de tiempo y una zona dados, y a partir de lo cual se obtienen los valores de interferencia entre sistemas que se van a tener en cuenta.

En las siguientes subcláusulas se dan más detalles sobre cómo se pueden obtener datos para los cálculos.

#### 3.1 Modelos de constelación y transmisor de satélite

Los modelos dinámicos de simulación de constelaciones, con los respectivos parámetros orbitales, se utilizan para determinar los niveles de potencia recibida de la señal deseada y las señales interferentes. En la Fig. 1 se muestra un modelo simplificado de transmisor de satélite.



##### 3.1.1 Niveles de señal recibida del caso más desfavorable

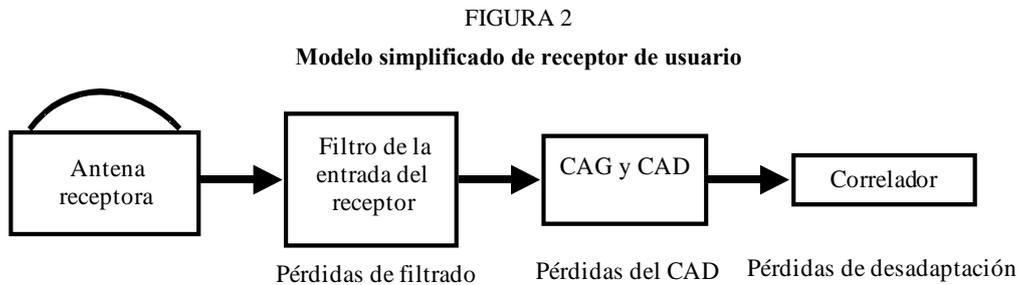
Para el cálculo de la interferencia del caso más desfavorable se toma la señal deseada con la potencia mínima y la señal interferente con la potencia máxima. Esto comprende todas las señales del SRNS de la constelación de referencia a excepción de la señal deseada.

##### 3.1.2 Coeficientes de separación espectral ( $\beta$ )

Los valores de  $\beta$  se calculan asumiendo las anchuras de banda de transmisión y de recepción. Cabe señalar que los valores calculados con la ecuación (2) pueden ser inferiores a los reales, por ejemplo, cuando se utilizan códigos PRN «cortos» (véase el § 6). Esto se debe a la estructura de línea espectral relativamente más gruesa de los códigos PRN «cortos», que quizá no se puedan representar exactamente mediante la función de densidad espectral de potencia continua de la ecuación (2).

### 3.2 Modelo de receptor de usuario

En la Fig. 2 se muestra el modelo de receptor de usuario. La antena del receptor, cuya salida es la entrada del filtro de la entrada del receptor, recibe tanto señales deseadas como interferentes. El bucle de control automático de ganancia (CAG) mantiene el voltaje de entrada al conversor de analógico a digital (CAD) dentro de la gama dinámica del CAD. La correlación se realiza utilizando la señal recibida y una señal generada localmente adaptada a la señal transmitida antes del filtrado de transmisión. Todas las pérdidas, en particular las pérdidas de filtrado, CAD y desadaptación del correlador, se agrupan en un único factor de pérdida. No obstante, las pérdidas de la señal deseada pueden diferir de las de las señales interferentes.



M.183102

### 3.3 Modelo de interferencia y ruido

Los parámetros de la señal de navegación se expresan en términos de velocidad de datos, velocidad de segmentos del código PRN y otras características del código y tipos de modulación. Se utiliza una aproximación del espectro continuo para crear un modelo del espectro combinado de las señales interferentes recibidas, a excepción de los códigos con periodo corto para los cuales se tiene en cuenta la naturaleza de línea espectral del código.

También puede tenerse en cuenta la ubicación del usuario midiendo la potencia interferente en todos los puntos de la tierra durante un periodo de 24 horas. Para un determinado tipo de señal del SRNS interferente, se calcula el nivel de interferencia combinada máxima de ese tipo y se compara con la potencia interferente máxima por satélite de una única señal interferente de ese tipo a fin de obtener un factor de ganancia combinada ( $G^{agg}$ ). Dicho de otro modo,  $G^{agg}$ , toma la potencia máxima de una sola señal de un tipo de señal SRNS y es el incremento necesario para relacionar esa potencia con la potencia de todas las señales interferentes de ese tipo. Por consiguiente, este factor toma en consideración todas las otras señales del mismo tipo, así como la variación de la ganancia de la antena hacia todos los satélites que transmiten ese tipo de señal.

En la práctica, puede calcularse el valor  $G^{agg}$  para una única señal de una constelación dada, como se muestra en el § 4, y aplicarlo a continuación a todas las señales de esa constelación o ser objeto de las negociaciones de coordinación. Otros valores de interferencia pueden simplificarse del mismo modo.

Por norma general el modelo de la interferencia procedente de fuentes de banda extensa externas se realiza a partir de una fuente de ruido con un valor de densidad espectral de potencia de ruido equivalente,  $I_{ext}$ . Se pretende que este término represente todas las fuentes radioeléctricas distintas del SRNS y puede incluir la interferencia en banda o fuera de banda de otros servicios de radiocomunicaciones.

Es necesario definir otros métodos para la interferencia de banda estrecha y la interferencia impulsiva.

#### 4 Método de simulación para el cálculo de $G^{agg}$

La densidad espectral de potencia interferente combinada después del correlador, designada por  $k$ , de todos los satélites de un sistema del SRNS hacia un receptor en una ubicación dada,  $i$ , puede expresarse en términos de coeficiente de separación espectral, potencia de transmisión, ganancia de antena transmisora/receptora, pérdida de trayecto y pérdida de procesamiento, de la siguiente manera:

$$I_{i,k}(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} \left[ G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m} \sum_{n=1}^{N_m} \frac{\beta_{m,n}^k P_{m,n}}{L_{k,n}} \right] - G_{0,k}^T(t) G_{0,k}^R(t) \alpha_{k,0}(t) \cdot \frac{\beta_{0,k}^k P_{0,k}}{L_{k,k}} \quad (6)$$

donde:

- $i$ : índice del receptor
- $k$ : índice del tipo de señal deseada
- $t$ : tiempo durante el cual se calcula la potencia interferente combinada
- $M_i^S(t)$ : número de satélites del SRNS visibles en la  $i$ -ésima ubicación del receptor en el tiempo  $t$
- $m$ : índice de la suma de los satélites visibles y  $m = 0$  para el índice del satélite de la señal deseada
- $G_{i,m}^T$ : ganancia de la antena transmisora (adimensional) (con respecto a la isotropa) del  $m$ -ésimo satélite con respecto a la  $i$ -ésima ubicación del receptor
- $G_{i,m}^R$ : ganancia de la antena receptora (adimensional) (con respecto a la isotropa) de la  $i$ -ésima ubicación del receptor con respecto al  $m$ -ésimo satélite
- $\alpha_{i,m}$ : pérdida de trayecto (adimensional) entre el  $m$ -ésimo satélite y la  $i$ -ésima ubicación del receptor
- $N_m$ : número total de tipos de señal del  $m$ -ésimo satélite
- $\beta_{m,n}^k$ : coeficiente de separación espectral (1/Hz) entre el  $k$ -ésimo tipo de señal y el  $n$ -ésimo tipo de señal del  $m$ -ésimo satélite
- $P_{m,n}$ : potencia de transmisión (W) de la  $n$ -ésima señal del  $m$ -ésimo satélite
- $L_{k,n}$ : pérdida de procesamiento (adimensional) del  $n$ -ésimo tipo de señal (cuando el  $k$ -ésimo tipo de señal es la señal deseada).

En la ecuación (6), el primer término es la suma de todas las densidades espectrales de potencia de todos los satélites visibles y de todas las señales, incluida la señal deseada del satélite deseado; mientras que el segundo término es la densidad espectral de potencia de la señal deseada del satélite deseado.

Como puede verse a partir de la ecuación (6), la densidad espectral de potencia causa un aumento del ruido térmico de fondo.  $I_{i,k}(t)$  es una función del tiempo, la ubicación del usuario y el coeficiente de separación espectral.  $I_{i,k}(t)$  puede determinarse directamente empleando un software de simulación de constelación para todos y cada uno de los casos de interferencia a fin de determinar la interferencia resultante. Lleva demasiado tiempo y trabajo realizar este cálculo realizando una simulación de constelación cada vez que se ha de realizar un análisis de interferencia. Conviene disponer de un único factor que pueda utilizarse repetidamente en los análisis de interferencia sin tener que realizar una simulación de constelación para cada caso. Este factor puede derivarse de los modelos de simulación, lo que evita calcular repetidamente  $I_{i,k}(t)$ . Este factor se denomina factor de ganancia combinada,  $G^{agg}$ , y puede obtenerse fijando un límite superior en la ecuación (6) a partir

del caso más desfavorable. Con este factor se exagera la interferencia en la mayoría de los casos, pero también se garantiza que no se sobrepasará el nivel umbral de interferencia calculado.

El  $G^{agg}$  para un tipo de señal concreto puede deducirse de la siguiente manera:

- a) En cada punto del espacio, designado por  $i$ , (generalmente en la superficie de la Tierra o cerca de la misma) la potencia interferente recibida ( $W$ ) en la  $i$ -ésima ubicación de receptor puede expresarse como:

$$P_i^R(t) = \sum_{m=0}^{M_i^S(t)} G_{i,m}^T(t) G_{i,m}^R(t) \alpha_{i,m}(t) P_m \quad (7)$$

Obsérvese que, para simplificar, en la ecuación (7) no se incluye el índice de tipo de señal deseada,  $k$ , y se tienen en cuenta en adelante las pérdidas de procesamiento,  $L_m$ , (véase la ecuación (9)). Si la señal deseada y las señales interferentes son del mismo tipo, es necesario aportar un pequeño ajuste a la ecuación (7) sustrayendo la potencia de la señal deseada de la ecuación (7).

- b) Entonces, se puede decir que, para cada ubicación de receptor, la ecuación de  $G^{agg}$  (adimensional) es:

$$G^{agg} = \frac{\max_{all i} \left[ \max_{all t} \left( P_i^R(t) \right) \right]}{P_{max}^R} \quad (8)$$

$P_{max}^R$  es la máxima potencia de la señal ( $W$ ) del tipo de señal interferente en cuestión de cualquier satélite en la salida de la antena del receptor de referencia y antes del filtro RF del receptor en todas las ubicaciones de receptor indizadas. Cabe señalar que la antena receptora de referencia (de un sistema concreto) puede ser una antena anisótropa adecuada. Es posible que este tipo de antena no esté adaptada a la polarización del tipo de señal recibida, lo que causa una atenuación adicional.  $G^{agg}$  se calcula con la ecuación (8) para todos los tipos de señal interferente.

La  $G^{agg}$  resultante es el valor más desfavorable de todas las ubicaciones de receptor utilizadas en el cálculo. Este valor se utiliza por tanto para representar la  $G^{agg}$  más desfavorable de todas las ubicaciones de usuario utilizadas en el cálculo de interferencia (para el tipo de señal deseada).

La densidad espectral de potencia de la interferencia causada por todas las señales SRNS de todos los satélites del SRNS visibles,  $I_0$  ( $W/Hz$ ), puede tener el siguiente límite máximo:

$$I_0 \leq \sum_{n=1}^N \frac{G_n^{agg} \beta_n P_{máx,n}^R}{L_n} \quad (9)$$

donde  $\beta_n$  es el coeficiente de separación espectral entre la señal deseada y el  $n$ -ésimo tipo de señal y  $L_n$  es la pérdida de procesamiento entre la señal deseada y el  $n$ -ésimo tipo de señal. Obsérvese asimismo que los factores de pérdida de trayecto,  $\alpha_{i,m}$ , se absorben en los factores  $G^{agg}$  y la potencia máxima de la señal recibida,  $P_{máx,n}^R$ , se utilizan en lugar de la potencia de la señal transmitida.

A título de ejemplo, se realiza una simulación utilizando el modelo de propagación orbital de la Recomendación UIT-R M.1642. Se tomó una constelación de 27 satélites con los parámetros orbitales del Cuadro 1. En la Fig. 3 se muestra el nivel de potencia recibida como función del ángulo de elevación, y en la Fig. 4 el diagrama de la antena receptora. La potencia máxima durante

un periodo de 24 h en cada ubicación (en escalones de 5° de latitud y longitud) se presenta en la Fig. 5. Para una potencia máxima de la señal recibida de  $-153$  dBW, el factor de ganancia combinada en todas las ubicaciones de receptor es  $-142,0 - (-153) = 11,0$  dB.

CUADRO 1

## Parámetros orbitales del ejemplo

ID del satélite	Radio orbital (km)	Excentricidad	Inclinación (grados)	Ascensión recta (grados)	Argumento del perigeo (grados)	Anomalía media (grados)
1	26559,8	0	55	58,21285	0	6,33
2	26559,8	0	55	58,21285	0	134,62
3	26559,8	0	55	58,21285	0	234,13
4	26559,8	0	55	58,21285	0	269,42
5	26559,8	0	55	118,21285	0	30,39
6	26559,8	0	55	118,21285	0	61,53
7	26559,8	0	55	118,21285	0	152,22
8	26559,8	0	55	118,21285	0	176,92
9	26559,8	0	55	118,21285	0	289,68
10	26559,8	0	55	178,21285	0	90,83
11	26559,8	0	55	178,21285	0	197,11
12	26559,8	0	55	178,21285	0	227,99
13	26559,8	0	55	178,21285	0	322,09
14	26559,8	0	55	238,21285	0	0,00
15	26559,8	0	55	238,21285	0	28,67
16	26559,8	0	55	238,21285	0	131,04
17	26559,8	0	55	238,21285	0	228,26
18	26559,8	0	55	238,21285	0	255,7
19	26559,8	0	55	298,21285	0	56,33
20	26559,8	0	55	298,21285	0	165,07
21	26559,8	0	55	298,21285	0	267,07
22	26559,8	0	55	298,21285	0	293,95
23	26559,8	0	55	358,21285	0	68,43
24	26559,8	0	55	358,21285	0	99,32
25	26559,8	0	55	358,21285	0	201,63
26	26559,8	0	55	358,21285	0	320,60
27	26559,8	0	55	358,21285	0	349,16

FIGURA 3  
Ejemplo de potencia terrenal recibida como función de la elevación

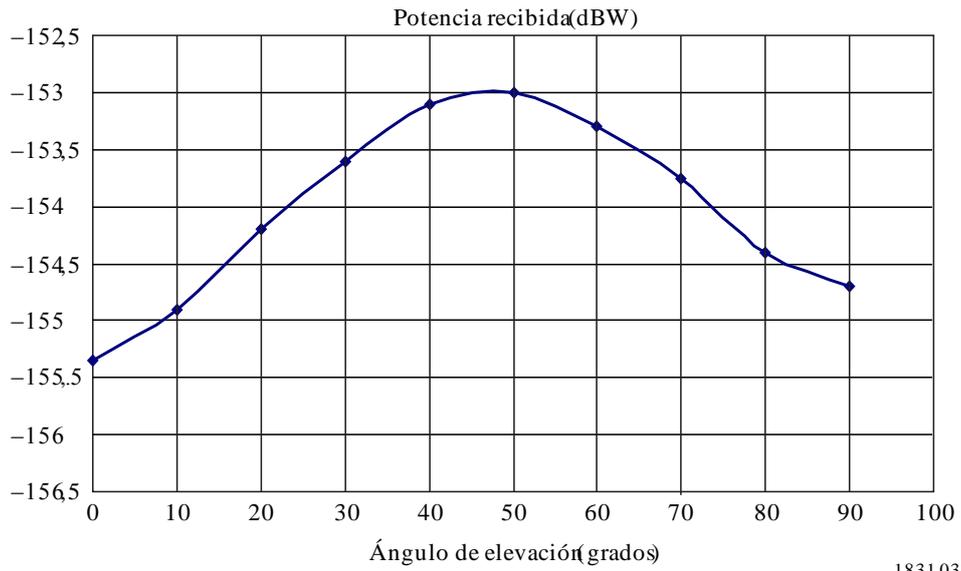


FIGURA 4  
Ejemplo de ganancia de la antena receptora como función del ángulo de elevación

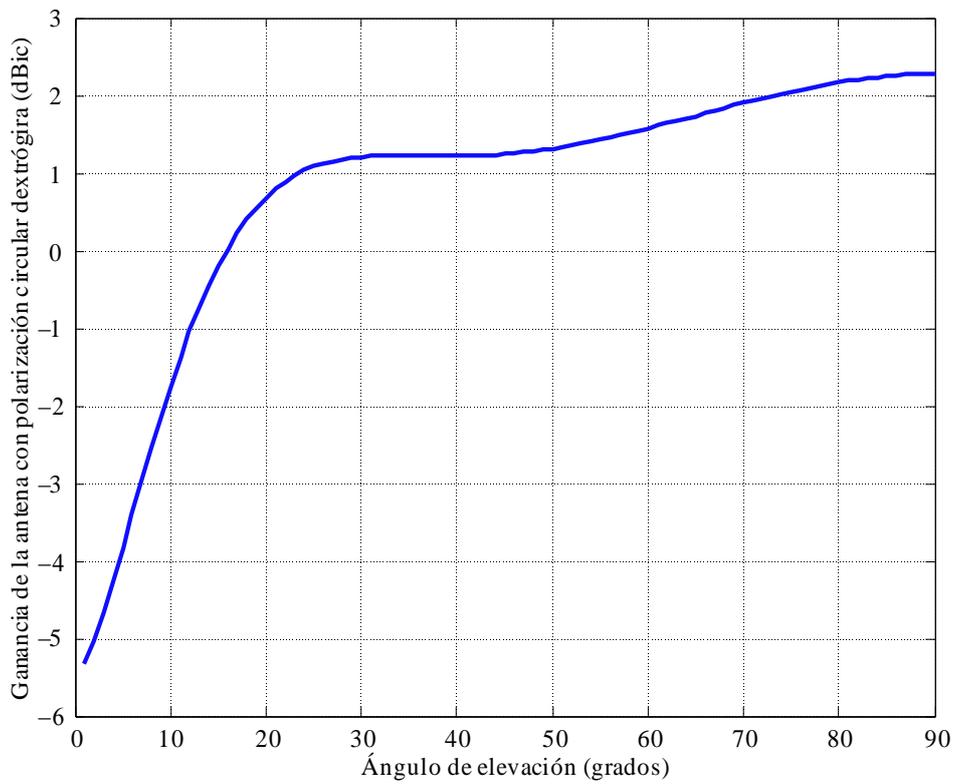
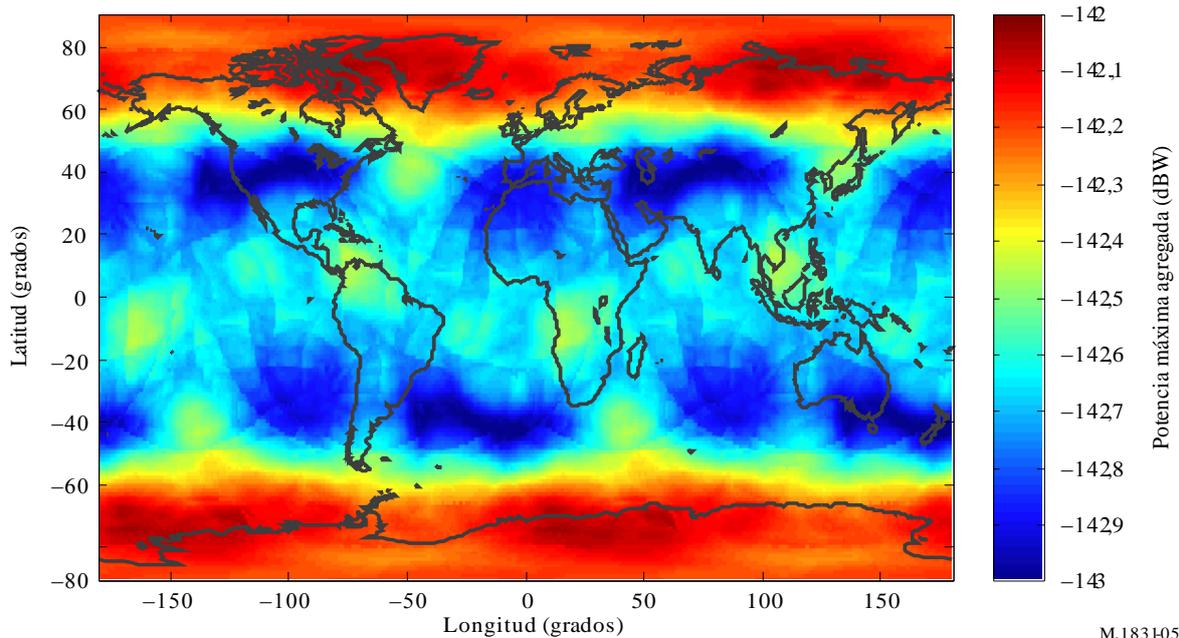


FIGURA 5

Ejemplo de potencia máxima agregada en la superficie de la Tierra durante 24 h



## 5 Ejemplo teórico de aplicación del método

### 5.1 Evaluación de los niveles de interferencia

Para demostrar cómo se aplicaría el método al análisis de interferencia causada por otro sistema del SRNS, en el Cuadro 2 se muestra un ejemplo teórico. Los valores indicados sólo tienen valor de ejemplo y serán objeto de las negociaciones de coordinación.

CUADRO 2

Ejemplo teórico del efecto de la interferencia entre el Sistema B y los Sistemas A y SBAS combinados

<b>Densidad espectral de potencia del ruido efectiva del sistema de referencia: <math>N_0</math> + autointerferencia del sistema de referencia, <math>I_{ref}</math>, debida al ruido térmico y a otras señales en la constelación de referencia (Sistema A)</b>	
Potencia máxima de la Señal 1 (dBW)	-157,50
Potencia máxima de la Señal 2 (dBW)	-160,50
Potencia máxima de la Señal 3 (dBW)	-157,50
Pérdida de procesamiento de la señal interferente (dB)	1,00
Factor de ganancia combinada, $G^{agg}$ (dB)	12,00
Coeficiente de separación espectral, $\beta$ (dB/Hz)	
<i>Señal 1 a Señal 1</i> <sup>(1)</sup>	-61,80
<i>Señal 2 a Señal 1</i>	-70,00
<i>Señal 3 a Señal 1</i>	-67,90
Densidad de ruido térmico, $N_0$ (dB(W/Hz))	-201,50 <sup>(2)</sup>
$I_{ref}$ (dB(W/Hz)) <sup>(3)</sup>	-207,09
$N_0 + I_{ref}$ (dB(W/Hz))	-200,44

CUADRO 2 (Fin)

<b>Densidad espectral de potencia de ruido efectiva entre sistemas: <math>N_0 + I_{ref}</math> + interferencia del SRNS, excepto Sistemas A y B, <math>I_{rem}</math>, debida al ruido térmico, otras señales en la constelación de referencia (Sistema A), y SBAS interferente, pero sin Señal 0 del Sistema B</b>	
Potencia máxima del SBAS (dBW)	-160,50
Factor de ganancia combinada del SBAS, $G^{agg}$ (dB)	7,70
Coeficiente de separación espectral, $\beta$ (dB/Hz)	
<i>Sistema A SBAS a Señal 1</i>	
	-61,80
Pérdida de procesamiento de las señales interferentes (dB)	1,00
$I_{rem}$ (dB(W/Hz)) <sup>(3)</sup>	-215,60
$N_0 + I_{ref} + I_{rem}$ (dB(W/Hz))	-200,31
<b>Densidad espectral de potencia de ruido efectiva total del sistema: <math>N_0 + I_{ref} + I_{rem} +</math> interferencia externa no SRNS, <math>I_{ext}</math>, debida al ruido térmico, otras señales en la constelación de referencia (Sistema A), SBAS interferente e interferencia externa no SRNS, pero sin Señal 0 del Sistema B</b>	
$I_{ext}$ (dB(W/Hz))	-206,50
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (dB(W/Hz))	-199,37
<b>Densidad espectral de potencia de ruido efectiva total entre sistemas: <math>N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} +</math> interferencia del Sistema B, <math>I_{alt}</math>, debida al ruido térmico y a todas las señales SRNS interferentes y a la interferencia externa</b>	
Potencia máxima de la Señal 0 (dBW)	-154,00
Factor de ganancia combinada del Sistema B, $G^{agg}$ (dB)	12,00
Coeficiente de separación espectral, $\beta$ (dB/Hz)	
<i>Señal 0 a Señal 1</i>	
	-67,80
Pérdida de procesamiento de las señales interferentes (dB)	1,00
$I_{alt}$ (dB(W/Hz)) <sup>(3)</sup>	-210,80
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (dB(W/Hz))	-199,07

(1) Este valor se basa en la ecuación (2) y constituye una aproximación que puede no ser representativa de todos los receptores que utilizan códigos PRN cortos.

(2) Este es un valor típico que puede no ser representativo de los receptores de bajo ruido.

(3) En este ejemplo, los valores  $I_{ref}$ ,  $I_{rem}$ , y  $I_{alt}$  se evaluaron utilizando  $G^{agg}$ . En consecuencia, representan valores de límite superior.

En este ejemplo, la Señal 1 del Sistema A es la señal deseada y el Sistema A es el «sistema de fuentes de interferencia», y suele ser el caso, pues cada tipo de señal ha de examinarse por separado. Por consiguiente, la Señal 1 deseada también sufre autointerferencia de otras transmisiones de Señal 1 y el Sistema A sufre interferencia intrasistema causada por otras señales del Sistema A. En este ejemplo, las otras señales del Sistema A son la Señal 2 y la Señal 3. Cada una de las señales interferentes del Sistema A tiene su propio coeficiente de separación espectral en este ejemplo.

El factor de ganancia combinada del Sistema A,  $G^{agg}$  (12,0 dB o 7,7 dB para la interferencia del Sistema A SBAS), comprende el diagrama de ganancia de la antena del receptor del Sistema A, el diagrama de ganancia del transmisor del Sistema A y está relacionado con la potencia interferente recibida que supera el 99,99% de todos los casos de potencia máxima de interferencia de un único satélite de un sistema de referencia. (El porcentaje real será objeto de las negociaciones de

coordinación.) Cabe señalar que la densidad espectral de potencia de ruido combinada es de  $-201,50$  dB(W/Hz) antes de considerar la interferencia intrasistema, y de  $-200,44$  dB(W/Hz) si se tiene en cuenta esta última.

En el cálculo, los «sistemas restantes» están representados por una única red SBAS del SRNS. (En la práctica, se incluirán normalmente varios sistemas y redes del SRNS.) Se supone que el ruido externo es una combinación de todas las fuentes de interferencia ajenas al SRNS y se le asigna una densidad espectral de potencia de  $-206,5$  dB(W/Hz). La combinación del sistema de referencia, el sistema restante y la interferencia externa da un resultado de  $-199,37$  dB/Hz (teóricamente).

A continuación se incluye en el cálculo de interferencia el Sistema B como «Sistema Alternativo» y, por tanto, se incluye la Señal 0 del Sistema B en el cálculo de interferencia para la Señal 1 del Sistema A. Se supone que el factor de ganancia combinada del Sistema B es idéntico al del Sistema A. (En la práctica, las ganancias combinadas serán distintas al serlo las constelaciones.) En el Cuadro 2 se ve que en este ejemplo teórico la Señal 0 del Sistema B incrementa la densidad espectral de potencia de ruido de fondo del receptor global hasta  $-199,07$  dB(W/Hz).

### 5.2 Evaluación de las relaciones portadora/ruido efectivas y la degradación correspondiente

Para demostrar cómo se aplicará el método en el análisis del cambio de la  $C/N_0$  efectiva debido a otro sistema del SRNS, se retoma en esta cláusula el ejemplo teórico de la cláusula anterior, que se presenta en el Cuadro 3. Del mismo modo, los valores sólo tienen valor ilustrativo y serán objeto de las negociaciones de coordinación. Cabe indicar que  $C/N_0$  de la Señal 1 del Sistema A es  $36,00$  dB(Hz) antes de tener en cuenta la interferencia intrasistema, y  $33,87$  dB(Hz) cuando se toman en consideración todas las interferencias, excepto la de la Señal 0 del Sistema B.

A continuación se incluye la señal 0 del «Sistema Alternativo» o Sistema B en el cálculo de interferencia, con objeto de calcular la nueva  $C/N_0$  de la Señal 1 del Sistema A. En el Cuadro 3 se ve que en este ejemplo teórico la Señal 0 del Sistema B reduce la  $C/N_0$  de la Señal 1 del Sistema A  $33,57$  dB(Hz).

CUADRO 3

#### Ejemplo teórico de reducción de la $C/N_0$ debida a la interferencia del Sistema B en el Sistema A y SBAS combinados

Relación de densidad portadora/ruido de la señal (Señal 1 del Sistema A) efectiva, $C/N_0$ (dB-Hz) debida al ruido térmico, $N_0$	
Potencia mínima de la Señal 1 (dBW)	-158,50
Pérdida de procesamiento de la señal deseada (dB)	2,50
Ganancia mínima de la antena receptora (dBi)	-4,50
Potencia de la señal deseada, $C$ (dBW)	-165,50
Densidad de ruido térmico, $N_0$ (dB(W/Hz))	$-201,50^{(1)}$
$C/N_0$ (dB(Hz))	36,00
<b><math>C/N_0</math> efectiva (dB-Hz): <math>N_0 + I_{ref} +</math> interferencia SBAS, <math>I_{rem} +</math> interferencia externa no SRNS, <math>I_{ext}</math></b>	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}$ (dB(W/Hz)) <sup>(2)</sup>	-199,37
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext})$ (dB(Hz))	33,87

CUADRO 3 (Fin)

<b><math>C/N_0</math> entre sistemas efectiva (dB-Hz): <math>N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}</math> + interferencia de la Señal 0 el Sistema B, <math>I_{alt}</math></b>	
$N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}$ (dB(W/Hz))	-199,07
$C/(N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt})$ (dB(Hz))	33,57

- (1) Valor típico que puede no ser representativo de los receptores de bajo ruido.
- (2) En este ejemplo, los valores  $I_{ref}$ ,  $I_{rem}$ , y  $I_{alt}$  se evaluaron utilizando  $G^{agg}$ . En consecuencia, representan valores de límite superior.

Además del cálculo de las relaciones portadora/ruido efectivas, pueden emplearse otras mediciones de la  $C/N'_0$  efectiva. Por ejemplo, se puede calcular el efecto de la interferencia causada específicamente por la Señal 0 del Sistema B, lo que se logra fijando los parámetros  $I_{rem}$  y  $I_{ext}$  a cero, considerando así únicamente la interferencia intrasistema,  $I_{ref}$  del sistema de referencia, para calcular la degradación que se obtiene con la ecuación (10), designada por  $\Delta(C/N'_0)$ . Esta degradación se compara con el umbral de degradación  $C/N'_0$ . En el Cuadro 4 se muestra un ejemplo de cálculo.

$$\Delta\left(\frac{C}{N'_0}\right) = \frac{\left(\frac{C}{N_0 + I_{ref}}\right)}{\left(\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{alt}}\right)} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref}} \quad (10)$$

CUADRO 4

**Ejemplo teórico de interferencia causada por el Sistema B al Sistema A**

<b>Densidad espectral de potencia de ruido efectiva del sistema de referencia:</b>		
Potencia máxima de la Señal 1 (dBW)	-157,50	
Potencia máxima de la Señal 2 (dBW)	-160,50	
Potencia máxima de la Señal 3 (dBW)	-157,50	
Pérdida de procesamiento de la señal interferente (dB)	1,00	
Factor de ganancia combinada, $G^{agg}$ (dB)	12,00	
Coeficiente de separación espectral, $\beta$ (dB/Hz):		
	<i>Señal 1 a Señal 1</i> <sup>(1)</sup>	-61,80
	<i>Señal 2 a Señal 1</i>	-70,00
	<i>Señal 3 a Señal 1</i>	-67,90
Densidad de ruido térmico, $N_0$ (dBW/Hz)	-201,50 <sup>(2)</sup>	-204,00 <sup>(3)</sup>
$I_{ref}$ (dBW/Hz) <sup>(4)</sup>	-207,09	
$N_0 + I_{ref}$ (dBW/Hz)	-200,44	-202,27

CUADRO 4 (Fin)

<b>Densidad espectral de potencia de ruido efectiva total entre sistemas:</b>		
Potencia máxima de la Señal 0 (dBW)	-154,00	
Factor de ganancia combinada del Sistema B, $G^{agg}$ (dB)	12,00	
Coeficiente de separación espectral, $\beta$ (dB/Hz):		
<i>Señal 0 a Señal 1</i>	-67,80	
Pérdida de procesamiento de las señales interferentes (dB)	1,00	
$I_{alt}$ (dBW/Hz) <sup>(4)</sup>	-210,80	
Degradación $C/N'_0$ determinada por la ecuación (10) (dB)	0,38	0,57

- (1) Este valor se basa en la ecuación (2) y constituye una aproximación que puede no ser representativa de todos los receptores que utilizan códigos PRN cortos.
- (2) Valor típico que puede no ser representativo de los receptores de bajo ruido.
- (3) Valor típico de los receptores de bajo ruido.
- (4) En este ejemplo, los valores  $I_{ref}$ ,  $I_{rem}$  y  $I_{alt}$  se evaluaron utilizando  $G^{agg}$ . En consecuencia, representan valores de límite superior.

La degradación  $C/N'_0$  máxima aceptable puede depender de si el Sistema Alternativo es compatible con el sistema de referencia. Cuando los sistemas son compatibles, el umbral de degradación  $C/N'_0$  puede ser superior que en el caso de sistemas no compatibles. La contribución de ruido de un Sistema Alternativo no compatible,  $I_{alt}$ , puede modificarse para tener en cuenta las propiedades de correlación cruzada del código entre sistemas específicos. En este caso,  $I_{alt}$  podría sustituirse por  $I'_{alt} = \alpha \cdot I_{alt}$ , donde  $\alpha \geq 1$ .

Otro ejemplo es calcular la degradación  $C/N'_0$  a partir de la siguiente ecuación (11):

$$\Delta \left( \frac{C}{N'_0} \right) = \frac{\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}}}{\frac{C}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext} + I_{alt}}} = 1 + \frac{I_{alt}}{N_0 + I_{ref} + I_{rem} + I_{ext}} \quad (11)$$

Al aplicar la ecuación (11) con los parámetros del Cuadro 3, se calcula que la degradación  $C/N'_0$  es de 0,3 dB.

## 6 Modelización y características del espectro de código corto del SRNS

El modelo analítico descrito anteriormente aproxima el espectro de las señales recibidas a un espectro combinado en que las estructuras finas de los espectros de cada señal se medían en un espectro esencialmente continuo. Este modelo de «espectro continuo» es válido para las señales del SRNS con códigos PRN largos<sup>3</sup>. Los códigos PRN también pueden disponer de estructuras finas adicionales, tales como códigos de superposición o modulación de datos a velocidades más altas, que amplían eficazmente las principales líneas espectrales de código PRN a fin de producir un

<sup>3</sup> Entre los ejemplos de códigos PRN largos figuran los códigos Galileo E1-B y -C (véase el Cuadro 3-1 del Anexo 3 a la Recomendación UIT-R M.1787-2) y los códigos GPS L1C (véase el Cuadro 2-1 del Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1787-2).

espectro casi continuo para una señal determinada. En estos casos, el desplazamiento Doppler entre las distintas señales apenas afecta a la evaluación global de la interferencia.

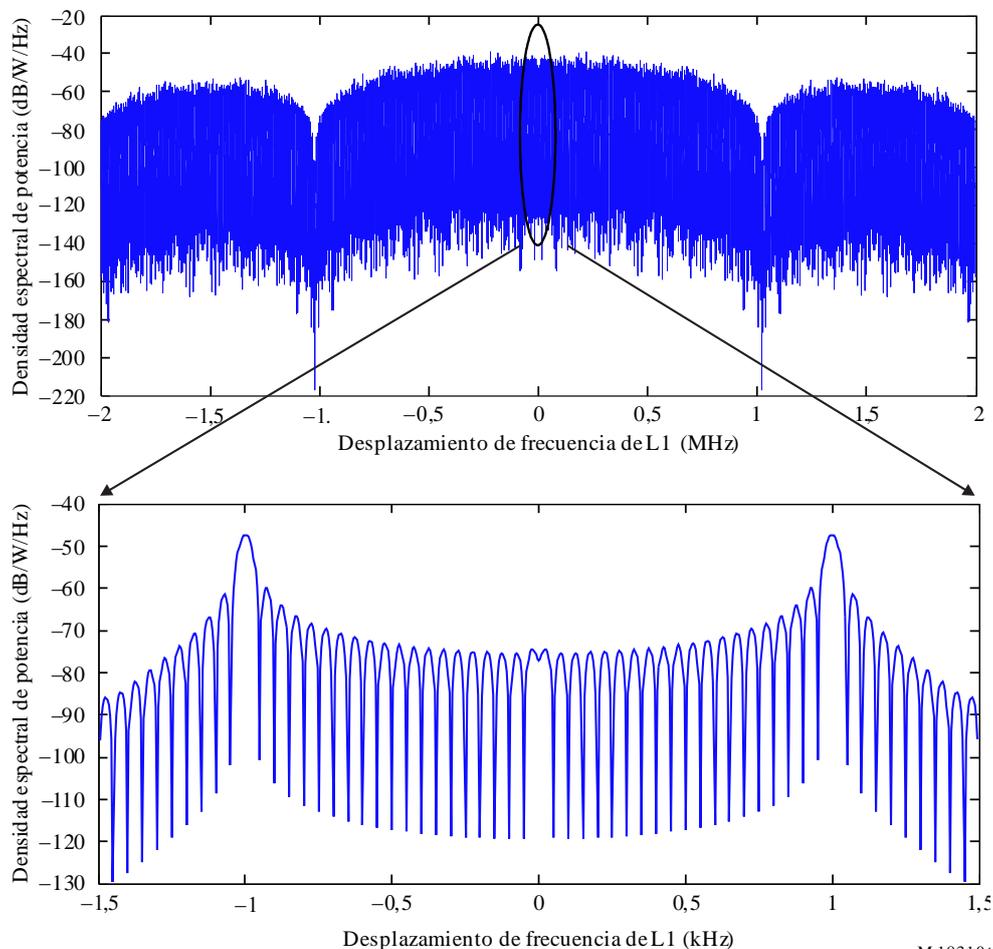
No obstante, este modelo no es adecuado para el análisis de los códigos PRN cortos<sup>4</sup> de un sistema SRNS, o entre sistemas SRNS. En estos casos, se necesitan modelos dinámicos que tengan en cuenta propiedades detalladas de modulación de las señales, tales como la velocidad de datos, las características del código PRN, el desplazamiento relativo de frecuencias por efecto Doppler y la potencia relativa de la señal recibida.

### 6.1 Ejemplo de espectro de código PRN corto del RNSS

Los espectros de código PRN corto se caracterizan por una estructura envolvente nominal y una estructura de línea primaria discreta. Esa estructura discreta es una secuencia de líneas espectrales, que consta de niveles determinados por las características del código en cuestión, incluidas la frecuencia de segmentos y longitud de código. Cuando los datos modulan la señal de código PRN, las líneas espectrales primarias son ampliadas por el espectro de datos. La Fig. 6 ilustra un ejemplo de espectro de una señal de código PRN corto con modulación de datos a baja velocidad.

FIGURA 6

Ejemplo de densidad espectral de potencia de código PRN corto (normalizado a 1 W de potencia total)



<sup>4</sup> El código GPS L1 C/A (véase el Cuadro 2-1 del Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1787-2) constituye un ejemplo de código PRN corto. En el caso de los códigos PRN cortos, el coeficiente de separación espectral (SSC) resultante no se ajusta a la aproximación de la ecuación (2) para tiempos de integración superiores a 1 ms, es decir, los correspondientes a los receptores de código PRN corto.

La parte superior de la Fig. 6 representa la porción central de 4 MHz del ejemplo de espectro de código PRN corto modulado por datos de 50 bits/s (aproximados como aleatorios en este caso). La parte interna de 3 kHz de dicho espectro se aumenta para ilustrar el efecto amplificador de la modulación de datos en líneas primarias discretas de código PRN (espaciamiento de línea de 1 kHz,  $= 1/(\text{periodo de código})$ ). La estructura envolvente de este espectro tiene aproximadamente la forma de  $\text{sen}^2(\pi f T_{\text{Chip}})/(\pi f T_{\text{Chip}})^2$ , un valor de cresta de  $-47,1$  dBW/Hz y nulos en múltiplos de 1,023 MHz (frecuencia de segmentos  $= 1/T_{\text{Chip}}$ ) desde la frecuencia central.

Cabe señalar la importancia que reviste el desplazamiento relativo de frecuencias por efecto Doppler para el efecto de la interferencia. En este ejemplo de código PRN corto, el efecto se minimiza si el desplazamiento relativo por efecto Doppler entre las señales interferente y deseada es un múltiplo impar de 0,5 kHz. El efecto tiende a maximizarse si el desplazamiento relativo por efecto Doppler es cero o un pequeño múltiplo entero de 1 kHz.

## 6.2 Aspectos generales del modelo dinámico detallado para los códigos PRN cortos del SRNS

El receptor de usuario se supone que es un receptor terrenal en una ubicación fija, determinada por una simulación como la ubicación del caso más desfavorable de degradación ( $C/N_0'$ ). El desplazamiento Doppler entre la señal deseada y las señales interferentes ha de tenerse en cuenta en este modelo. Las potencias recibidas, al igual que los desplazamientos Doppler debidos al movimiento del satélite, se calculan dinámicamente a partir de balances de enlace basados en los parámetros orbitales de los distintos sistemas, los diagramas de ganancia de antena de satélite y de usuario y la ubicación de receptor usuario.

Además del desplazamiento Doppler, los coordinadores pueden acordar la utilización de otros factores para determinar el nivel de auto-interferencia de radiofrecuencias de código corto.

## 7 Conclusión

La metodología analítica que se describe anteriormente ha demostrado ser útil para los estudios de compatibilidad entre sistemas del SRNS, por lo que puede serlo también para la coordinación entre sistemas del SRNS. Aunque los principios son simples, es necesario establecer un modelo realista de todos los sistemas del SRNS para llegar a resultados aprovechables. Además, dado que el SRNS tiene sistemas no geoestacionarios, probablemente sea necesario realizar simulaciones para determinar las estadísticas de interferencia entre sistemas.

## Anexo 2

### Información y propuestas de evaluación de la interferencia entre sistemas y externa del SRNS

En este Anexo se presenta un método para determinar la manera de repartir el balance de interferencia del SRNS entre fuentes externas (no SRNS) y fuentes del SRNS a fin de realizar la coordinación entre operadores del SRNS. Además, se presentan algunas consideraciones para la coordinación entre sistemas del SRNS.

#### 1 Componentes de interferencia del SRNS

De acuerdo con el método del Anexo 1, el valor combinado que representa la interferencia externa (procedente de fuentes no SRNS),  $I_{ext}$ , se trata como un ruido blanco aditivo. La manera de determinar este valor depende de la coordinación. Por tanto, puede tratarse simplemente de un valor aceptado como representativo por las partes participantes en la coordinación, o puede calcularse empleando el método de este Anexo a fin de determinar un nivel aceptable de potencia interferente para la interferencia externa y la interferencia del SRNS. El método que emplea un único valor acordado para la interferencia externa se denomina «enfoque combinado», mientras que el método que a continuación se presenta, según el cual se reparte el balance de interferencia entre las fuentes de interferencia, se denomina «enfoque compartido» y se detalla en las siguientes cláusulas.

#### 2 «Enfoque compartido» para la interferencia SRNS

Este método se basa en repartir la interferencia de un sistema del SRNS interferente (o incluso de un satélite interferente) causada a un receptor de otro sistema del SRNS deseado. Este método se denomina «enfoque compartido».

Este método se basa en identificar la proporción de un sistema (o satélite) del SRNS en el nivel total (combinado) de interferencia aceptable y compararla con la interferencia calculada para este sistema (o satélite) del SRNS. Consideramos aquí un sistema del SRNS teórico que puede funcionar con un nivel de interferencia aceptable  $I_a$ . A continuación se divide esta interferencia:

$$I_a = \sigma_{RNSS} \cdot I_a + \sigma_{ext1} \cdot I_a + \sigma_{ext2} \cdot I_a$$

donde:

- $\sigma_{RNSS}$ : proporción aceptable de interferencia de todos los sistemas del SRNS
- $\sigma_{ext1}$ : proporción de interferencia aceptable de todos los servicios primarios distintos del SRNS
- $\sigma_{ext2}$ : proporción de interferencia aceptable de todas las demás fuentes externas de interferencia y ruido
- $I_a$ : nivel aceptable de densidad espectral de potencia equivalente de interferencia de todos los servicios (W/Hz)

$$\sigma_{RNSS} + \sigma_{ext1} + \sigma_{ext2} = 1$$

Sabiendo la proporción de interferencia aceptable de todos los sistemas del SRNS,  $\sigma_{RNSS}$ , puede determinarse la proporción de interferencia aceptable de un satélite del SRNS de un sistema del SRNS «de referencia»,  $\sigma_{ref}$ , de la siguiente manera:

$$\sigma_{ref} = \sigma_{RNSS}/N$$

donde:

- $\sigma_{ref}$ : proporción de interferencia aceptable de un satélite del SRNS
- $\sigma_{RNSS}$ : proporción de interferencia aceptable de todos los sistemas del SRNS
- $N$ : donde, en tanto que estimación conservadora de las constelaciones del SRNS no OSG que no tiene en cuenta los diagramas de ganancia de las antenas transmisoras y receptoras, se fija  $N = \max\{N_{máx}^S, M_{ref}^S / 2\}$  siendo  $N_{máx}^S$  el número máximo de satélites visibles y  $M_{ref}^S$  el número total de satélites en la constelación de referencia.

Obsérvese asimismo que la interferencia no SRNS total aceptable es  $I_{ext} = \sigma_{ext1} * I_a + \sigma_{ext2} * I_a$ .

Un método similar puede aplicarse a otros servicios, como, por ejemplo, el servicio fijo por satélite, que utiliza un plan de repartición semejante.

El principal problema de este método es que, en principio, es necesario determinar la proporción de interferencia aceptable de los distintos servicios y sistemas en comparación con el nivel umbral de interferencia combinada. Habrá de estudiarse y determinarse por anticipado la proporción aceptable de interferencia de cada servicio.

Pueden considerarse como ejemplos las siguientes proporciones de interferencia:  $\sigma_{RNSS} = 0,89$  para el SRNS,  $\sigma_{ext1} = 0,1$  para los servicios primarios distintos del SRNS y  $\sigma_{ext2} = 0,01$  para las fuentes de interferencia distintas del SRNS.

## Anexo 3

### Guía para la coordinación entre sistemas del SRNS

En este Anexo se dan algunas orientaciones sobre los requisitos y métodos de coordinación en general que habrá de considerar cualquier operador del SRNS que haya de coordinar su sistema planificado con otros sistemas del SRNS:

#### 1 Sistemas del SRNS que hay que tener en cuenta en los cálculos

De acuerdo con las normas de la UIT, los sistemas del SRNS con los que cualquier nuevo sistema planificado del SRNS ha de coordinarse son aquéllos con los que, de acuerdo con las correspondientes notificaciones a la UIT, haya un solapamiento de frecuencias y cuyas peticiones de coordinación (o información de notificación de sistemas no geostacionarios presentada antes del 1 de enero de 2005) haya recibido la Oficina de Radiocomunicaciones antes que la de este nuevo sistema planificado. Todos estos sistemas habrán de tomarse en consideración en los cálculos si llegan realmente a ponerse en servicio.

Las últimas versiones de las Recomendaciones UIT-R contienen información sobre algunos sistemas del SRNS que se han notificado al UIT-R. En virtud de la Resolución **610 (CMR-03)**, «Coordinación y solución bilateral de los problemas técnicos de compatibilidad planteados por las redes y sistemas del servicio de radionavegación por satélite en las bandas 1 164-1 300 MHz, 1 559-1 610 MHz y 5 010-5 030 MHz», las administraciones pueden intercambiar información sobre la fase de desarrollo de los sistemas del SRNS planificados durante el proceso de coordinación.

Tal información puede aclarar si un sistema del SRNS concreto, con el que se ha de realizar la coordinación, ha de tenerse en cuenta en los cálculos. Más exactamente, el *resuelve* 1 de la mencionada Resolución establece que una administración que haya notificado un sistema o red del SRNS en las bandas indicadas deberá, si así lo solicita la administración que responde, informar a esta última (con copia a la Oficina) si satisface los criterios enumerados en el Anexo a la Resolución **610 (CMR-03)**.

Los antedichos criterios comprenden:

- i) presentación de la información apropiada para la publicación anticipada;
- ii) pruebas claras de un acuerdo vinculante para la fabricación o adquisición de los satélites del sistema o pruebas de garantía de la financiación del sistema; y
- iii) clara evidencia de un acuerdo vinculante para el lanzamiento de los satélites.

## **2 ¿Cuándo han de tenerse en cuenta redes notificadas, orden en que ha de hacerse (por ejemplo, en función de la fecha de la petición de coordinación o de otra manera)?**

Los *resuelve* 1, 2, 3 y 4 de la Resolución **610 (CMR-03)** exigen que en primer lugar se garantice la compatibilidad entre los sistemas que cumplen los criterios enumerados en el Anexo a dicha Resolución. Las administraciones podrán realizar la coordinación entre dos o más sistemas independientemente de la fecha en que se hayan notificado los sistemas, según proceda. Del mismo modo, las administraciones pueden ponerse de acuerdo para fijar sus propios criterios de interferencia para la coordinación.

Cuando la coordinación entre sistemas en virtud de la Sección II del Artículo **9** del RR atañe a más de dos sistemas del SRNS, puede resultar útil tratarla en reuniones multilaterales en que participen todas las partes implicadas, además de en reuniones bilaterales.

De hecho, si, por ejemplo, los Sistemas A, B y C han de funcionar dentro de una banda determinada atribuida al SRNS, habiendo B completado la coordinación con A y habiendo C completado la coordinación con A y B, cualquier acuerdo entre B y C habrá de tener en consideración todo acuerdo contraído entre A y B y entre A y C.

## **3 ¿Cuándo ha de realizarse la coordinación y qué características utilizar?**

Las características que se han de utilizar como base para un sistema concreto son las que se consignan en las notificaciones a la UIT. Sin embargo el cálculo de la interferencia entre sistemas debe basarse en las características reales del sistema que intercambiarán las administraciones durante el proceso de coordinación. Las características necesarias para los cálculos suelen ser más detalladas que las básicas que se indican en las notificaciones a la UIT y han de ser compatibles con los criterios definidos que se han de cumplir.

## **4 Evaluación del parámetro $I_{ext}$ mencionado en los Anexos 1 y 2**

En algunas recomendaciones sobre calidad de funcionamiento se tiene en cuenta la interferencia causada por otros servicios,  $I_{ext}$ . En otras palabras, al diseñar un sistema del SRNS ha de preverse una cierta interferencia causada por otros servicios coprimarios en la misma banda. La medida en que ha de tenerse en cuenta la interferencia causada por estos otros servicios varía de unas bandas a otras. En algunos casos, se imponen límites reglamentarios a los otros servicios en la misma banda a partir de los estudios realizados. Tales límites pueden ser, por ejemplo, límites de p.i.r.e. para los servicios terrenales. No obstante, dado que el terminal SRNS de usuario es móvil, debería tenerse en cuenta el incremento global de la interferencia en la misma banda causada por todas las fuentes.

Con los métodos propuestos en los Anexos 1 y 2, la interferencia procedente de servicios distintos del SRNS se modeliza como una fuente de ruido con un valor de densidad espectral de potencia de ruido equivalente constante,  $I_{ext}$ . Con este término se quieren englobar todas las fuentes radioeléctricas aparte del SRNS y puede incluir la interferencia en banda y fuera de banda de todos los demás servicios de radiocomunicaciones. Como se señala en el Anexo 1, este método conviene para establecer modelos de fuentes de interferencia de banda extensa externas, pero es necesario definir otros métodos para la interferencia de banda estrecha y la interferencia impulsiva.

A fin de determinar el valor de  $I_{ext}$ , es necesario establecer el balance de todas las atribuciones en la misma frecuencia y en frecuencias adyacentes en las que puede funcionar una fuente de interferencia significativa y, además, obtener información técnica sobre los sistemas que funcionan en dichas atribuciones a fin de estimar el nivel típico de cada una de las fuentes. Pueden encontrarse orientaciones al respecto en las normas o en las Recomendaciones e Informes UIT-R. El nivel de  $I_{ext}$  puede depender de la ubicación prevista para el usuario del sistema de referencia, ya que algunos sistemas sólo pueden funcionar en países o regiones específicos.

---