

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1588

Métodos de cálculo de la densidad de flujo de potencia equivalente combinada producida por múltiples sistemas del servicio fijo por satélite no geoestacionario en una red del servicio fijo por satélite geoestacionario*

(Cuestión UIT-R 236/4)

(2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000) adoptó la combinación de límites de validación de la densidad de flujo de potencia equivalente ($dfpe_{\downarrow}$) para una sola fuente de interferencia, límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia, y límites operacionales adicionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia para determinados tamaños de antenas contenidos en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), así como los límites de interferencia combinada de la Resolución 76 (CMR-2000), que se aplican a los sistemas del servicio fijo por satélite (SFS) no geoestacionario (no OSG) para proteger las redes de satélites OSG en partes de la gama de frecuencias 10,7-30 GHz;
- b) que la CMR-2000 adoptó la Resolución 76 (CMR-2000) que resuelve «que, si se rebasan los niveles de interferencia combinada señalados en los Cuadros 1A a 1D, las administraciones que explotan los sistemas del SFS no OSG en estas bandas de frecuencias tomen urgentemente todas las medidas necesarias para reducir los niveles de $dfpe$ combinada a los valores indicados en los Cuadros 1A a 1D o a valores superiores cuando son aceptables por la administración del sistema OSG afectado»;
- c) que los límites de validación de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia del Artículo 22 del RR se obtuvieron de los contornos de $dfpe_{\downarrow}$ combinada especificados en la Resolución 76 (CMR-2000), suponiendo que el máximo número efectivo de sistemas del SFS no OSG es 3,5;
- d) que el UIT-R, utilizando programas informáticos basados en la Recomendación UIT-R S.1503, hará una evaluación de todos los sistemas del SFS no OSG para determinar si se ajustan a los límites de validación de la $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia;
- e) que los programas informáticos mencionados en el *considerando* d) tienen en cuenta las condiciones de funcionamiento de los sistemas del SFS no OSG de caso más desfavorable;
- f) que, según el número 22.5K del RR, las administraciones que exploten o proyecten explotar sistemas del SFS no OSG en partes de la gama de frecuencias 10,7-30 GHz deben garantizar que la interferencia real combinada en las redes de satélites OSG del SFS y del servicio de radiodifusión por satélite (SRS) causadas por esos sistemas que funcionan en la misma frecuencia en estas bandas no rebasa los niveles de potencia combinada de la Resolución 76 (CMR-2000);

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención del Grupo de Trabajo 6S de Radiocomunicaciones.

- g) que las estadísticas de interferencia de $dfpe_{\downarrow}$ combinada efectiva generada por redes del SFS no OSG a redes de satélites OSG del SFS y del SRS, sólo se pueden determinar mediante cálculos;
- h) que las administraciones necesitan métodos para determinar la conformidad con los límites de $dfpe_{\downarrow}$ combinada;
- j) que los sistemas del SFS no OSG tienen características orbitales y de funcionamiento diferentes, y deben coordinarse con arreglo a las disposiciones del número 9.12 del RR, y que es probable que se apliquen técnicas de reducción de la interferencia para funcionar en modo cofrecuencia entre ellas;
- k) que algunas de las características técnicas de las constelaciones del SFS no OSG están disponibles en el Apéndice 4 del RR, en las Recomendaciones UIT-R y en otros documentos publicados sobre sistemas del SFS no OSG;
- l) que tal vez no estén disponibles públicamente las técnicas detalladas de reducción de la interferencia mencionadas en el *considerando* j) y utilizadas por cada uno de los sistemas del SFS no OSG, así como otras informaciones de dominio privado, tales como la estrategia de conmutación del haz y la carga de tráfico en cada haz del sistema del SFS no OSG;
- m) que es probable que la máxima interferencia de $dfpe_{\downarrow}$ provocada por diversos sistemas del SFS no OSG se produzca en distintos lugares de la Tierra y que, dado que las características de $dfpe_{\downarrow}$ serán diferentes, es probable que más de 3,5 sistemas de satélites no OSG reales puedan funcionar sin alcanzar los límites de $dfpe_{\downarrow}$ combinada definidos en la Resolución 76 (CMR-2000);
- n) que una de las aplicaciones de los métodos descritos en esta Recomendación podría ser comparar los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada producidos por varios sistemas no OSG, para determinar la conformidad global de cuatro o más sistemas no OSG en funcionamiento o planificados con los límites de $dfpe_{\downarrow}$ combinada;
- o) que la Resolución 76 (CMR-2000) invitó al UIT-R a que se desarrollara con carácter de urgencia una metodología apropiada para calcular la $dfpe_{\downarrow}$ combinada producida por todos los sistemas del SFS no OSG que funcionan o tienen previsto funcionar en la misma frecuencia en partes de la gama de frecuencias 10,7-30 GHz en las redes del SFS OSG y del SRS OSG, y a que elaborase una Recomendación sobre el establecimiento de modelos precisos de la interferencia causada por los sistemas del SFS no OSG,

recomienda

- 1** que se utilicen el (los) método(s) descrito(s) en el Anexo 1 (véase la Nota 1) para calcular la $dfpe_{\downarrow}$ combinada producida por múltiples sistemas del SFS no OSG que funcionan o tienen previsto funcionar en la misma frecuencia en las bandas de frecuencias consideradas en la Resolución 76 (CMR-2000), que afecta a las estaciones terrenas de las redes del SFS OSG, y que se emplee para determinar si los sistemas se ajustan a los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada de la Resolución 76 (CMR-2000);
- 2** que se utilicen los Métodos 1A o 1B para realizar una evaluación inicial a fin de determinar si se rebasan los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada previstos en la Resolución 76 (CMR-2000), aplicando los métodos basados en la dfp de satélite de la Recomendación UIT-R S.1503, cuando hay varios puntos de prueba de estaciones terrenas para cada sistema del SFS no OSG;

3 que si la evaluación del *recomienda 2* indica que se rebasan los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada determinados en la Resolución 76 (CMR-2000), se realice un cálculo utilizando los Métodos 2A o 2B para el mismo conjunto de puntos de prueba de estaciones terrenas;

4 que si la evaluación del *recomienda 3* indica que se van a rebasar los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada, se haga un cálculo más preciso por los Métodos 3A o 3B, aplicando las estrategias de coordinación, funcionamiento y reducción de la interferencia empleadas entre los sistemas no OSG, e identificando los máximos niveles de dfp que podrían producirse en la Tierra.

NOTA 1 – Los métodos del Anexo 1 se pueden utilizar separadamente o en secuencia como se sugiere en los *recomienda 2*, 3 y 4. Para determinar el rebasamiento de los niveles de $dfpe_{\downarrow}$, debe utilizarse la metodología más precisa de los *recomienda 2* a 4, teniendo en cuenta la disponibilidad de la información detallada sobre los sistemas no OSG.

ANEXO 1

Metodologías para calcular la $dfpe_{\downarrow}$ combinada

1 Introducción

En este Anexo se describen tres métodos para el cálculo de la $dfpe_{\downarrow}$ combinada, por simulación únicamente o por simulación y convolución: los Métodos 1 y 2 están basados en la Recomendación UIT-R S.1503 para verificar la conformidad de un sistema no OSG con los límites de validación de los Cuadros 22-1A, 22-1B y 22-1C del Artículo 22 del RR y difieren por el conjunto de puntos de prueba elegidos. El Método 3 propone un modelo más detallado de acuerdo con la Recomendación UIT-R S.1325 y permite efectuar simulaciones simultáneas de todos los sistemas no OSG.

En cada método, una o más opciones propuestas se basan en la convolución. Las opciones de convolución son posibles si existe un medio de generar curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia, en determinados lugares de la Tierra. Como los programas informáticos adicionales para realizar la convolución sólo ejecutan una función matemática, no es necesaria una recomendación adicional sobre programas informáticos.

Sin embargo, las opciones de convolución pueden ser menos precisas que la simulación simultánea directa de los sistemas no OSG. Los resultados que se obtienen por las opciones de convolución indican unas probabilidades sumamente bajas de que ocurran los niveles máximos de $dfpe_{\downarrow}$. Por consiguiente, se propone truncar la curva combinada calculada para niveles de $dfpe_{\downarrow}$ rebasados durante el más breve porcentaje de tiempo en algún lugar, antes del punto del 0% de la curva de $dfpe_{\downarrow}$ combinada.

Para las opciones de convolución se supone que no hay correlación entre la interferencia de múltiples sistemas no OSG. Tal vez no sea una hipótesis apropiada, porque todos los sistemas no OSG deben utilizar técnicas de reducción de la interferencia para evitar interferir con sistemas OSG y otros sistemas no OSG. Es preciso realizar simulaciones simultáneas para cubrir este caso.

En este Anexo se describen tres métodos, cada uno más exacto que el anterior y en consecuencia también más complejo de ejecución. La elección de uno u otro método dependerá probablemente de la información de que dispone la entidad que realiza los cálculos. En el caso de los Métodos 1 y 2,

el cálculo está basado en la información proporcionada a la Oficina de Radiocomunicaciones (BR). El Método 3 considera con más detalle el sistema no OSG y está basado en el principio del contorno de la dfp del satélite de la Recomendación UIT-R S.1503, para poder realizar simulaciones que tienen en cuenta las estrategias de coordinación, funcionamiento y reducción de la interferencia acordadas entre los operadores del sistema no OSG.

2 Método 1: convolución de la envolvente de las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia en varios puntos de prueba

Este método utiliza las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia obtenidas según la Recomendación UIT-R S.1503. Estas curvas pueden obtenerse fácilmente de la evaluación de validación que la BR hace para todos los sistemas no OSG. La BR comprobará la conformidad de un sistema no OSG en un solo punto de prueba, según la Recomendación UIT-R S.1503. Ahora bien, este método también puede aplicarse a los casos de prueba en varios puntos de un sistema no OSG, siendo necesario generar las curvas correspondientes de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia. Como esta opción no está basada en emplazamientos de prueba comunes para todos los sistemas no OSG, sólo se podrá utilizar para proporcionar una verificación preliminar de los límites de interferencia combinada.

Hay dos formas de aplicar este método. La primera consiste en efectuar una convolución de cada una de las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia de los sistemas no OSG con las demás, para generar un contorno de interferencia combinada. Por consiguiente, si se hiciera una prueba para N sistemas no OSG, cada curva de $dfpe_{\downarrow}$ combinada es la convolución de N curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia. La comparación del resultado de esta convolución con el límite de interferencia combinada permite determinar si se rebasan los límites. En este método es necesario hacer una convolución de la curva de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia en cada emplazamiento de prueba de cada sistema no OSG, con la curva de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia de cada emplazamiento de todos los demás sistemas no OSG. Así, si hubiera M puntos de prueba para cada uno de los N sistemas no OSG, serán necesarias M^N convoluciones. En este caso, M es el número de puntos de prueba examinados por la BR.

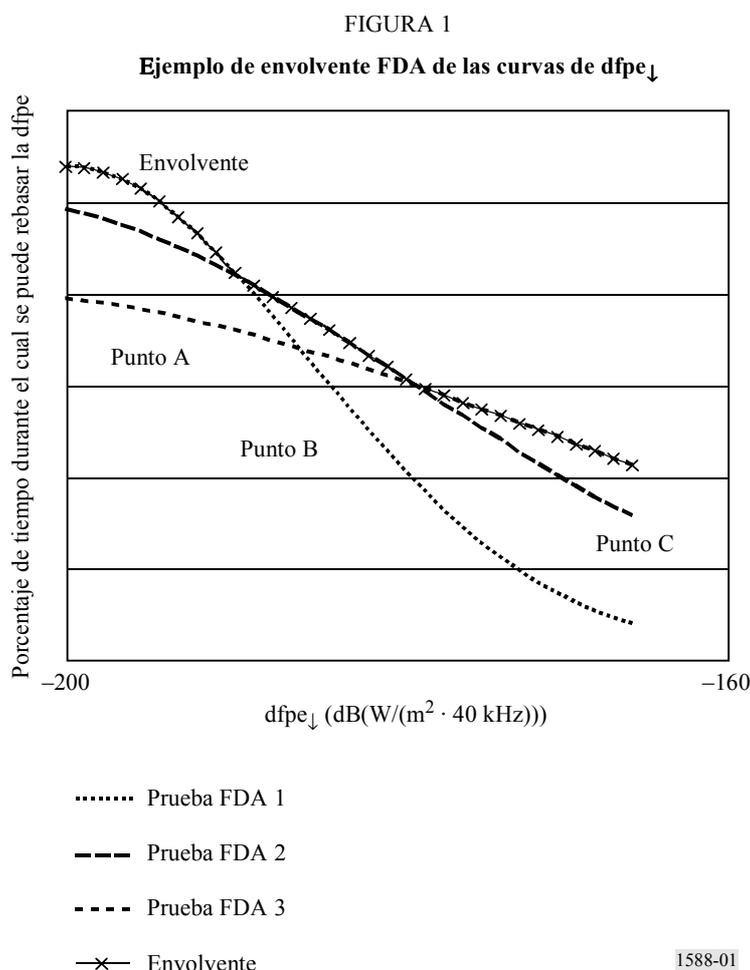
Considérese como ejemplo el caso de dos sistemas no OSG, cada uno con tres curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia generadas según el principio de contorno de dfp de satélite de la Recomendación UIT-R S.1503 en tres puntos de prueba diferentes. El primer sistema no OSG se evalúa en los puntos de prueba A, B y C, y el segundo sistema en los puntos de prueba D, E y F. En este caso habría que hacer nueve convoluciones (véase el Cuadro 1). Antes de realizar las convoluciones de las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ es necesario convertir los valores de potencia en dBW a valores numéricos. Si no hubiera rebasamiento en ninguna de las convoluciones resultantes, los sistemas no OSG examinados satisfacen el requisito del límite de interferencia acumulada. Ahora bien, si se observa un rebasamiento de los límites habrá que hacer más evaluaciones por los Métodos 2 ó 3.

CUADRO 1

Ejemplo de una matriz de convolución M^N ($M = 3, N = 2$)

	A	B	C
D	A*D	B*D	C*D
E	A*E	B*E	C*E
F	A*F	B*F	C*F

La segunda aplicación de este método consiste en producir una curva envolvente de la función de densidad acumulativa (FDA) para cada sistema no OSG, que una todas las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia (es decir, las curvas que representan todos los puntos de prueba) para cada sistema no OSG. Esta situación se representa en la Fig. 1 para un sistema no OSG con tres puntos de prueba.



En esta segunda opción de aplicación, se calcula un contorno de prueba de interferencia combinada basado en la convolución de la envolvente de todas las curvas FDA de $dfpe_{\downarrow}$ para todos los sistemas no OSG considerados. La convolución de las curvas de la envolvente de la FDA de $dfpe_{\downarrow}$ se compara con los límites acumulados para determinar si hay rebasamiento.

El siguiente ejemplo demuestra que esta segunda aplicación es equivalente a la primera y tiene la ventaja de que sólo se requiere una convolución entre los dos sistemas no OSG. En el caso de n sistemas no OSG, habría $n - 1$ convoluciones.

2.1 Ejemplo del método

En las Figs. 2 y 3 se representan, a manera de ejemplo, las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para dos sistemas de satélites no OSG. En cada Figura aparecen las curvas para tres puntos separados y la envolvente de estas tres curvas. Para referencia, también se indican los límites de interferencia combinada.

FIGURA 2

Curva de $dfpe_{\downarrow}$ para el sistema no OSG 1

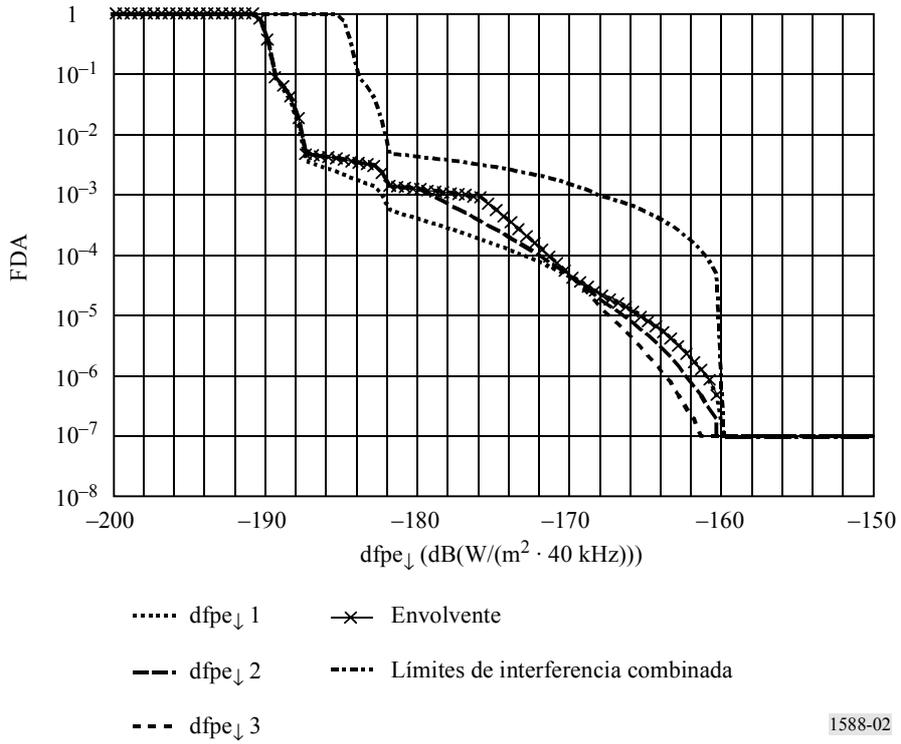
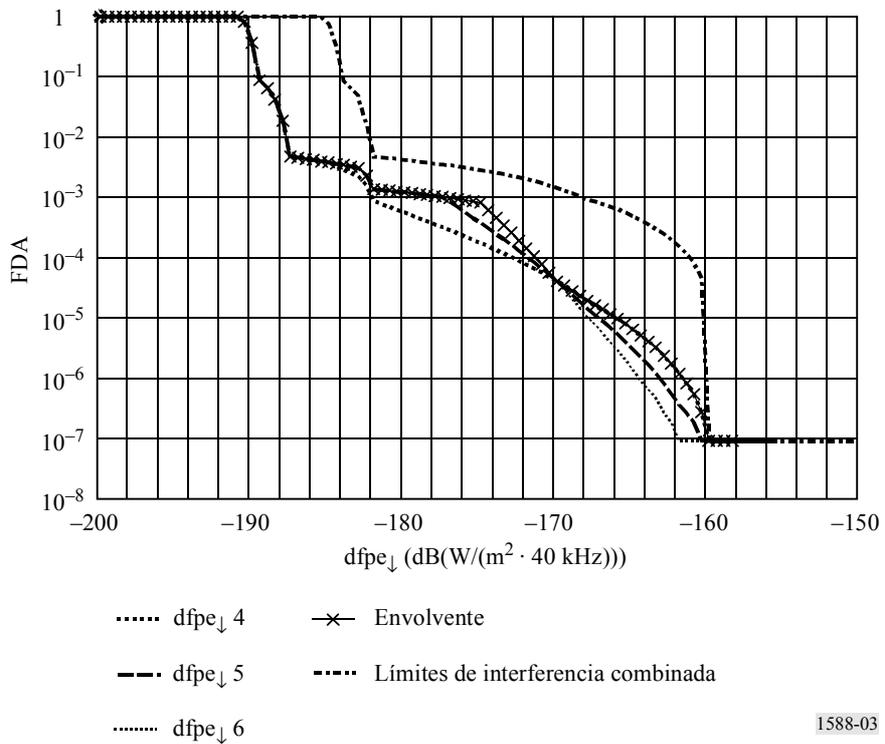
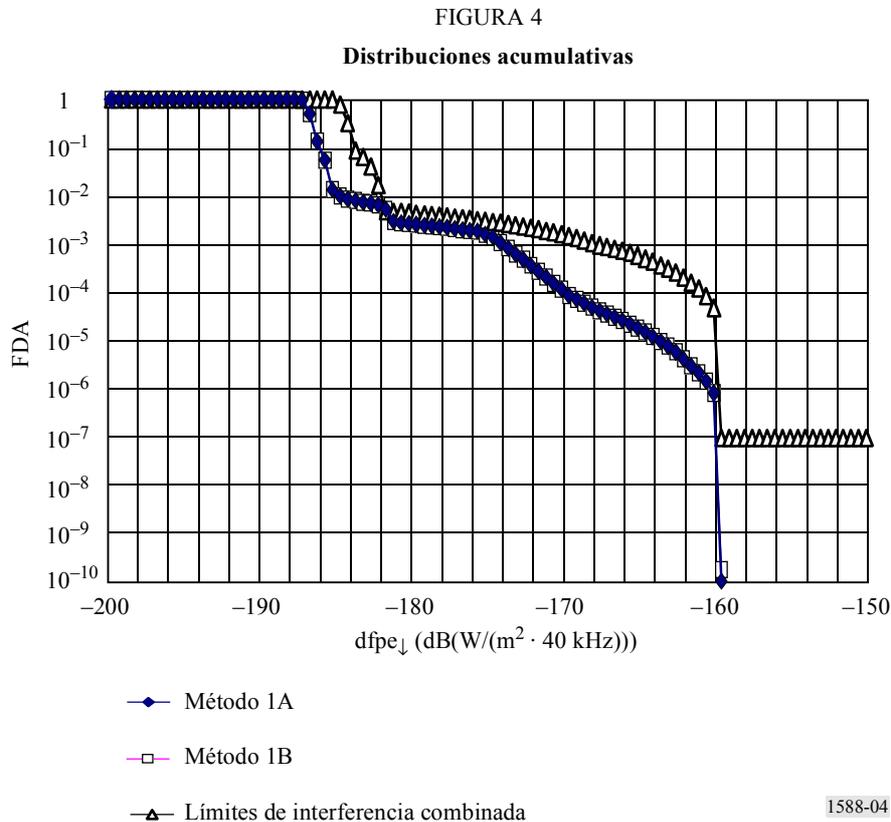


FIGURA 3

Curva de $dfpe_{\downarrow}$ para el sistema no OSG 2



Según lo anterior, la primera aplicación de este método requiere nueve convoluciones. En la Fig. 4 pueden verse los resultados finales obtenidos por las dos opciones de aplicación. En la primera se considera la envolvente de las nueve convoluciones diferentes. En la segunda se considera la convolución de las dos envolventes representadas en las anteriores Figs. 2 y 3. Puede verse que los resultados de las dos aplicaciones son idénticos.



3 Método 2: convolución o simulación para calcular la $dfpe_{\downarrow}$ combinada en los mismos puntos de prueba de estaciones terrenas

Esta opción puede aplicarse de dos maneras basándose en la Recomendación UIT-R S.1503. En la primera opción (Método 2A), se generan las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ en el mismo punto de prueba de estación terrena del SFS OSG para cada sistema no OSG, utilizando la Recomendación UIT-R S.1503 (programas informáticos de la BR). En este caso se haría la convolución de una curva de $dfpe_{\downarrow}$ de un sistema no OSG, para un punto de prueba, con las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ de todos los demás sistemas no OSG considerados en ese mismo punto de prueba. Se seleccionarían los puntos de prueba apropiados según las características de cada constelación. La segunda opción (Método 2B) consistiría en introducir los datos de distintos sistemas no OSG en los programas informáticos de la BR (como una sola constelación con planos orbitales y contornos de dfp del satélite diferentes) para generar un contorno de $dfpe_{\downarrow}$ combinada.

Si bien los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ a corto plazo o máximos de un sistema no OSG son generalmente los más críticos, no siempre reflejan la distribución de los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ a largo plazo de cada constelación. En otras palabras, la combinación de interferencia a corto plazo $dfpe_{\downarrow}$ en un punto no significa que este punto también sea víctima del caso de interferencia a largo plazo en caso más desfavorable.

La selección de puntos de prueba apropiados depende del objetivo del cálculo que se realiza y/o de las características de cada constelación.

Como se utilizan los mismos puntos de prueba para todos los sistemas no OSG, este método es más representativo que el Método 1 de los máximos niveles de interferencia combinada que pueden afectar a una determinada estación terrena.

3.1 Hipótesis y datos de entrada para el Método 2

Las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia, para cada sistema no OSG pueden generarse utilizando la Recomendación UIT-R S.1503. La BR pone a disposición sus programas informáticos y los datos necesarios para la Recomendación UIT-R S.1503, a fin de evaluar los límites de validación con una sola fuente de interferencia. Para calcular los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada, se utilizarán los programas informáticos de la BR para hacer una evaluación de un grupo común de puntos de estaciones terrenas de prueba de un sistema OSG, para cada sistema no OSG. Hay dos métodos para calcular los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada. En el primer Método (2A), se generan los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ en cada punto de prueba para cada constelación, utilizando los programas informáticos de la BR, y luego se calcula la $dfpe_{\downarrow}$ combinada mediante la convolución de cada una de las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ en el mismo punto de prueba. En el segundo Método (2B), los datos de la constelación para múltiples sistemas del SFS no OSG se introducen en los programas informáticos de la BR como una sola constelación.

3.2 Ejemplo del Método 2 utilizando la Recomendación UIT-R S.1503

En este ejemplo del Método 2 se indican los resultados obtenidos por las opciones 2A y 2B para el mismo grupo de puntos de estaciones terrenas, utilizando la Recomendación UIT-R S.1503 para generar los niveles de $dfpe_{\downarrow}$. Los datos técnicos correspondientes a la Recomendación UIT-R S.1503 se desarrollaron para tres constelaciones hipotéticas del SFS no OSG. En el Cuadro 2 se indican las características orbitales básicas de las constelaciones del SFS no OSG utilizadas en los programas informáticos de cálculo de la $dfpe_{\downarrow}$. Los tres sistemas del SFS no OSG son el LEO1, con 80 satélites, el LEO2, otro sistema entrelazado con el primero y que también tiene 80 satélites, y la tercera constelación de satélites no OSG MEO1, con 20 satélites. Se consideraron contornos de dfp hipotéticos de los satélites no OSG para generar los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ de validación, ajustados para proporcionar un contorno de curva de $dfpe_{\downarrow}$ que satisfaga los límites de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia especificados en los Cuadros 22-1A, 22-1B y 22-1C del Artículo 22 del RR.

CUADRO 2

Constelaciones no OSG

Constelación de satélites	Inclinación orbital (grados)	Apogeo (km)	Perigeo (km)	Número de satélites por plano	Número de planos
No OSG LEO1	53	1 469,3	1 469,3	4	20
No OSG LEO2	53	1 669,3	1 669,3	4	20
No OSG MEO1	55	10 348,66	10 348,66	5	4

Primero se calcularon las distintas distribuciones de $dfpe_{\downarrow}$, con los programas informáticos de validación de la $dfpe_{\downarrow}$, para cada una de las constelaciones en una estación terrena determinada de un sistema del SFS OSG. Se supuso que cada estación terrena apuntaba hacia un satélite OSG. El Cuadro 3 indica la posición de una estación terrena operacional y el satélite en funcionamiento, que se supone que tiene una antena de 3 m de diámetro. Se generaron los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ para las tres constelaciones del SFS no OSG utilizando los programas informáticos de la Recomendación UIT-R S.1503. En la Fig. 5 pueden verse las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para la estación terrena.

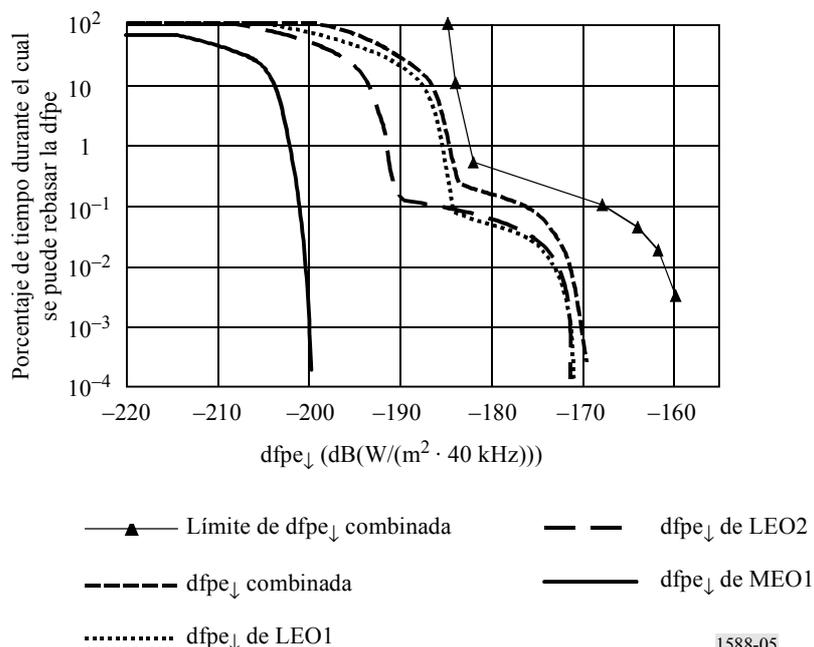
CUADRO 3

Posiciones de prueba de estaciones terrenas

Nombre de la estación terrena del ejemplo	Latitud (grados N)	Longitud (grados W)	Posición del satélite OSG (grados W)
N.º 1 (CLK)	39:13'06"	77:16'15"	18

FIGURA 5

Niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada con los programas informáticos de la BR para la estación terrena N.º 1



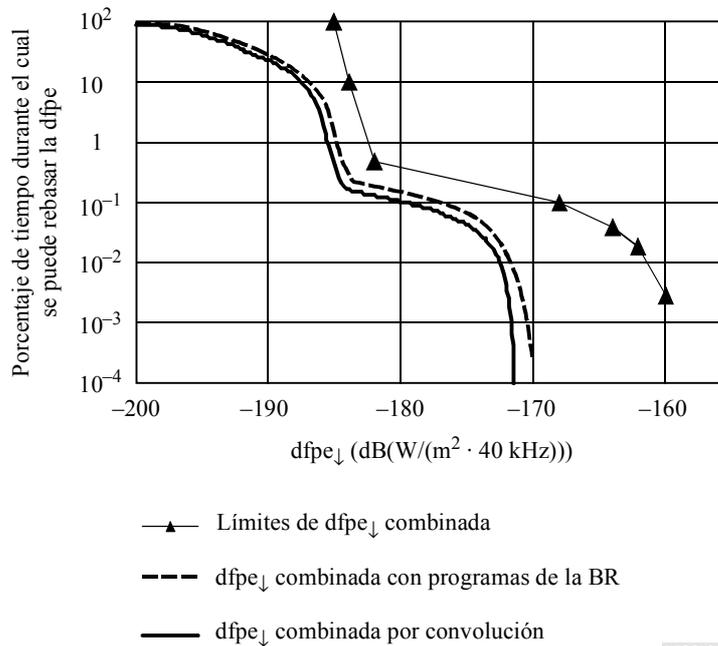
1588-05

Después se hizo la convolución de las distintas curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para cada constelación del SFS no OSG, LEO1, LEO2 y MEO1, a fin de obtener la curva de $dfpe_{\downarrow}$ combinada, como se indica en la Fig. 6.

Para la opción de Método 2B, se introdujo un conjunto de datos de una constelación global formada por los tres sistemas del SFS no OSG en los programas informáticos de la Recomendación UIT-R S.1503 y se generó la curva de $dfpe_{\downarrow}$ combinada. La curva de $dfpe_{\downarrow}$ combinada simulada reproducida en la Fig. 5 es la cuarta contando desde la izquierda.

FIGURA 6

Comparación de la $dfpe_{\downarrow}$ combinada obtenida por convolución y con los programas informáticos de la BR para la estación terrena N.º 1



1588-06

En la Fig. 6 puede verse que las opciones de convolución y de simulación producen resultados muy parecidos. Se obtuvieron resultados similares para otras cuatro estaciones terrenas situadas en América del Norte. Los resultados del ejemplo anterior indican que no había correlación entre la interferencia producida por las tres constelaciones. De los estudios realizados por la Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones se deduce que la opción de convolución es la apropiada si verdaderamente no hay correlación entre las distribuciones probabilísticas para todas las constelaciones. Sin embargo, cuando hay alguna correlación, la opción de simulación es la más indicada para comprobar la conformidad con los límites de interferencia combinada.

Cabe señalar que los actuales programas informáticos de la Recomendación UIT-R S.1503 están previstos para cálculos de la $dfpe_{\downarrow}$ de una sola constelación y con un solo punto de prueba de estación terrena, de manera que es preciso introducir algunos cambios a fin de facilitar los cálculos para varios puntos de prueba de estaciones terrenas y varias constelaciones no OSG.

3.3 Resultados de los Métodos 2A y 2B

Como ya se ha dicho, las opciones de convolución o de simulación mediante los programas informáticos de la BR permiten obtener el nivel de $dfpe_{\downarrow}$ combinada en una determinada estación terrena de un sistema del SFS OSG. Si estos métodos indican que se rebasa el límite de $dfpe_{\downarrow}$ combinada, y se dispone de información más detallada sobre la constelación no OSG, debe utilizarse el Método 3 para determinar los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada.

4 Método 3: simulación operacional

Este Método difiere del de la utilización de contornos de la dfp del satélite, basado en los programas informáticos de la BR según la Recomendación UIT-R S.1503, y se fundamenta en simulaciones más detalladas (por ejemplo la Recomendación UIT-R S.1325) que permiten modelizar las características de funcionamiento y las limitaciones de un sistema no OSG.

Este método puede dividirse en dos opciones:

- La primera opción consiste en generar curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia para cada sistema no OSG y hacer convoluciones.
- La segunda opción consiste en hacer simulaciones simultáneas de todos los sistemas no OSG en funcionamiento, para los que se está calculando el valor de interferencia combinada.

4.1 Método 3A: convolución de curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia

Con este Método es necesario generar curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para cada sistema no OSG en el mismo punto de prueba de estación terrena. Después se hace la convolución de la curva de $dfpe_{\downarrow}$ para un determinado sistema no OSG, en un punto de prueba, con las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ de los demás sistemas no OSG considerados, en ese mismo punto de prueba. Los puntos de prueba apropiados serían seleccionados según los objetivos del cálculo que se realiza y/o las características de cada constelación. Este Método puede aplicarse a varios puntos de prueba de estaciones terrenas, o simplemente a los puntos donde se instalan las estaciones terrenas, para evaluar la $dfpe_{\downarrow}$ combinada para un determinado enlace.

4.1.1 Hipótesis de las simulaciones

Se puede generar una curva de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia para cada sistema no OSG utilizando la Recomendación UIT-R S.1325.

La Recomendación UIT-R S.1325 requiere el registro de datos detallados que influirían en el resultado de las simulaciones. Es importante definir cuáles son las hipótesis de la simulación, para obtener resultados coherentes de las curvas para una sola fuente de interferencia que se utilizarán para la convolución.

En el caso del Método 3A, se propone utilizar:

- el máximo número de haces del sistema no OSG;
- la máxima potencia en los haces del sistema no OSG;
- ninguna técnica de reducción de la interferencia entre los sistemas no OSG (dado que el Método 3A está basado en la convolución de curvas para una sola fuente de interferencia, para que los cálculos no sean demasiado complejos, se propone no tener en cuenta ninguna interdependencia de los sistemas no OSG);
- los parámetros del sistema de referencia proporcionados a la BR en el Apéndice 4 del RR;
- la estrategia de conmutación de referencia, por ejemplo: la visibilidad más duradera del satélite, la mejor elevación, etc.

4.1.2 Descripción de los sistemas no OSG utilizados en las simulaciones de ejemplos

Los cuatro sistemas no OSG utilizados para hacer el análisis son ROSTELESAT, FSATMULTI-1B, USAKu-L2 y USAKu-M1 que funcionan en modo cofrecuencia en la banda 11-13 GHz. Se eligieron los Sistemas FSATMULTI-1B, USAKu-L2 y ROSTELESAT porque su distribución de $dfpe_{\downarrow}$ es bastante similar, particularmente a corto plazo. El sistema USAKu-M1 fue añadido para completar el análisis con un sistema no OSG que genera una distribución de $dfpe_{\downarrow}$ más uniforme.

El modelo de la constelación no OSG se hizo con los parámetros de la Recomendación UIT-R S.1328, introduciendo algunas modificaciones en los mismos, cuando los datos disponibles estaban incompletos o eran difíciles de interpretar. Así se hizo, particularmente, en el Sistema ROSTELESAT, cuyas condiciones de dfp en la superficie y de diagrama de antena estipuladas en la Recomendación UIT-R S.1328 fueron modificadas para proporcionar curvas de $dfpe_{\downarrow}$ ajustadas a los límites de los Cuadros 22-1A, 22-1B y 22-1C del Artículo 22 del RR con la herramienta de simulación utilizada.

Para hacer la convolución según se indica en el § 4.1, se simularon independientemente los cuatro sistemas no OSG y se calcularon estadísticas de la $dfpe_{\downarrow}$ generada por cada sistema en la misma posición de estación terrena OSG.

Se eligieron dos emplazamientos de prueba diferentes:

- El emplazamiento A fue elegido porque uno de los satélites del Sistema FSATMULTI-1B está alineado con la red OSG durante el tiempo de ejecución de la simulación y, por tanto, genera altos niveles de $dfpe_{\downarrow}$ en la red OSG.
- El emplazamiento B fue elegido porque uno de los satélites del Sistema ROSTELESAT está alineado con la red OSG durante el tiempo de ejecución de la simulación y, por tanto, genera altos niveles de $dfpe_{\downarrow}$ en la red OSG.

Si bien debe determinarse un tiempo de ejecución de simulación que sea un múltiplo del periodo orbital de los cuatro sistemas no OSG, se puede utilizar un periodo más pequeño para analizar las interacciones de los distintos parámetros. Por consiguiente, se fija arbitrariamente un tiempo de ejecución de simulación de 115 min, que es el periodo orbital del Sistema FSATMULTI-1B.

4.2 Método 3B: simulaciones simultáneas

Una simulación de múltiples sistemas del SFS no OSG basada en la Recomendación UIT-R S.1325 puede ser la metodología más precisa para determinar el nivel de interferencia de $dfpe_{\downarrow}$ combinada provocada por un sistema del SFS no OSG en las estaciones terrenas del SFS OSG. Ahora bien, esta metodología de simulación requiere más recursos informáticos. Este método es interesante, principalmente, porque permite tener en cuenta acuerdos de coordinación entre sistemas no OSG y, por tanto, hacer un modelo más preciso del sistema no OSG que contribuye a la $dfpe_{\downarrow}$ combinada. Con fines de análisis, se pueden hacer pruebas con diferentes estrategias de coordinación consideradas por la UIT.

La simulación simultánea precisa de los sistemas no OSG podría necesitar programas informáticos y datos muy específicos que no están disponibles públicamente, así como conocer los resultados de la coordinación entre los sistemas no OSG. Aunque este procedimiento puede ser más preciso, debido a su complejidad probablemente no sea considerado sino después de agotar los recursos de los Métodos 1 y 2.

El inconveniente de esta opción es que los tiempos de ejecución del cálculo pueden ser largos. Habrá que investigar más a fondo el tiempo de ejecución del programa. Hay técnicas, como el

incremento temporal aleatorio o doble, el muestreo de importancia o los métodos analíticos, que pueden ser eficaces para reducir el tiempo de ejecución.

Como esta opción permite obtener un modelo más operacional de los sistemas no OSG, si surgen problemas será más fácil encontrar soluciones operacionales que si se emplean los Métodos 1 y 2, o incluso el Método 3A.

4.2.1 Hipótesis y datos de entrada para el Método 3B

Esta metodología está basada en la utilización de las características técnicas básicas de los sistemas del SFS no OSG registrados en la BR, en la información del Apéndice 4 del RR. La metodología se basa en varias hipótesis simplificadoras que reducen la complejidad y el tiempo de ejecución de las simulaciones, pero permiten determinar los máximos niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada que podrían presentarse. A continuación puede verse un ejemplo de aplicación de esta metodología para un conjunto de sistemas del SFS no OSG.

Como en el caso del Método 3A, para utilizar la Recomendación UIT-R S.1325 es necesario definir los datos de partida para las simulaciones.

En el caso del Método 3B, se propone utilizar las siguientes hipótesis, teniendo en cuenta las técnicas de reducción de la interferencia acordadas en el proceso de coordinación no OSG/no OSG:

- haces representativos que cursan el máximo tráfico con el sistema completamente instalado;
- máxima potencia de los haces del sistema no OSG;
- estrategia de conmutación elegida en una lista de estrategias para cada sistema no OSG, o la estrategia operacional; y
- acuerdos de coordinación no OSG/no OSG.

Basándose en los distintos tipos de constelaciones del SFS no OSG estudiadas por el UIT-R hasta la fecha, se pueden sacar algunas conclusiones generales sobre las posibles distribuciones de la $dfpe_{\downarrow}$. Los sistemas LEO del SFS no OSG que funcionan con principios de puntería del haz de antena del satélite fija o por seguimiento producirán distribuciones de $dfpe_{\downarrow}$ con niveles más altos a corto plazo, que estarán concentrados en regiones más pequeñas y dependerán más de latitud. En el análisis del Sistema USAKu-L2 se observaron estos resultados.

Los sistemas LEO y MEO del SFS no OSG que utilizan puntería del haz fija o de barrido producirán distribuciones de $dfpe_{\downarrow}$ que cubrirán regiones más extensas con contornos de $dfpe_{\downarrow}$ de bajo nivel.

4.3 Comparación de los resultados entre los Métodos 3A y 3B

Para hacer una evaluación de las simulaciones, en las siguientes Figs. 7 y 8 se comparan los resultados obtenidos aplicando los Métodos 3A y 3B en cuatro sistemas no OSG. Las hipótesis utilizadas en los dos grupos de simulaciones aparecen en los § 4.1 y 4.2.

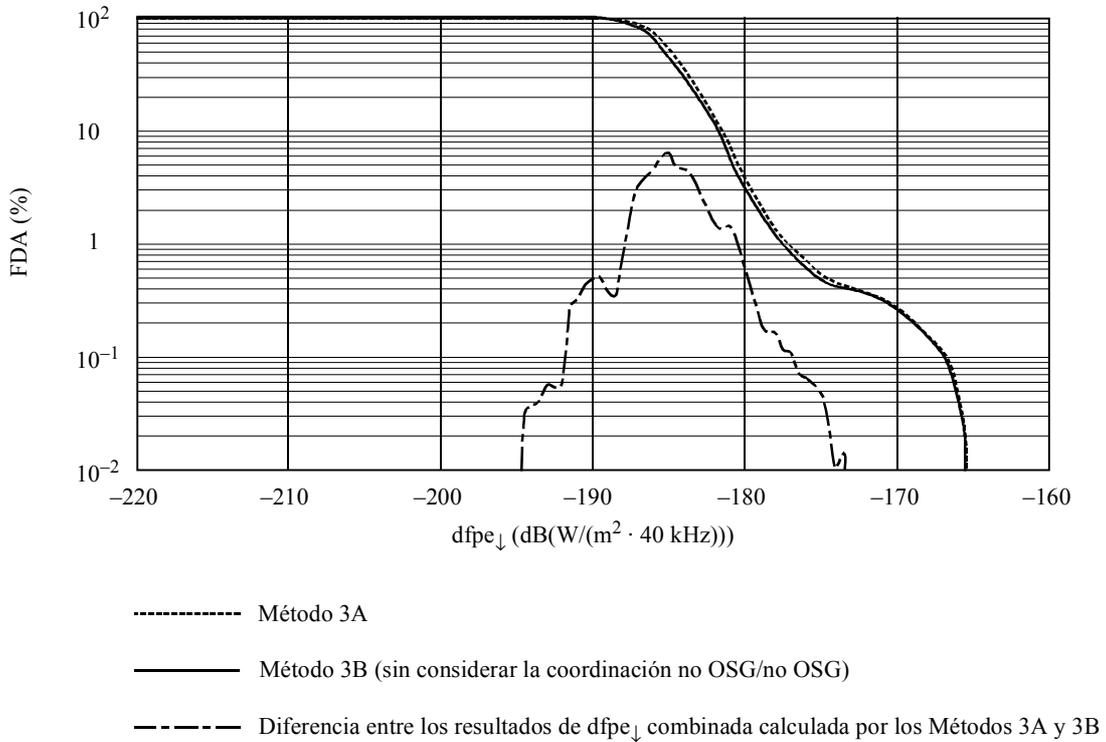
- *Primeras comparaciones:* Métodos 3A y 3B utilizando las mismas hipótesis.

El Método 3B pretende proporcionar los resultados más precisos posibles y, por consiguiente, permite emplear parámetros de partida más precisos que el Método 3A. Ahora bien, se pueden utilizar los mismos datos de entrada simplificados del Método 3A para comparar los dos métodos.

Con estas hipótesis, se considera que las constelaciones no OSG son totalmente independientes una de otra. En este caso, puede comprobarse que los Métodos 3A y 3B proporcionan resultados muy similares, con una diferencia máxima del 4% para un determinado nivel de $dfpe_{\downarrow}$.

FIGURA 7

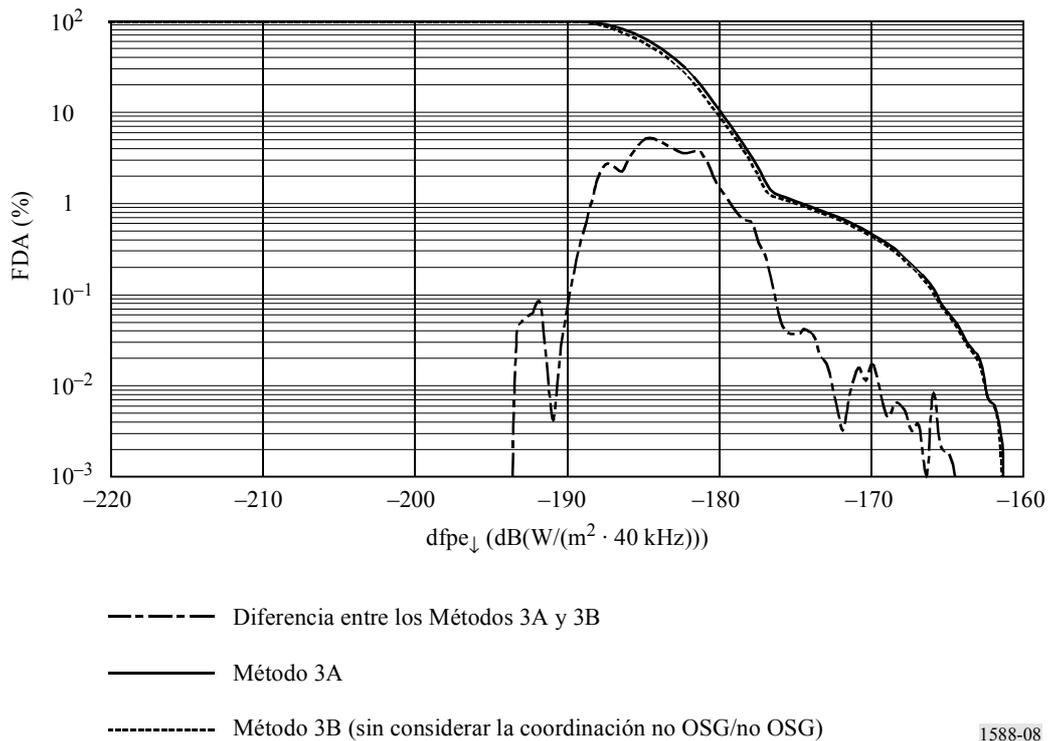
Comparación de los Métodos 3A y 3B utilizando las hipótesis de simulación del Método 3A para ambos Métodos en el punto A



1588-07

FIGURA 8

Comparación de los Métodos 3A y 3B utilizando las hipótesis de simulación del Método 3A para ambos Métodos en el punto B



1588-08

- Segunda comparación: Métodos 3A y 3B con hipótesis diferentes, como se indica a continuación.

CUADRO 4

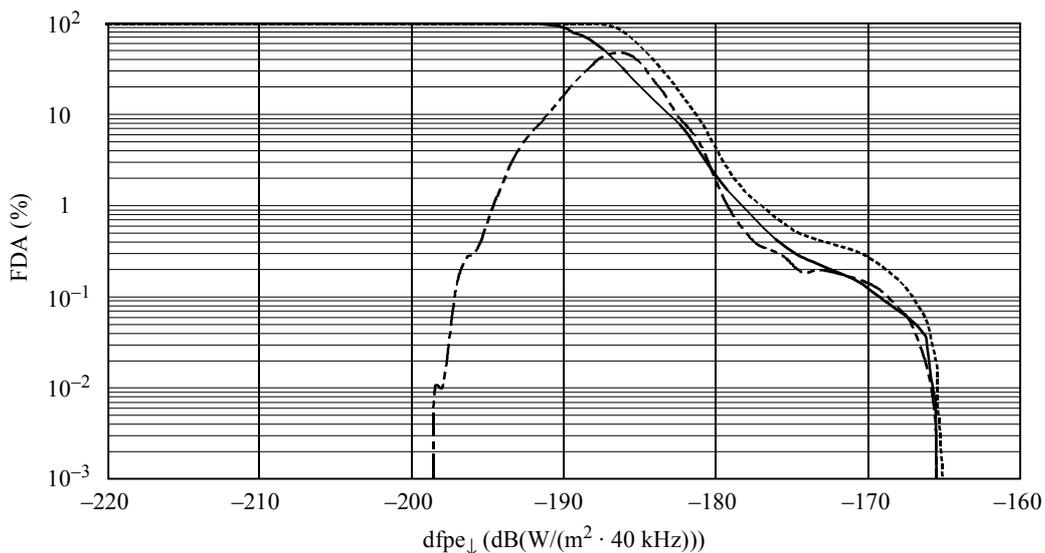
Base para la simulación con los Métodos 3A y 3B

Hipótesis	FSATMULTI-1B		USAKu-L2		USAKu-M1		ROSTELESAT	
	Método 3A	Método 3B	Método 3A	Método 3B	Método 3A	Método 3B	Método 3A	Método 3B
Implementación de tráfico	No	Sí	_(1)	_(1)	_(1)	_(1)	_(1)	_(1)
Potencia del haz	Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	Máxima	Máxima
Ángulo de evitación (grados)	-	-	-	10	-	10	-	10

(1) No se ha sugerido ningún modelo en la lista de parámetros de la Recomendación UIT-R S.1328.

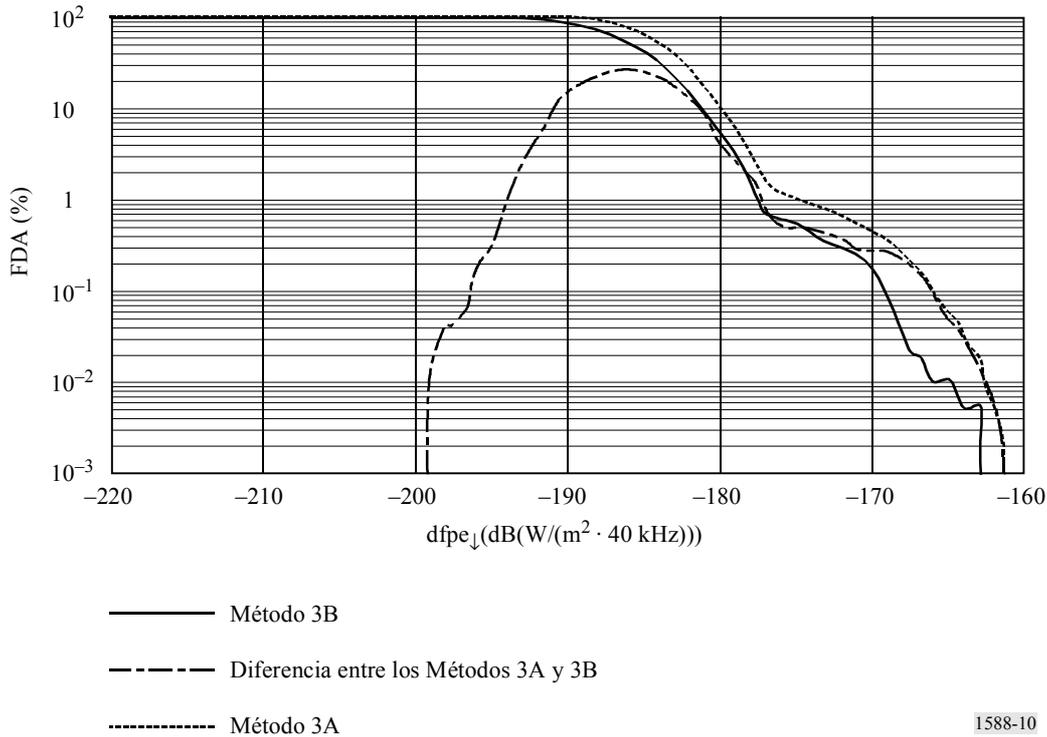
Hay una diferencia importante entre los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ que se obtienen por el Método 3A aplicado con las hipótesis simplificadas, y los resultados obtenidos por el Método 3B utilizando hipótesis más precisas. En las Figs. 9 y 10 se indica la diferencia absoluta entre los dos Métodos en los puntos A y B.

FIGURA 9
Comparación de los Métodos 3A y 3B en el punto A



- Método 3B
- - - Diferencia entre los Métodos 3A y 3B
- Método 3A

FIGURA 10
Comparación de los Métodos 3A y 3B en el punto B



1588-10

Como puede verse en las anteriores Figuras, los resultados obtenidos por los Métodos 3A y 3B pueden discrepar hasta en el 50% del tiempo a largo plazo, y hasta en el 0,2% del tiempo a corto plazo para los mismos niveles de $dfpe_{\downarrow}$. Por consiguiente, para verificar la conformidad con los límites de interferencia combinada, si las conclusiones obtenidas por los Métodos 1 y 2 son negativas, es indispensable aplicar el Método 3B para producir niveles de $dfpe_{\downarrow}$ más precisos que los niveles de interferencia combinada determinados por los dos primeros métodos.

4.4 Conclusión de la comparación de los Métodos 3A y 3B

Se hicieron cálculos similares a los descritos en el § 4.3 para una antena de estación terrena OSG de tamaño diferente y se confirmaron los resultados anteriores. Además, las simulaciones hechas en otros puntos de prueba dieron resultados similares.

La comparación de los ejercicios de simulación en este punto proporciona varias conclusiones importantes para los estudios de acumulación:

- Los Métodos 3A y 3B proporcionan resultados similares si se utilizan los mismos parámetros de entrada para los sistemas no OSG y no se utilizan los resultados de coordinación no OSG/no OSG.
- En el ejemplo, la diferencia general entre los Métodos 3A y 3B puede variar entre al menos un 50% del tiempo a largo plazo, y un 0,2% del tiempo a corto plazo.

Cualquiera que sean las hipótesis y las características utilizadas finalmente en la herramienta de cálculo, este análisis demuestra que las elecciones de algunos parámetros operacionales influye en los resultados del cálculo de la $dfpe_{\downarrow}$ combinada. Esta comparación demuestra las ventajas del Método 3B, pese a la mayor complejidad de desarrollo y ejecución de las simulaciones. Si el

modelo es diferente del que se indica en la Recomendación UIT-R S.1503, los resultados son tanto más exactos cuanto más detallado es el modelo, y los operadores de sistemas no OSG disponen de más información para evaluar la influencia probable de los parámetros operacionales en los resultados obtenidos.

5 Comparación de las metodologías

En el Cuadro 5 se comparan las ventajas e inconvenientes de los diferentes métodos.

CUADRO 5

Ventajas e inconvenientes de las metodologías de verificación de conformidad con los límites de interferencia combinada

Método	Descripción	Obtención de curvas de $dfpe_{\downarrow}$	Ventajas	Inconvenientes
1A Principio de convolución cuando cada uno de los sistemas no OSG utiliza distintos puntos de prueba de estaciones terrenas	<ul style="list-style-type: none"> Convolución de la curva $dfpe_{\downarrow}$ de cada uno de los sistemas no OSG en cada punto de prueba de estación terrena con la curva $dfpe_{\downarrow}$ para cada punto de prueba de estación terrena de los demás sistemas no OSG 	Las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia se calculan con los programas informáticos de la BR (Recomendación UIT-R S.1503)	<ul style="list-style-type: none"> Se utilizan los programas informáticos de la BR para la validación con una sola fuente de interferencia 	<ul style="list-style-type: none"> Es laborioso porque es necesario hacer muchas convoluciones Sobrestima la interferencia Si los sistemas no OSG no son conformes con los límites de interferencia combinada, es necesario aplicar los Métodos 2 y/o 3 Es necesario truncar los resultados
1B Principio de convolución, cuando cada uno de los sistemas no OSG utiliza la envolvente de las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ en distintos puntos de prueba de estaciones terrenas	<ul style="list-style-type: none"> Se calcula la envolvente de las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia, para cada punto de prueba de estación terrena Convolución de todas las curvas envolventes de $dfpe_{\downarrow}$ 	Las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia se calculan con los programas informáticos de la BR (Recomendación UIT-R S.1503)	<ul style="list-style-type: none"> Se utilizan los programas informáticos de la BR para la validación con una sola fuente de interferencia Permite estimar rápidamente los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ combinada 	<ul style="list-style-type: none"> Sobrestima la interferencia Si los sistemas no OSG no son conformes con los límites de interferencia combinada, es necesario aplicar los Métodos 2 y/o 3 Es necesario truncar los resultados

CUADRO 5 (Continuación)

Método	Descripción	Obtención de curvas de $dfpe_{\downarrow}$	Ventajas	Inconvenientes
<p>2A</p> <p>Convolución según la Recomendación UIT-R S.1503 para calcular la $dfpe_{\downarrow}$ en los mismos puntos de prueba de estaciones terrenas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se calcula una serie de curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia utilizando la Recomendación UIT-R S.1503 - Se calculan curvas para una sola fuente de interferencia en los mismos puntos de prueba - Convolución de las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ en cada punto de prueba 	<p>Las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia son generadas utilizando los programas informáticos de la BR (Recomendación UIT-R S.1503)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor precisión que el Método 1 - Necesita menos información que el Método 3 (no necesita información patentada de constelaciones no OSG) - Más sencillo que el Método 2B 	<ul style="list-style-type: none"> - No tiene en cuenta la correlación temporal entre sistemas no OSG - Es necesario truncar los resultados en el principio de convolución
<p>2B</p> <p>Simulación de $dfpe_{\downarrow}$ combinada utilizando la Recomendación UIT-R S.1503 en los mismos puntos de prueba de estaciones terrenas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se calcula una serie de curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia utilizando la Recomendación UIT-R S.1503 - Se calculan curvas para una sola fuente de interferencia en los mismos puntos de prueba - Se utilizan los programas informáticos de la Recomendación UIT-R S.1503 para generar la $dfpe_{\downarrow}$ combinada en cada punto de prueba 	<p>Las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ combinada se pueden calcular con los programas informáticos de la BR (Recomendación UIT-R S.1503)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor precisión que los Métodos 1 y 2A - Necesita menos información que el Método 3 (basado exclusivamente en la información del Apéndice 4 del RR) - El principio de simulación tiene en cuenta una posible correlación temporal - Más sencillo y más rápido que el Método 3 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor precisión que el Método 3 - Posiblemente se tengan que modificar los programas informáticos de la BR

CUADRO 5 (Fin)

Método	Descripción	Obtención de curvas de $dfpe_{\downarrow}$	Ventajas	Inconvenientes
<p>3A</p> <p>Convoluciones de puntos representativos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se calcula una serie de curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia utilizando la Recomendación UIT-R S.1503 - Se calculan curvas para una sola fuente de interferencia en los mismos puntos de prueba - Se utilizan los programas informáticos de la Recomendación UIT-R S.1503 para generar la $dfpe_{\downarrow}$ combinada en cada punto de prueba 	<ul style="list-style-type: none"> - Las curvas de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia se calculan aplicando un principio de simulación detallada (por ejemplo, la Recomendación UIT-R S.1325) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor precisión que los Métodos 1 y 2 - Necesita menos información que el Método 3B - Según las hipótesis, puede ser más fácil de realizar que el Método 3B 	<ul style="list-style-type: none"> - No tiene en cuenta la posible correlación temporal entre sistemas no OSG - Podría necesitarse información patentada sobre las constelaciones
<p>3B</p> <p>Simulación simultánea</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Simulaciones según la Recomendación UIT-R S.1325 - Simulación simultánea de todos los sistemas no OSG en funcionamiento, para obtener directamente la distribución de $dfpe_{\downarrow}$ combinada en un punto determinado 	<ul style="list-style-type: none"> - Simulaciones según la Recomendación UIT-R S.1325 - Se tienen en cuenta los resultados de coordinación no OSG/no OSG 	<ul style="list-style-type: none"> - Es el método más preciso si se tienen los datos apropiados - No es necesario truncar - Contiene información técnica detallada que se puede ajustar para modificar los resultados de $dfpe_{\downarrow}$ combinada - Tiene en cuenta las correlaciones temporales y la coordinación entre sistemas no OSG 	<ul style="list-style-type: none"> - Necesita programas informáticos más complejos que los Métodos 1 y 2 - Necesita recursos informáticos considerables - Podría necesitarse información patentada sobre las constelaciones