

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1595

**Técnicas de reducción de la interferencia para facilitar la coordinación entre sistemas del servicio fijo por satélite con satélites no geostacionarios en órbita muy elíptica y sistemas del servicio fijo por satélite con satélites no geostacionarios en órbita terrestre baja y media**

(Cuestión UIT-R 231/4)

(2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que en algunas bandas de frecuencias es necesario que los sistemas de satélites en la órbita de los satélites no geostacionarios (no OSG) coordinen con otros sistemas de satélites no OSG si se produce superposición de frecuencias;
- b) que los sistemas que utilizan órbitas muy elípticas (HEO, *highly elliptical orbits*) tienen características muy peculiares, tales como la transmisión y recepción únicamente durante un largo periodo de actividad (normalmente en torno al apogeo) de un solo satélite a lo largo de una gama específica de valores de latitud y longitud, arcos de servicio estables y predecibles y el hecho de que sólo se necesitan unos pocos satélites para proporcionar cobertura a todo un hemisferio;
- c) que los estudios han demostrado que sin la utilización de las técnicas de reducción de la interferencia será imposible que los sistemas no OSG compartan las mismas frecuencias y satisfagan los objetivos de calidad de funcionamiento;
- d) que los estudios han demostrado que existen varias técnicas diferentes de reducción de la interferencia que pueden permitir la compartición de los sistemas no OSG;
- e) que la eficacia de una técnica de reducción de la interferencia para realizar su cometido puede venir determinada por la mejora de distintos parámetros de calidad de funcionamiento; a saber,  $C/I$ ,  $I/N$  o  $C/(I + N)$ ;
- f) que si el valor de la relación  $C/N$  en condiciones de cielo despejado es elevado, del orden de 25 a 35 dB, las gamas típicas para valores de  $I/N$  admisibles pueden tener un efecto despreciable en el comportamiento del enlace con cielo despejado; es decir, la relación  $C/(N + I)$  obtenida utilizando y sin utilizar técnicas de reducción de la interferencia;
- g) que en la situación descrita en el *considerando* f), la relación  $C/I$  puede ser un parámetro más útil que la relación  $I/N$  para evaluar la eficacia de las técnicas de reducción de la interferencia;
- h) que, en situaciones distintas a las descritas en el *considerando* f), puede ser más adecuado utilizar la relación  $I/N$  para evaluar la eficacia de las técnicas de reducción de la interferencia;

- j) que hay algunos sistemas no OSG funcionando en el servicio fijo por satélite (SFS) que presentan valores elevados de la relación  $C/N$  en condiciones de cielo despejado, del orden de 25 a 35 dB;
- k) que en la Recomendación UIT-R S.1323 aparecen metodologías para determinar los máximos niveles de interferencia admisible entre sistemas del SFS con satélites no OSG;
- l) que los máximos niveles de interferencia admisible indicados en la Recomendación UIT-R S.1323 se basan en un aumento de la indisponibilidad del sistema o la/red interferidos,

*recomienda*

- 1 que se considere la utilización de las técnicas de reducción de la interferencia descritas en el Anexo 1 a esta Recomendación para facilitar la coordinación entre sistemas del SFS no OSG en HEO y sistemas del SFS no OSG en órbitas terrestres bajas (LEO) y órbitas terrestres medias (MEO) cuando se necesita coordinación con arreglo al del número 9.12 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) (véanse las Notas 1 y 2);
- 2 que los sistemas del SFS no OSG con el requisito de un elevado valor de la relación  $C/N$  en condiciones de cielo despejado, del orden de 25 a 35 dB, utilicen como punto de partida para evaluar la interferencia el valor de  $C/I$  como criterio para determinar la eficacia de las técnicas de reducción de la interferencia (véase la Nota 3);
- 3 que al realizar una evaluación más detenida de la eficacia de las técnicas de reducción de la interferencia se tengan también en cuenta las metodologías descritas en la Recomendación UIT-R S.1323.

NOTA 1 – El Anexo 2 demuestra que las técnicas de reducción de la interferencia descritas en el Anexo 1 puede tener consecuencias negativas en el funcionamiento de los sistemas que las aplican (por ejemplo, en la cobertura, en la capacidad, etc.). La importancia de estas consecuencias varía con las características del sistema.

NOTA 2 – Las técnicas de reducción de la interferencia del Anexo 1 también pueden aplicarse a la compartición entre sistemas HEO no homogéneos. Se necesitan más estudios para determinar esta aplicabilidad.

NOTA 3 – Puede que sean adecuados otros criterios de interferencia en el caso de sistemas del SFS no OSG con requisitos típicos en los valores de  $C/N$  con cielo despejado.

## ANEXO 1

### Técnicas de reducción de la interferencia

Este Anexo presenta un resumen de las técnicas de reducción de la interferencia que pueden utilizar los sistemas no OSG para facilitar la compartición entre sistemas no OSG en HEO y sistemas no OSG en LEO y MEO. Se han identificado y estudiado cuatro técnicas para reducir la interferencia. Este Anexo no representa una lista exhaustiva de dichas técnicas ya que pueden aparecer otras en el futuro. Estas técnicas de reducción de la interferencia y las combinaciones de las mismas son útiles en diversos grados para facilitar la compartición entre sistemas no OSG en HEO y sistemas no OSG en LEO y MEO. Puede que en algunos casos sea más conveniente determinar la técnica de reducción de la interferencia óptima que debe aplicarse entre dos sistemas del SFS no OSG cualesquiera, uno de los cuales es un HEO, durante la etapa de coordinación entre sistemas. El Anexo 2 presenta un ejemplo de los resultados de las simulaciones utilizando estas técnicas de reducción de la interferencia.

## 1 Diversidad de satélites

Se dice que se ha producido un suceso en línea cuando un satélite no OSG interferente se encuentra directamente entre la estación terrena no OSG deseada y el satélite no OSG deseado. Mediante la diversidad de satélites el sistema no OSG interferente evita los sucesos en línea seleccionando otro satélite visible (con haces disponibles) siempre que el satélite activo vaya a provocar un suceso en línea con un satélite que funciona en otro sistema del SFS no OSG. Para realizar esta técnica, se utiliza un ángulo de evitación de  $X^\circ$  con referencia a la estación terrena interferida. Se ubica un cono hipotético de  $X^\circ$  alrededor del enlace entre la estación terrena interferida y el satélite interferido asignado al enlace descendente de dicha estación terrena. Cuando un satélite del sistema interferente entra en dicho cono, se impide al satélite interferente transmitir en el interior del radio de la célula de la estación terrena interferida.

La diversidad de satélites supone realizar un proceso de traspaso (conmutación) debido a que es necesario volver a seleccionar el satélite para evitar la interferencia. La diversidad de satélites puede exigir un proceso complejo en el que es necesaria la cooperación entre los sistemas implicados. Esta técnica de reducción de la interferencia requiere el conocimiento detallado de la ubicación de ambos satélites de los sistemas no OSG y disminuye la capacidad de servicio del sistema de satélites que utiliza la técnica de reducción de la interferencia.

Para utilizar la diversidad de satélites como técnica de reducción de la interferencia es preciso diseñar el sistema del SFS no OSG interferente con un número suficiente de satélites y con los haces necesarios por satélite capaces de dar servicio simultáneamente a un emplazamiento de una estación terrena determinada. No todos los sistemas no OSG satisfacen estos criterios.

## 2 Estrategias de selección del satélite

El algoritmo elegido para la selección del satélite por parte de un sistema del SFS no OSG determinado puede mejorar la capacidad de compartición de dicho sistema con otros sistemas del SFS no OSG. En general, las estaciones terrenas se comunicarán con el satélite que se encuentre con el ángulo de elevación mayor. Si un sistema elige utilizar una técnica de seguimiento distinta, como por ejemplo la de seleccionar el satélite que presente la mayor discriminación angular con respecto a los satélites de otros sistemas del SFS no OSG, la situación de compartición puede mejorar a expensas de una mayor complejidad y/o una menor capacidad de funcionamiento del sistema. Esta técnica de reducción de la interferencia exige un conocimiento detallado del emplazamiento de los satélites de ambos sistemas.

## 3 Diversidad de emplazamientos de la estación terrena

En algunos casos, puede que sea posible utilizar diversidad de emplazamientos de la estaciones terrenas como técnica de reducción de la interferencia. Esta técnica implica la separación de las estaciones terrenas de manera que cuando aparece un suceso en línea el satélite interferente no está apuntando hacia la estación terrena interferida sino hacia otra estación terrena alejada. Esto asegura que no se produce ninguna interferencia de haz principal a haz principal, sino interferencia de lóbulo lateral a haz principal lo que disminuye el volumen de interferencia. Cuantas menos estaciones terrenas intervengan más práctica resulta esta solución. Esta técnica de reducción de la interferencia disminuye el número de estaciones terrenas que puede utilizar un sistema no OSG y restringe los emplazamientos de dichas estaciones terrenas. Por lo tanto, se reduce la capacidad en el suelo y la posibilidad de dar servicio a ciertas zonas, pero no necesariamente la capacidad en el satélite.

## 4 Evitación del apogeo HEO

La evitación del apogeo HEO utiliza un concepto similar a la técnica de evitación del arco OSG propuesta para varios sistemas no OSG que tienen previsto funcionar en las bandas 17,8-18,6 GHz y 19,7-20,2 GHz en las que se requiere la protección de las redes OSG y por los sistemas no OSG con arreglo al Artículo 22 del RR. El fundamento de este concepto utiliza el hecho de que un arco de servicio del apogeo HEO puede definirse basándose en el hecho de que muchos sistemas HEO emplean una inclinación de aproximadamente 63° y un argumento del perigeo de 270° ó 90°. Muchos sistemas HEO utilizan esta inclinación común porque para las órbitas elípticas inclinadas el argumento del perigeo cambia debido al empuje gravitatorio no uniforme ejercido por la Tierra. La gravitación lunar y solar son causas secundarias del movimiento del argumento del perigeo. Para una órbita del tipo HEO es necesario mantener estable el argumento del perigeo de manera que la parte operativa de la órbita (donde el satélite permanece la mayor cantidad de tiempo) sea coherente en el mismo lugar situado encima de la tierra. La fórmula para determinar la velocidad de cambio del argumento del perigeo es la siguiente:

$$\dot{\omega} = \frac{4,982}{(1 - e^2)^2} \left( \frac{R_e}{a} \right)^{3,5} (5 \cos^2 i - 1) \quad \text{grados/día}$$

siendo

$\dot{\omega}$ : velocidad de cambio del argumento del perigeo

$e$ : excentricidad de la órbita

$R_e$ : radio de la Tierra

$a$ : semieje mayor de la órbita

$i$ : inclinación de la órbita

Cuando la inclinación de la órbita es de 63,4° o de 116,6°, el argumento del perigeo permanece constante puesto que para esos valores  $\cos^2 i = 1/5$  y  $\dot{\omega}$  es cero. Por lo tanto, para cualquier valor del semieje mayor y la excentricidad de la órbita del satélite, si la inclinación es de 63,4° el argumento del perigeo (y por lo tanto el apogeo del arco de servicio) es constante y está bien definido. Se define un arco de servicio del apogeo HEO septentrional cuando el argumento del perigeo para la HEO es 270°. Se crea un arco de servicio del apogeo HEO meridional cuando el argumento del perigeo para las HEO es 90°.

Si se conocen los emplazamientos de las estaciones terrenas del sistema HEO, los haces de los satélites LEO o MEO pueden dirigirse lejos de dichas estaciones terrenas cuando dichos satélites LEO o MEO se encuentran dentro del arco de servicio del apogeo HEO. Si los sistemas HEO tienen estaciones terrenas instaladas en cualquier lugar, el satélite LEO o MEO debe dirigir los haces lejos de todos los emplazamientos de estaciones terrenas en las que puede aparecer un suceso en línea

cuando el satélite LEO o MEO se encuentra en el arco de servicio del apogeo HEO. Esta reorientación de los haces impide la conjunción en línea y, en consecuencia, disminuye hasta niveles aceptables la interferencia entre los dos satélites no OSG sin que sea necesario conocer detenidamente el emplazamiento de los satélites HEO. Esta técnica de reducción de la interferencia disminuye la capacidad de servicio del sistema de satélites que la utiliza. La reorientación de los haces lejos de varios emplazamientos conocidos de estaciones terrenas tiene menos repercusiones en la capacidad de cobertura del satélite de los sistemas interferentes que la reorientación de los haces lejos de todos los posibles emplazamientos de estaciones terrenas en el caso de que éstas puedan estar instaladas en cualquier lugar.

## ANEXO 2

### **Resultados de las simulaciones utilizando técnicas de reducción de la interferencia**

#### **1 Características del sistema**

Las simulaciones dinámicas de este estudio se realizaron utilizando los datos que figuran en la información sobre coordinación del Apéndice 4 del RR, en la Recomendación UIT-R S.1328 y en diversas contribuciones del UIT-R. Se caracterizan cinco sistemas mediante la información que aparece en el Cuadro 1: dos sistemas LEO, dos sistemas MEO y un sistema HEO. En todos los sistemas se supone que la estrategia de selección del satélite para el funcionamiento nominal es la del ángulo de elevación más alto, a menos que se indique otra cosa para una técnica de reducción de la interferencia. En el modelo del sistema USCSID-P los satélites no transmiten a ninguna estación terrena cuando la latitud del punto subsatelital del satélite HEO es inferior a  $35^\circ$ , a fin de proteger el arco OSG. Esta técnica de evitación de la OSG es una característica de funcionamiento típica de los sistemas HEO y no pretende reflejar las características reales del sistema USCSID-P.

Los modelos de los emplazamientos de las estaciones terrenas de cada sistema son círculos concéntricos en torno a una estación terrena situada en el mismo emplazamiento que el sistema no OSG interferido. La distancia entre las estaciones terrenas se basó en la anchura de haz del enlace descendente del satélite de manera que el satélite no OSG no causase autointerferencia. Para el sistema HEO sólo se modeló una estación terrena porque las estaciones terrenas de este sistema están muy alejadas entre sí y varias estaciones terrenas no tendrían ningún efecto acumulativo sobre los resultados de las simulaciones.

**CUADRO 1**  
**Características del sistema**

<b>Característica</b>	<b>USCSID-P</b>	<b>LEOSAT-1</b>	<b>LEOSAT-2</b>	<b>USAMEO-2</b>	<b>USAMEO-3</b>
Número de satélites	8	288	63	15	20
Número de planos	8	12	7	3	4
Número de satélites por plano	1	24	9	5	5
Separación entre planos (grados)	45	15,36	51,43	120	90
Inclinación (grados)	63	84,7	48	50	55
Altitude de l'orbite (km)	Apogeo = 39 400 Perigeo = 1 000	1 375	1 400	10 355	10 352
Desfase entre planos (grados)	$45*(j-1) j = 1, 3, 5, 7$ $45*(j+1) j = 2, 4, 6, 8$	Aleatorio	28,57	24	0
Mínimo ángulo de elevación de la estación terrena (grados)	3	40	16	25	30
<i>Parámetros de transmisión del enlace descendente</i>					
Anchura de banda de la portadora (MHz)	3 200	500	35	222	133,47
Control de potencia	No	No	Sí	No	No
Ganancia de cresta del receptor de la estación terrena (dB)	70 y 59,5	34,1	34,2	51,7	35,9
Diagrama de la antena de recepción de la estación terrena	Rec. UIT-R S.1428	Rec. UIT-R S.1428	Rec. UIT-R S.1428	Rec. UIT-R S.1428	Rec. UIT-R S.1428
Diámetro de la antena de recepción de la estación terrena (m)	20 y 6	0,3	0,35	2,2	0,36
Temperatura de ruido del receptor de la estación terrena (K)	255	288	678,4	259,6	192
Ganancia de cresta del transmisor del satélite (dB)	51	34,7 a 35,7	34,3	41,28	44,6
Diagrama de la antena de transmisión del satélite	Rec. UIT-R S.672	-0,5 borde de zona de cobertura, -25 lóbulo lateral cercano, -30 lóbulo lateral lejano	Rec. UIT-R S.672 $L_N = -25$ dB	Rec. UIT-R S.672 $L_N = -25$ dB	Rec. UIT-R S.672 $L_N = -25$ dB
p.i.r.e. del transmisor del satélite (dBW)	70	53,9	37,22	42,5	60,34
Número de haces de transmisión con la misma frecuencia y la misma polarización	1	8	260	24	20
Número de estaciones terrenas modeladas	1	91	91	91	91

## 2 Análisis

Se realizaron simulaciones para determinar la eficacia de las distintas técnicas de la reducción de la interferencia y observar la repercusión de estas técnicas en los distintos sistemas analizados. La interferencia, en forma de  $C/I$ , se compara con un valor umbral determinado. Para estas simulaciones este umbral se fijó arbitrariamente a un valor de  $C/I = 20$  dB. En el caso de un valor elevado de  $C/N$  en condiciones de cielo despejado, como 35 dB, la lluvia puede disminuir esta cantidad hasta unos 20 dB. El efecto de la lluvia incluye la atenuación de la señal, un aumento en la temperatura del ruido del receptor de la estación terrena y (en el caso de polarización doble) un incremento en la interferencia de polarización cruzada. Un valor de  $C/N$  de 20 dB combinado con un valor de  $C/I$  de 20 dB da un valor de la relación  $C/(N + I)$  de 17 dB, que se considera suficiente para la calidad de funcionamiento del enlace en este estudio. El umbral de  $C/I$  elegido no refleja el umbral de  $C/I$  real de ninguno de los sistemas modelados y puede perfeccionarse utilizando el criterio especificado en la Recomendación UIT-R S.1323 (reducción combinada de la indisponibilidad del 10%). Adicionalmente, debe considerarse la probabilidad conjunta de desvanecimiento e interferencia. Sin embargo, para este análisis la interferencia se considera aceptable si el valor de  $C/I$  resultante es igual o superior a 20 dB.

La repercusión que tiene la aplicación de una técnica de reducción de la interferencia determinada se mide por la disminución en el número de satélites del sistema que utiliza dicha técnica que están disponibles para dar servicio a una zona determinada. Otro tipo de repercusión, que no se incluye en este estudio, es el incremento en el volumen y complejidad de la conmutación necesaria para implantar las técnicas de reducción de la interferencia. Sin embargo, cabe señalar que el sistema HEO modelado no está diseñado para una conmutación compleja. Los satélites del sistema USCSID-P tienen un solo haz y aunque en estas simulaciones se ha modelado la técnica de reducción de la interferencia de diversidad de satélites, el USCSID-P no es capaz de realizar la conmutación necesaria para aplicar dicha técnica.

Las simulaciones se realizaron durante 100 días con intervalos de tiempo de 0,5 s. Los casos contemplados examinaban la interferencia causada por los sistemas LEOSAT-1, LEOSAT-2, USAMEO-2 y USAMEO-3 a antenas de estaciones terrenas pequeñas y grandes del sistema USCSID-P. También se examinó la interferencia provocada por el sistema USCSID-P en los sistemas LEO y MEO. A continuación se indican algunas hipótesis adicionales realizadas en las simulaciones:

- A fin de seleccionar un satélite no OSG para el funcionamiento nominal, cada estación terrena no OSG utilizó la estrategia de selección del satélite basada en el criterio del mayor ángulo de elevación.
- Si el satélite con el mayor ángulo de elevación no estaba disponible debido a las técnicas de reducción de la interferencia o todos los haces estaban dando servicio a otras estaciones terrenas, se eligió el siguiente satélite con el ángulo de elevación más alto.
- Si no había satélites disponibles en el sistema interferente debido a las técnicas de reducción de la interferencia o todos los haces estaban dando servicio a otras estaciones terrenas (es decir, no había suceso de interferencia), se fijó la relación  $C/I$  a un valor elevado de manera que las estadísticas no estuvieran sesgadas.
- Los sistemas LEO y MEO de muestra tienen previsto instalar estaciones terrenas en cualquier lugar. Esta situación se reprodujo situando una rejilla de estaciones terrenas en torno a una estación terrena LEO/MEO central ubicada con una sola estación terrena HEO.

- Las estaciones terrenas LEO y MEO se situaron en una rejilla en torno a la estación terrena HEO. El tamaño de la célula y la distancia necesaria para la reutilización de frecuencias determinaron la distancia entre las estaciones terrenas LEO y MEO. Las estaciones terrenas se alinearon en círculos concéntricos centrados en la estación terrena HEO.
- Sólo se permitió a un haz del satélite no OSG transmitir a una célula no OSG.

En este estudio se realizaron modelos de cuatro técnicas de la reducción de la interferencia: diversidad de satélites, diversidad de emplazamientos de la estación terrena, criterio de selección del satélite y evitación del apogeo HEO. Se examinaron todas las técnicas de reducción de la interferencia en los casos de sistemas LEO y MEO protegiendo al sistema HEO y de sistema HEO protegiendo a los sistemas LEO y MEO, salvo en el caso de evitación del apogeo HEO. Se examinó la técnica de evitación del apogeo HEO con respecto al sistema HEO protegiendo a los sistemas LEO y MEO, en el sentido de que si el sistema LEO o MEO utiliza la evitación del apogeo HEO deben determinarse cuáles son las ventajas para estos sistemas con respecto a la interferencia procedente del sistema HEO.

## 2.1 Diversidad de satélites

La diversidad de satélites es una técnica de reducción de la interferencia que normalmente no pueden utilizar los sistemas de satélites que emplean HEO, pues la mayoría de estos sistemas no están diseñados para tener múltiples satélites con múltiples haces por satélite capaces de dar servicio simultáneamente a un emplazamiento de estación terrena determinada. Aun así, no hay ningún concepto en la definición de una HEO o de cualquier otra órbita que impida la utilización de diversidad de satélites.

En el Cuadro 2 aparecen las características de varios sistemas HEO. Examinando este Cuadro puede observarse que la parte operativa de la mayoría de estas órbitas es bastante pequeña. Los sistemas están diseñados de forma que cuando un satélite se desplaza fuera de la parte operativa de la órbita, otro satélite está entrando en la misma. Normalmente estos sistemas funcionan bajo la hipótesis de que durante la mayor parte del tiempo sólo hay un satélite en la ventana de funcionamiento definida.

La doble cobertura por satélite en el caso de un sistema HEO generalmente no es necesaria para proporcionar cobertura continua. Una constelación HEO diseñada para tener muchos satélites visibles o accesibles a una estación terrena durante más de un breve periodo de tiempo tendría unas características muy distintas de las de un sistema HEO. Por consiguiente, la diversidad de satélites no parece ser la técnica de reducción de la interferencia óptima para los sistemas HEO puesto que ello exigiría diseñar estos sistemas de manera que pudiesen funcionar con una ventana operativa mayor, un menor valor del mínimo ángulo de elevación y unas estaciones terrenas más complejas, así como incorporar satélites adicionales a las constelaciones. La utilización de una ventana operativa más amplia aumentaría la interferencia causada a los satélites OSG. Una disminución del mínimo ángulo de elevación incrementaría la complejidad del sistema de seguimiento de la estación terrena. La incorporación de nuevos satélites a la constelación incrementaría tanto el coste como la complejidad. Cabe señalar que estas repercusiones normalmente son aplicables a cualquier sistema no OSG. Sin embargo, si se toman estas medidas aumentaría la posibilidad de coordinar con otros sistemas no OSG.

Para determinar el ángulo de evitación adecuado ilustrado en la Fig. 1, se realizaron varias simulaciones a fin de establecer el ángulo de evitación más apropiado que permita satisfacer el valor umbral de  $C/I$ . La diversidad de satélites aprovecha las ventajas de la discriminación de ganancia de antena que puede proporcionar la antena de una estación terrena.

CUADRO 2

**Parámetros orbitales de sistemas HEO**

Sistema	1	2	3	4	5	6
Altitud del apogeo (km)	35 970	44 640,5	Aproximadamente 39 000	35 800	52 700	40 000
Altitud del perigeo (km)	4 500	26 931,5	500	35 800	18 900	31 600
Excentricidad	0,59	0,21	0,74	0 (circular)	0,4	0,1
Periodo orbital	Aproximadamente 12 h	23 h 56 min	11,97 h	23 h 56 min	23 h 56 min	23 h 56 min
Inclinación orbital (grados)	50	42,5	63,43	63,4	60	40
Tramo operativo de la órbita	Desde 4 h antes del apogeo hasta 4 h después del apogeo	Desde 4,5 h antes del apogeo hasta 3,5 h después del apogeo	3,5 h alrededor del apogeo	(Véase la Nota 1)	4 h	6 h
Número de satélites en la constelación	3 ó 4	3 ó 4	7	(Véase la Nota 1)	6	4

CUADRO 2 (Continuación)

Sistema	7	8	9	10	11	12
Altitud del apogeo (km)	50 400	52 400	20 180	34 800	39 300	27 470
Altitud del perigeo (km)	21 200	19 200	20 180	20 600	1 075	310
Excentricidad	0,347	0,393	0	0,55	0,72	0,67
Periodo orbital	23 h 56 min	23 h 56 min	Aproximadamente 12 h	Aproximadamente 12 h	Aproximadamente 12 h	Aproximadamente 8 h
Inclinación orbital (grados)	63,4	63,4	63,4	45	63,4	45
Tramo operativo de la órbita	6 h	4 h	2 h	8 h	6 h	4 h
Número de satélites en la constelación	4	6	12	3	4	6

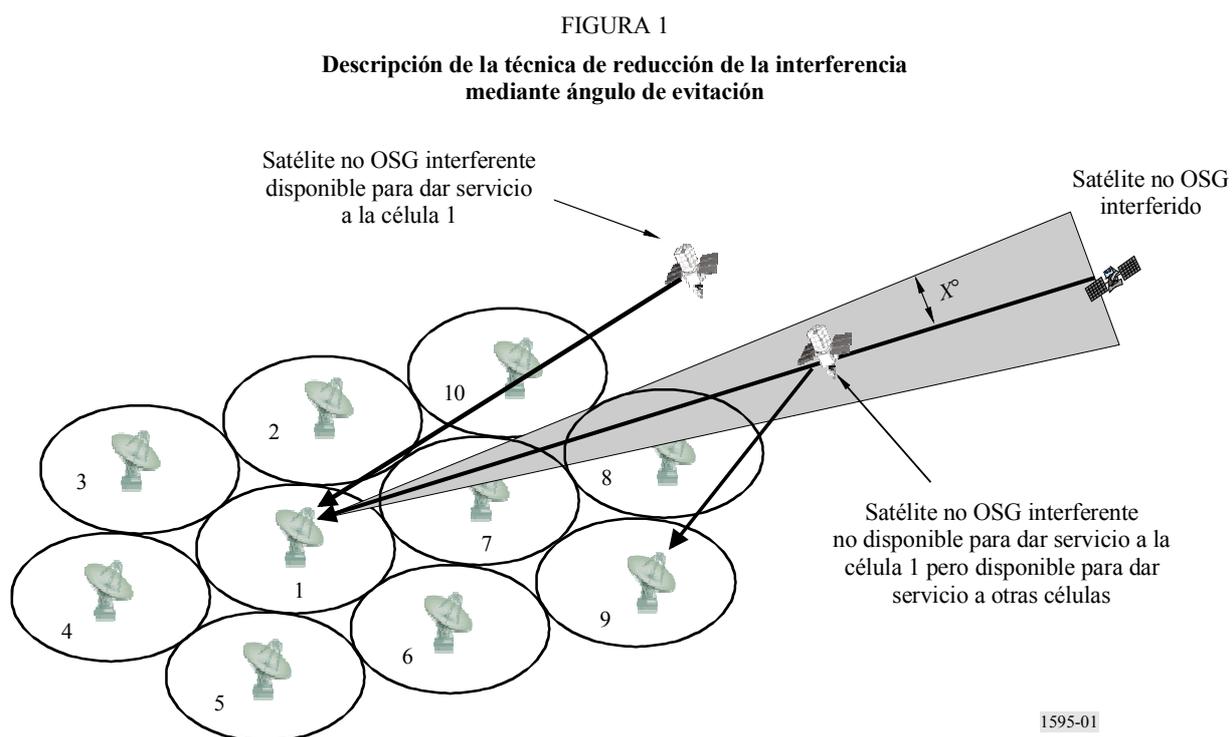
CUADRO 2 (Fin)

Sistema	Casi OSG 1 Rec. UIT-R S.1328-2 (Cuadro 1, p. 8)	USAKU-H1 Rec. UIT-R S.1328-2 (Cuadro 24, p. 36)	Tanya Rec. UIT-R S.1328-2 (Cuadro 25, p. 37)	USAKU-H2 Rec. UIT-R S.1328-2 (Anexo 13, § 3, p. 59)	LEO E <sup>(1)</sup> Rec. UIT-R S.1328-2 (Cuadro 1, p. 2)
Altitud del apogeo (km)	40 000	41 449	41 449	27 288,3	7 846
Altitud del perigeo (km)	1 000	4 100	4 100	517,4	520
Excentricidad	0,73	0,64	0,64	0,66	0,35
Periodo orbital	12 h	14 h	14 h	8 h	3 h
Inclinación orbital (grados)	63	63,4	63,4	63,435	116,6
Tramo operativo de la órbita	No disponible	No disponible	No disponible	Latitud del satélite por encima de 45°	No disponible
Número de satélites en la constelación	8	12	4	15	10

<sup>(1)</sup> El sistema LEO E es un sistema del servicio móvil por satélite (SMS) que establece enlaces de conexión.

NOTA 1 – En el caso de la órbita descrita para los sistemas 4, 5, 6, 7 y 8, el siguiente Cuadro indica el tramo operativo de la órbita y el correspondiente número de satélites en la constelación:

Tramo operativo de la órbita	4 h	8 h	6 h	4 h 48 min	3 h 26 min	3 h
Número de satélites en la constelación	6	3	4	5	7	8



En el Cuadro 3 aparecen los ángulos utilizados en estas simulaciones. En la primera mitad de dicho Cuadro figuran los ángulos necesarios para reducir la interferencia causada al sistema USCSID-P. Se realizaron análisis para determinar la interferencia provocada en las antenas de estaciones terrenas de gran tamaño y de pequeño tamaño del citado sistema USCSID-P. El ángulo de evitación en este Cuadro representa el mayor de los dos ángulos o el ángulo de evitación requerido para disminuir suficientemente la interferencia a fin de satisfacer el valor umbral de 20 dB en las antenas receptoras de la estación terrena tanto de gran tamaño como de pequeño tamaño. La segunda mitad del Cuadro 3 señala los ángulos de evitación necesarios en el USCSID-P a fin de alcanzar apenas el valor umbral de *C/I* en los sistemas LEO y MEO. Cabe señalar que el sistema USCSID-P tiene únicamente un haz por satélite y no fue diseñado para realizar complicados algoritmos de conmutación. Las simulaciones indican que esta técnica de reducción de la interferencia puede funcionar adecuadamente si el sistema HEO se diseña para llevar a cabo este tipo de conmutación; sin embargo el USCSID-P no ha sido diseñado de esta forma.

**CUADRO 3**  
**Ángulos de evitación**

<b>Reducción de la interferencia causada al USCSID-P</b>		<b>Reducción de la interferencia por parte del USCSID-P</b>	
<b>Sistema que debe reducir la interferencia</b>	<b>Ángulo de evitación (grados)</b>	<b>Sistema en el que se debe reducir la interferencia</b>	<b>Ángulo de evitación (grados)</b>
LEOSAT-1	18,0	LEOSAT-1	2,7
LEOSAT-2	12,0	LEOSAT-2	3,3
USAMEO-2	0,1	USAMEO-2	1,7
USAMEO-3	2,8	USAMEO-3	2,6

Como puede observarse en el Cuadro 3, los ángulos de evitación que deben utilizarse en los sistemas LEO para no causar interferencia al sistema HEO son mucho más elevados que esos mismos ángulos en el caso del sistema MEO.

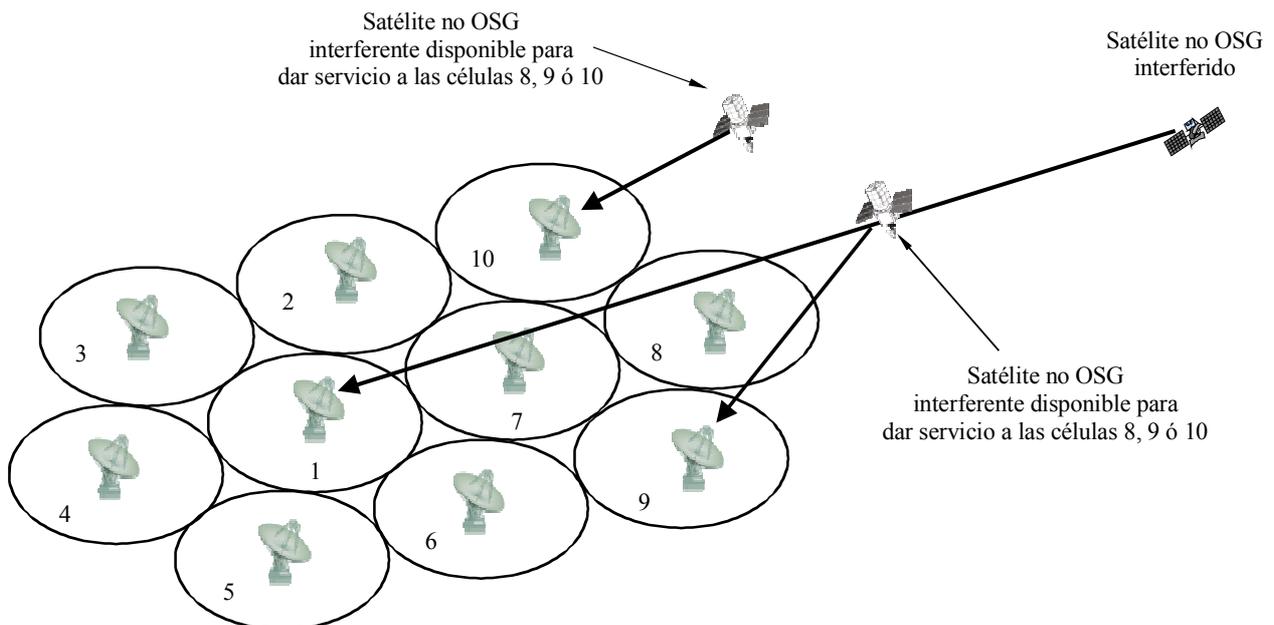
Esta técnica disminuirá la capacidad de reducción de la interferencia del sistema no OSG y requiere conocer el emplazamiento orbital de ambos satélites de los sistemas no OSG. Para este análisis el grado en que se reduce la capacidad se caracteriza por la disminución en el número de satélites disponibles para dar servicio a un emplazamiento determinado de la Tierra.

## 2.2 Diversidad de emplazamientos de la estación terrena

La segunda técnica de reducción de la interferencia examinada fue la diversidad de emplazamientos de las estaciones terrenas. Esta técnica consiste en separar las estaciones terrenas de manera que cuando los satélites presentan una geometría en línea, el satélite interferente no está orientado hacia la estación terrena que podría ser interferida sino hacia otra estación terrena alejada. Ello asegura que no se produce ninguna interferencia de haz principal a haz principal sino una interferencia de lóbulo lateral a haz principal, disminuyendo de esa forma el volumen de la interferencia. La diversidad de emplazamiento de la estación terrena aprovecha la discriminación de ganancia de la antena que puede proporcionar la antena de un satélite. Cuanto menor sea el número de estaciones terrenas implicadas más práctica resulta esta solución. Esta técnica de reducción de la interferencia disminuye el número de estaciones terrenas que puede utilizar un sistema no OSG y limita el emplazamiento de dichas estaciones terrenas. Esta técnica fue modelada en la simulación suprimiendo estaciones terrenas de la rejilla de estaciones terrenas para las constelaciones LEO y MEO; en la Fig. 2 puede verse un ejemplo. El número de estaciones terrenas que debían suprimirse, o la distancia entre las estaciones terrenas interferentes e interferidas, se determinó realizando varias pruebas de simulación hasta hallar la distancia adecuada que permitiese apenas satisfacer el valor umbral de  $C/I$ . El Cuadro 4 indica el número de estaciones terrenas suprimidas para cada caso y los resultados de estas supresiones.

FIGURA 2

### Descripción de la técnica de reducción de la interferencia por diversidad de emplazamientos de las estaciones terrenas



Las estaciones terrenas interferentes de las células 1-7 han sido suprimidas del supuesto, únicamente permanece la estación terrena interferida en la célula 1.

## CUADRO 4

## Separación de las estaciones terrenas

## Reducción de la interferencia causada al USCSID-P

Sistema que debe reducir la interferencia	Número de estaciones terrenas	Resultados
LEOSAT-1	Coubicada más 4 anillos	Mejora, no satisface el criterio de 20 dB
LEOSAT-2	Coubicada más 3 anillos	Satisface el criterio de 20 dB
USAMEO-2	Coubicada	Satisface el criterio de 20 dB
USAMEO-3	Coubicada más 4 anillos	Mejora, no satisface el criterio de 20 dB

## Reducción de la interferencia por parte del USCSID-P

Sistema en el se que debe reducir la interferencia	Número de estaciones terrenas	Resultados
LEOSAT-1	Coubicada más 1 anillo	Satisface el criterio de 20 dB
LEOSAT-2	Coubicada más 1 anillo	Satisface el criterio de 20 dB
USAMEO-2	Coubicada más 3 anillos	Satisface el criterio de 20 dB
USAMEO-3	Coubicada más 1 anillo	Satisface el criterio de 20 dB

La repercusión de esta técnica de reducción de la interferencia no se refleja necesariamente en la capacidad utilizable de los satélites sino que más bien limita el número de estaciones terrenas a las que un determinado satélite no OSG puede dar servicio en una zona concreta y también disminuye el número de emplazamientos de dichas estaciones terrenas. Esta técnica también exige conocer todos los posibles emplazamientos de las estaciones terrenas interferidas.

### 2.3 Estrategia de selección del satélite

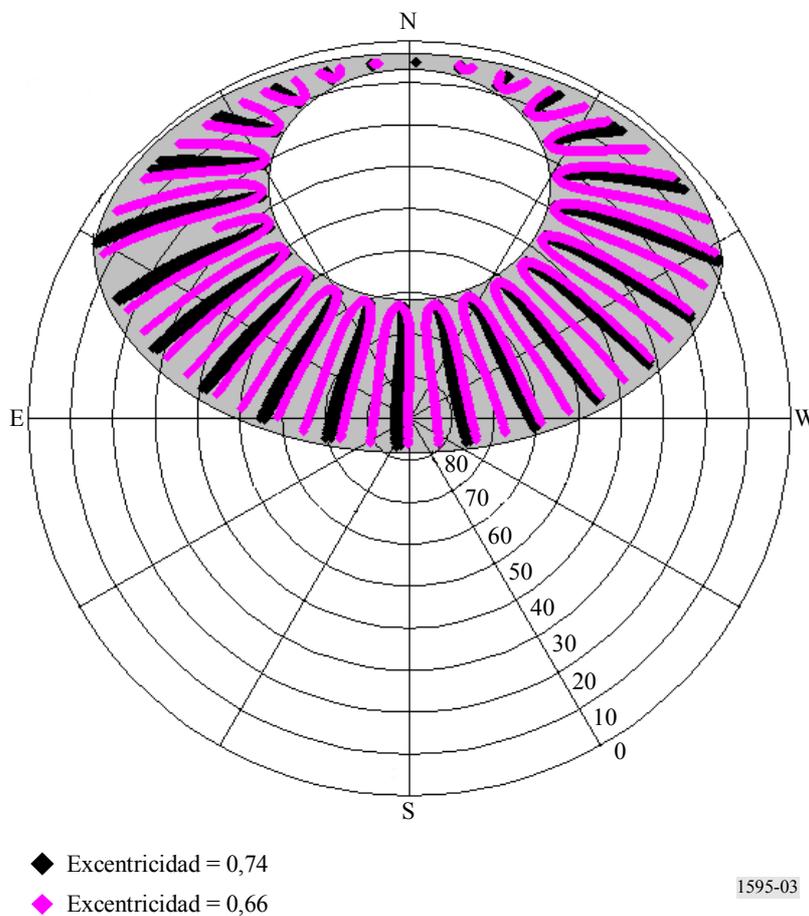
La tercera técnica de reducción de la interferencia modelada para este análisis fue una selección de satélite alternativo. En general, las estaciones terrenas seleccionarán un satélite basándose en el ángulo de elevación más alto. Esta técnica de reducción de la interferencia pretende mejorar la situación de interferencia basándose en una estrategia según la cual las estaciones terrenas seleccionarán el satélite que presenta la mayor discriminación angular con respecto a los satélites de los otros sistemas no OSG. Esta técnica también requiere conocer la posición orbital de los dos satélites de los sistemas no OSG. Aunque esta técnica no disminuye el número de satélites visibles, la cantidad de conmutación necesaria podría aumentar y la calidad del servicio puede resultar degradada debido a la utilización con mayor frecuencia de enlaces con un menor ángulo de elevación. La utilización de estos enlaces con un menor ángulo de elevación puede disminuir también el ángulo de separación con el arco OSG, pero no por debajo de una mínima separación definida para cada sistema.

## 2.4 Evitación del apogeo HEO

Se realizaron simulaciones utilizando un argumento de perigeo de  $270^\circ$ , una estación terrena situada a  $40^\circ$  de latitud y dos hipótesis distintas de arco de servicio HEO. La primera hipótesis, representada en la Fig. 3, muestra un satélite HEO funcionando cuando la latitud del punto subsatelital es superior a  $35^\circ$ . El porcentaje de cielo ocupado por los satélites HEO es de aproximadamente el 32%. La segunda hipótesis reduce el arco del servicio HEO a  $\pm 3$  h en torno al apogeo, disminuyendo por consiguiente de forma muy significativa el arco de servicio. El porcentaje de cielo ocupado por el satélite HEO en este caso es del 16%. Estas hipótesis de servicio representan funcionamientos típicos de algunos sistemas de satélites HEO, pero no todos.

FIGURA 3

Acimut y elevación hacia el arco de servicio del apogeo HEO desde una latitud de  $40^\circ$  (órbita de 12 h)  
(el satélite HEO transmite únicamente cuando la latitud del punto subsatelital es superior a  $35^\circ$ )



En todos los casos, la interferencia causada al sistema HEO disminuyó por debajo del valor umbral objetivo cuando los sistemas LEO y MEO evitaron el arco de servicio del apogeo HEO, definido como la parte gris de la traza celeste representada en la Fig. 3. Cuando los sistemas LEO y MEO utilizan esta técnica también resultan beneficiados al disminuir la interferencia procedente del sistema HEO. Aunque en muchos casos la interferencia causada por el sistema HEO en los sistemas LEO y MEO no alcanzó el valor umbral objetivo, disminuyó de forma significativa.

Esta técnica reduce la capacidad del sistema no OSG interferente pero no exige conocer el emplazamiento orbital de los satélites del sistema HEO interferido. Para este análisis el grado en que se reduce la capacidad viene definido por la disminución del número de satélites disponibles para dar servicio a un emplazamiento determinado en la superficie de la Tierra.

### 3 Resultados

En las Figs. 4 a 11 se representan las funciones de distribución acumulativa (FDA) de la relación  $C/I$  para la simulación de la interferencia causada por cada uno de los sistemas LEO y MEO en el sistema HEO utilizando y sin utilizar técnicas de reducción de la interferencia. Las Figs. 12 a 15 presentan las FDA para la simulación de la interferencia provocada por el sistema HEO en cada uno de los sistemas LEO y MEO empleando y sin emplear técnicas de reducción de la interferencia. Las Figs. 16 a 20 representan las estadísticas sobre el número de satélites disponibles a una estación terrena situada a  $40^\circ$  de latitud cuando el sistema interferente funciona en modo nominal sin reducción de la interferencia, cuando el sistema interferente funciona utilizando diversidad de satélites (discriminación angular) para reducir la interferencia causada al sistema no OSG deseado y cuando el sistema interferente utiliza ambos casos de evitación HEO. No son necesarias las estadísticas sobre el número de satélites disponibles para la técnica de reducción de la interferencia mediante separación de estaciones terrenas o mediante selección de satélites alternativos puesto que estas opciones no afectan al número de satélites disponibles para su utilización.

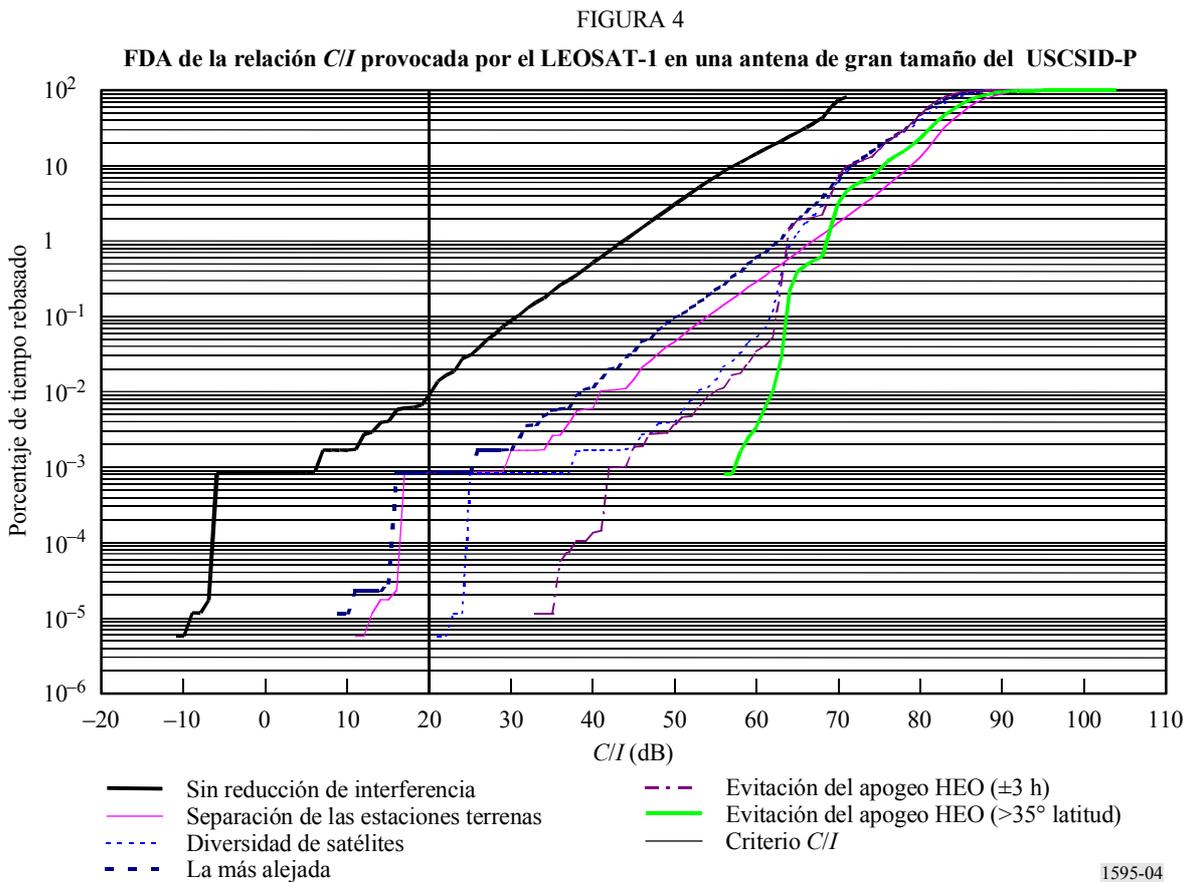


FIGURA 5

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el LEOSAT-1 en una antena pequeña del USCSID-P

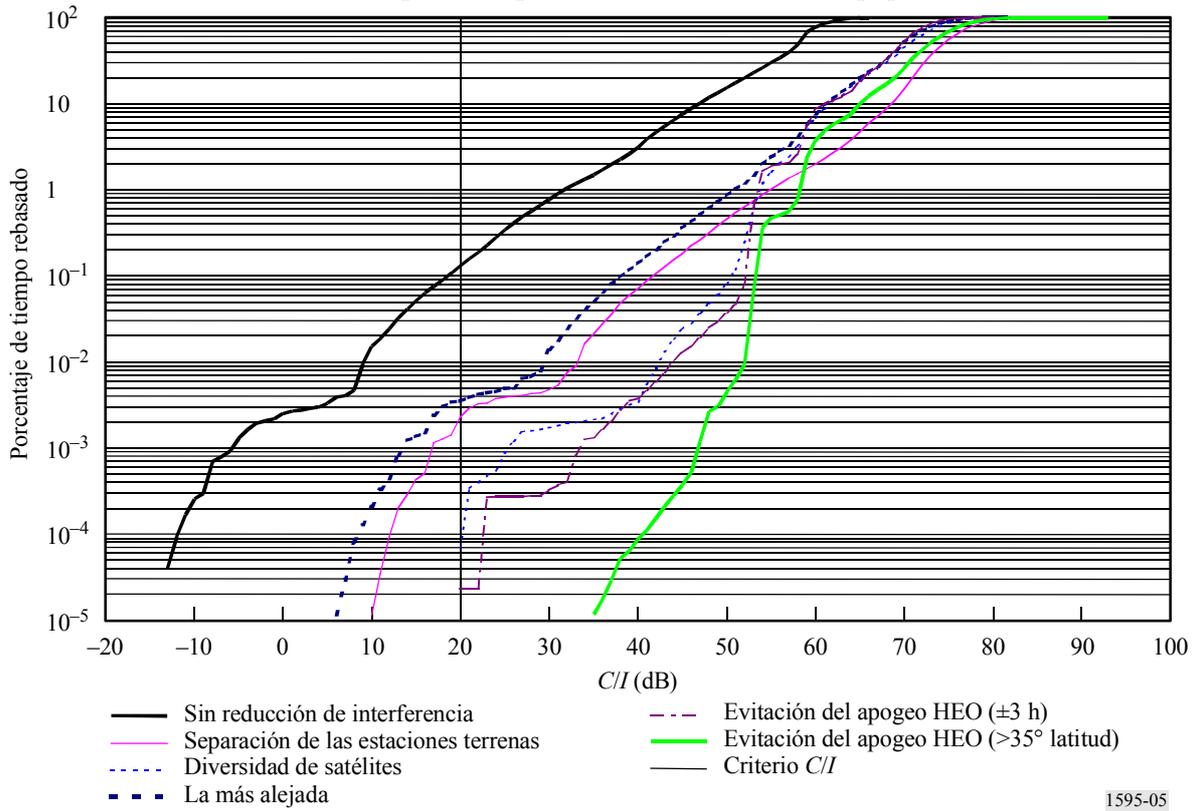


FIGURA 6

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el LEOSAT-2 en una antena de gran tamaño del USCSID-P

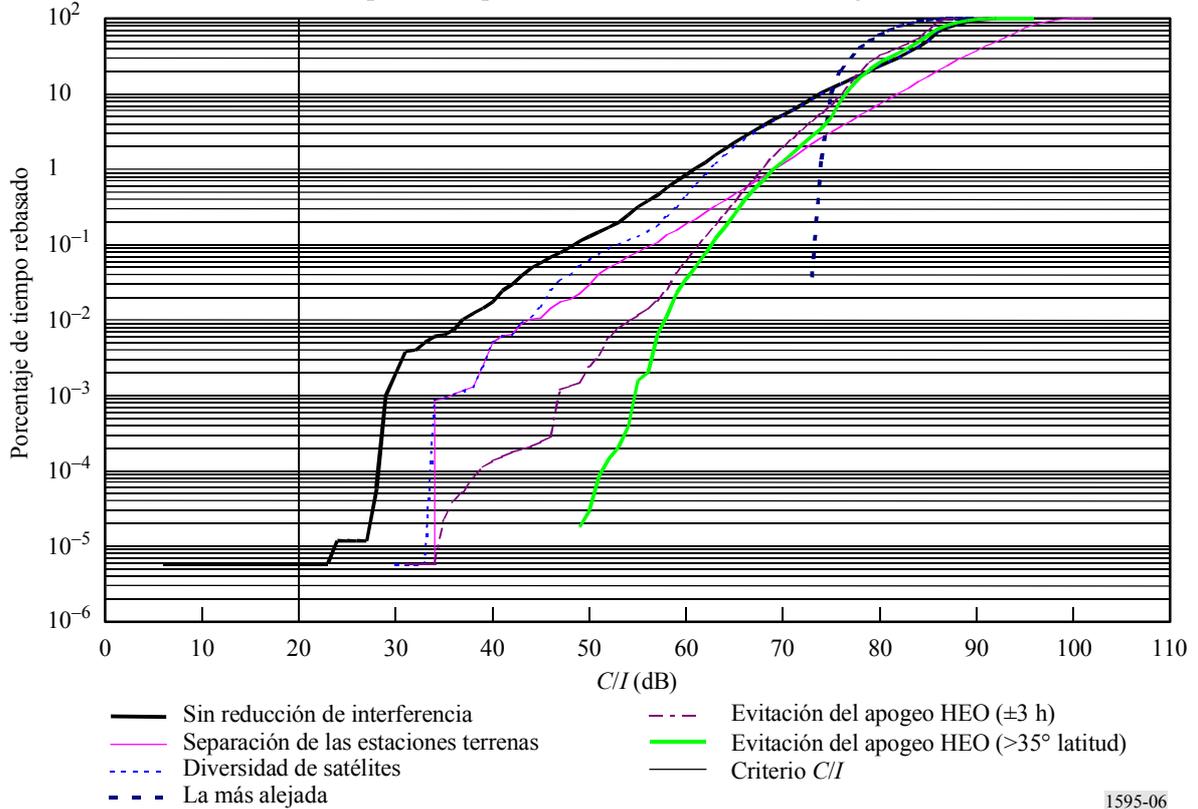


FIGURA 7

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el LEOSAT-2 en una antena pequeña del USCSID-P

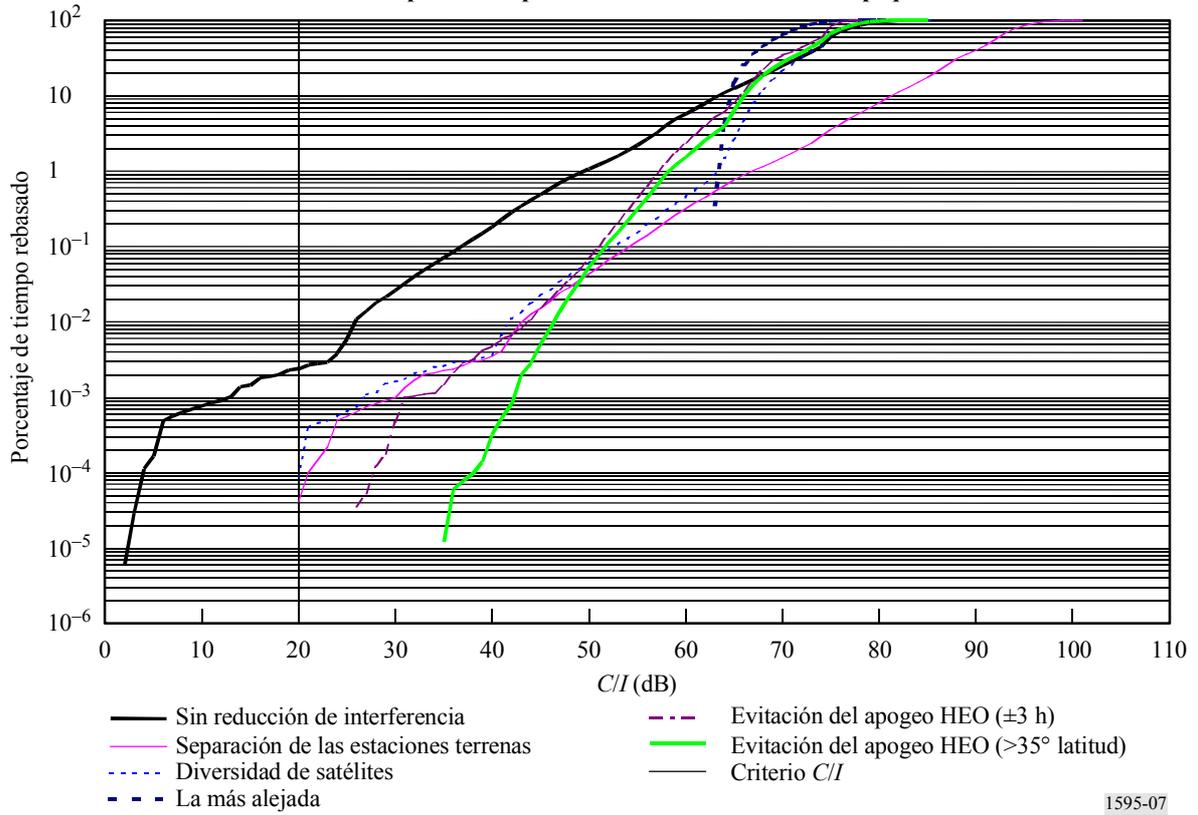


FIGURA 8

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el USAMEO-2 en una antena de gran tamaño del USCSID-P

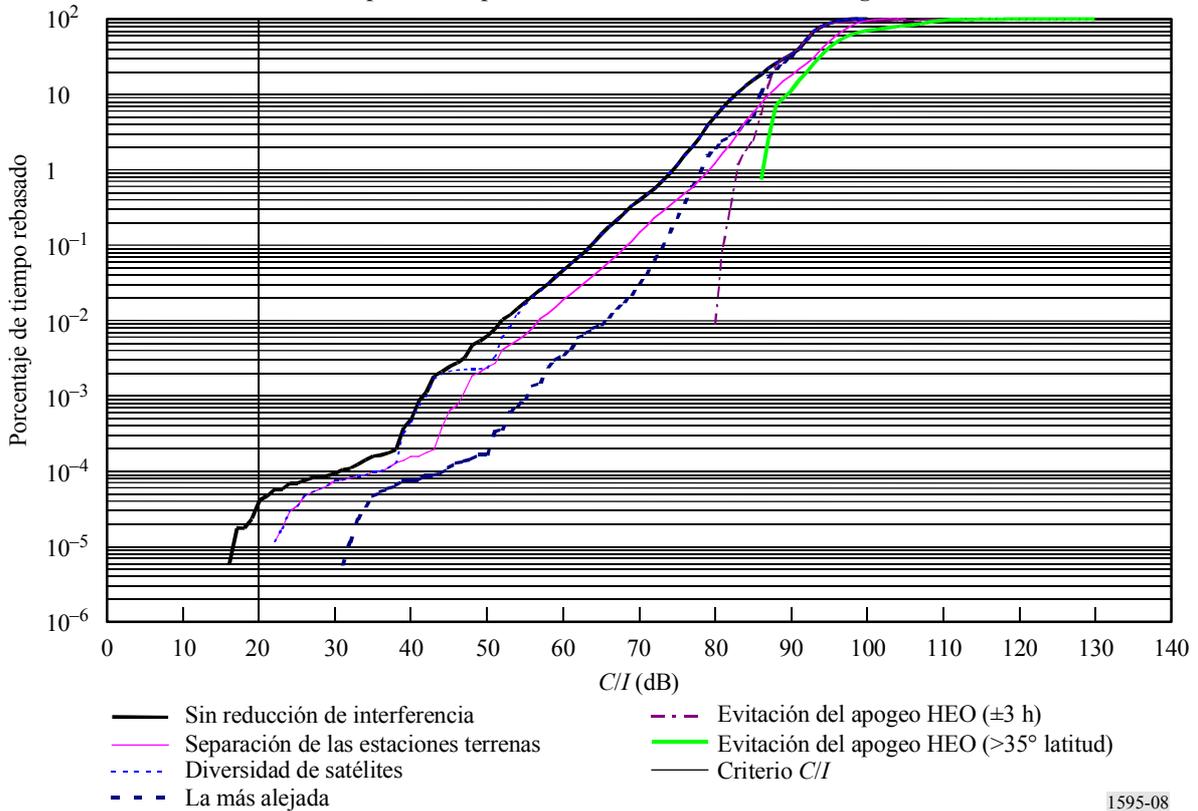


FIGURA 9

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el USAMEO-2 en una antena pequeña del USCSID-P

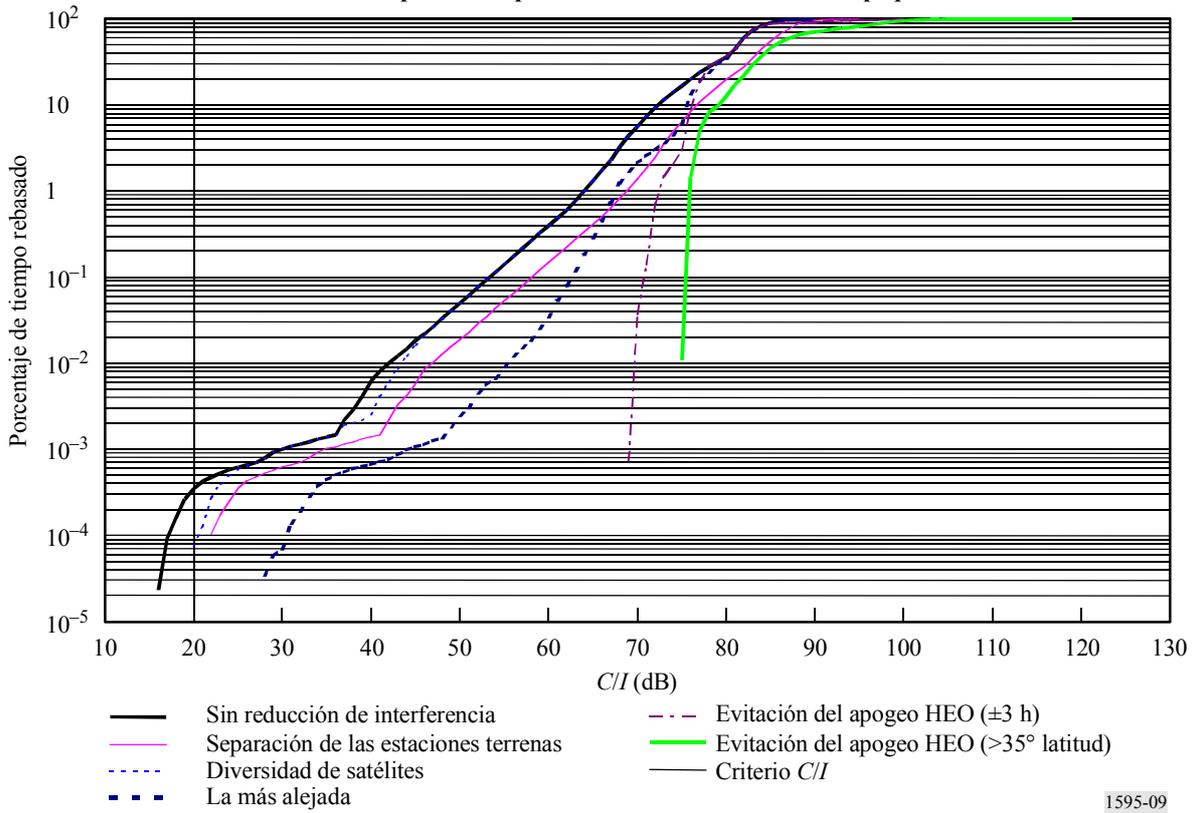


FIGURA 10

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el USAMEO-3 en una antena de gran tamaño del USCSID-P

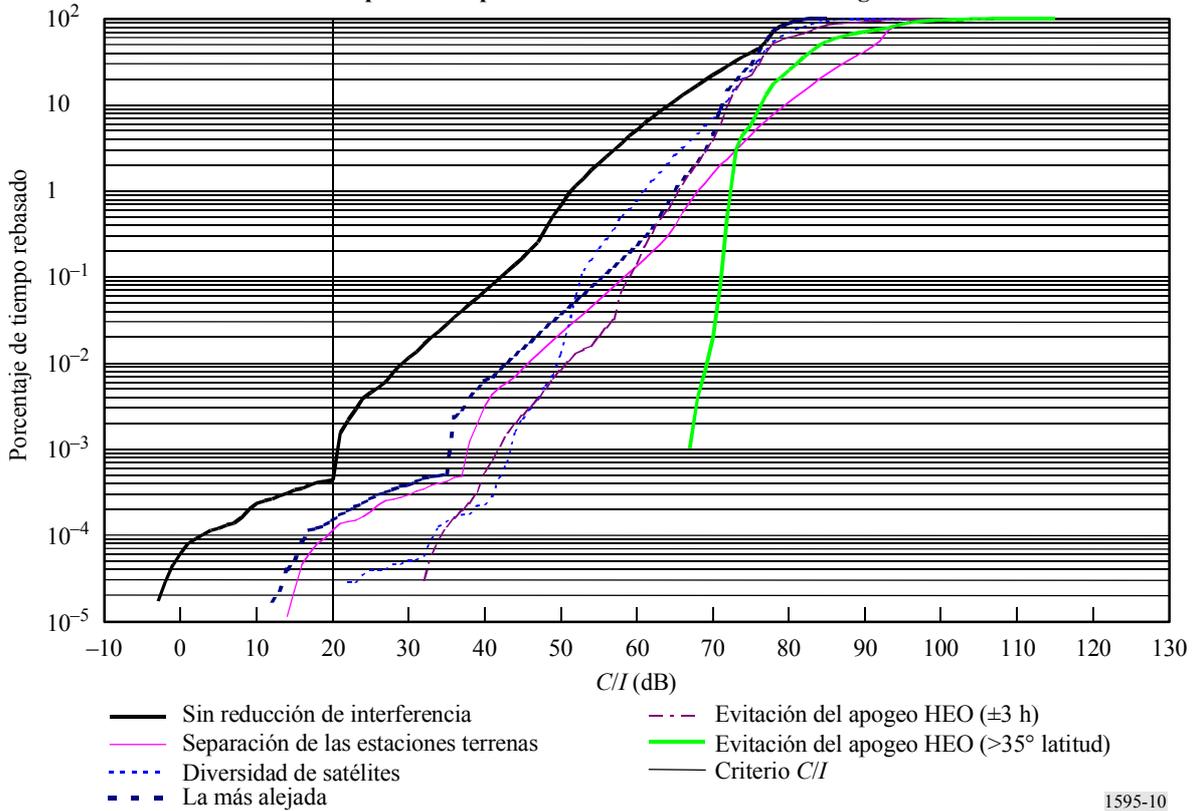


FIGURA 11

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el USAMEO-3 en una antena pequeña del USCSID-P

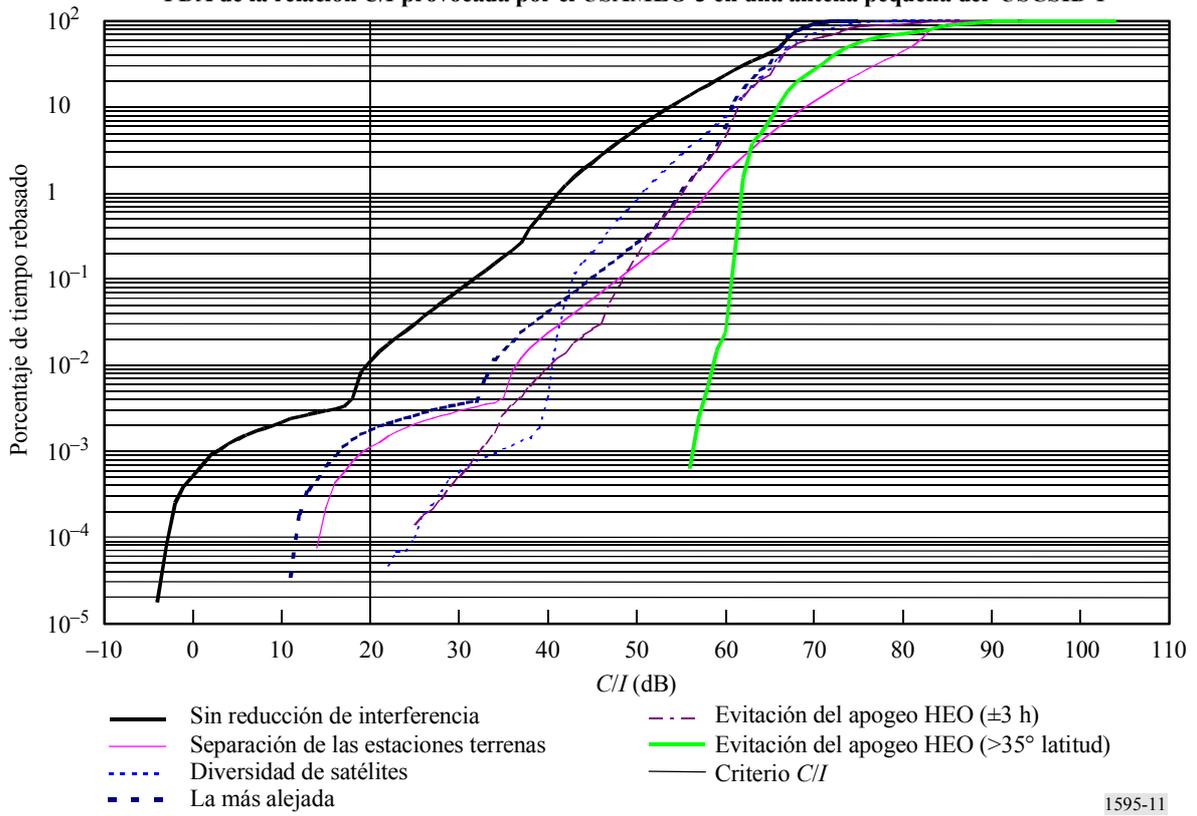


FIGURA 12

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el USCSID-P en el LEOSAT-1

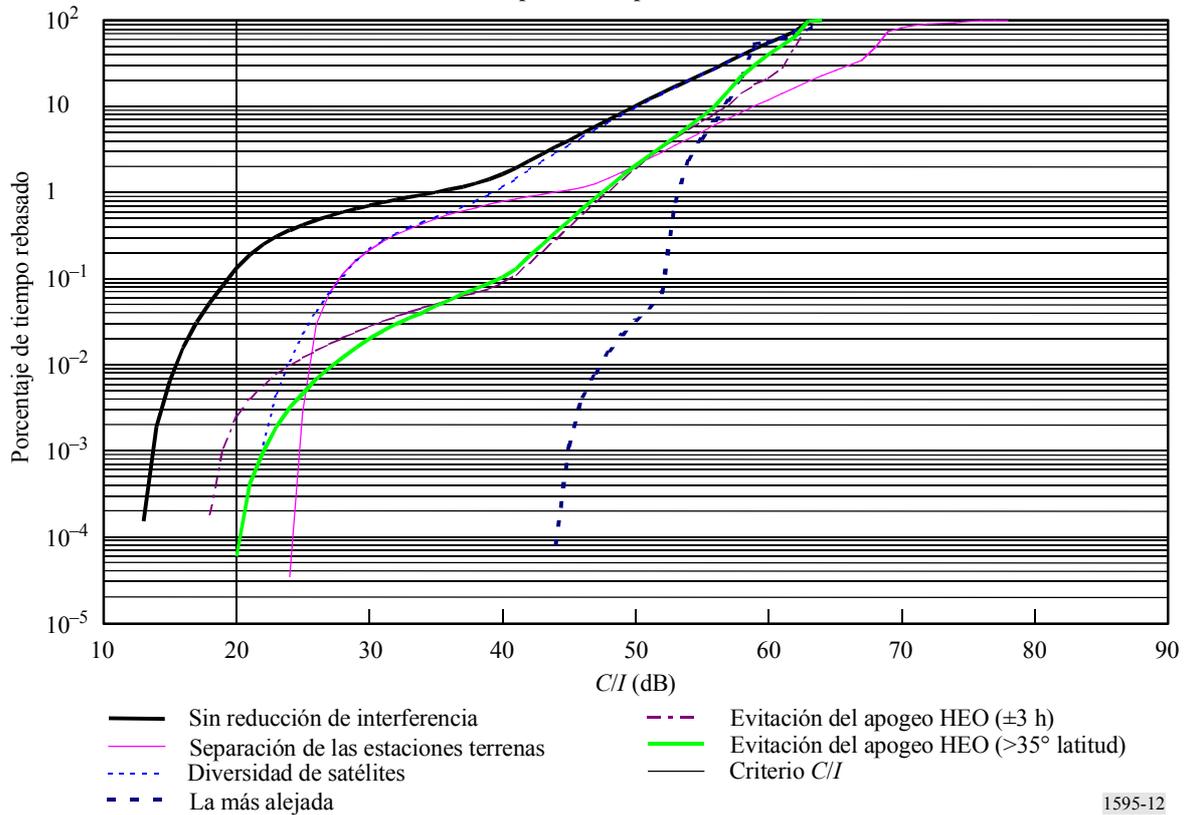


FIGURA 13

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el USCSID-P en el LEOSAT-2

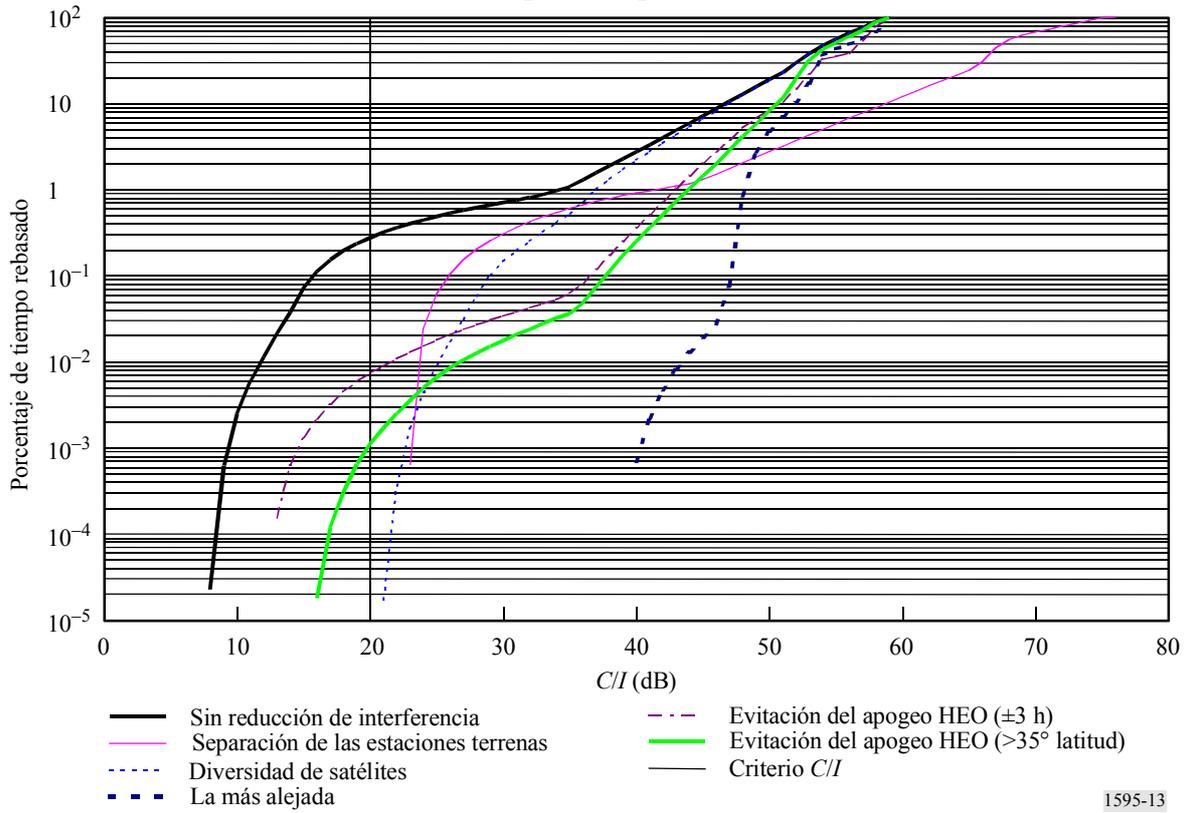


FIGURA 14

FDA de la relación  $C/I$  provocada por el USCSID-P en el USAMEO-2

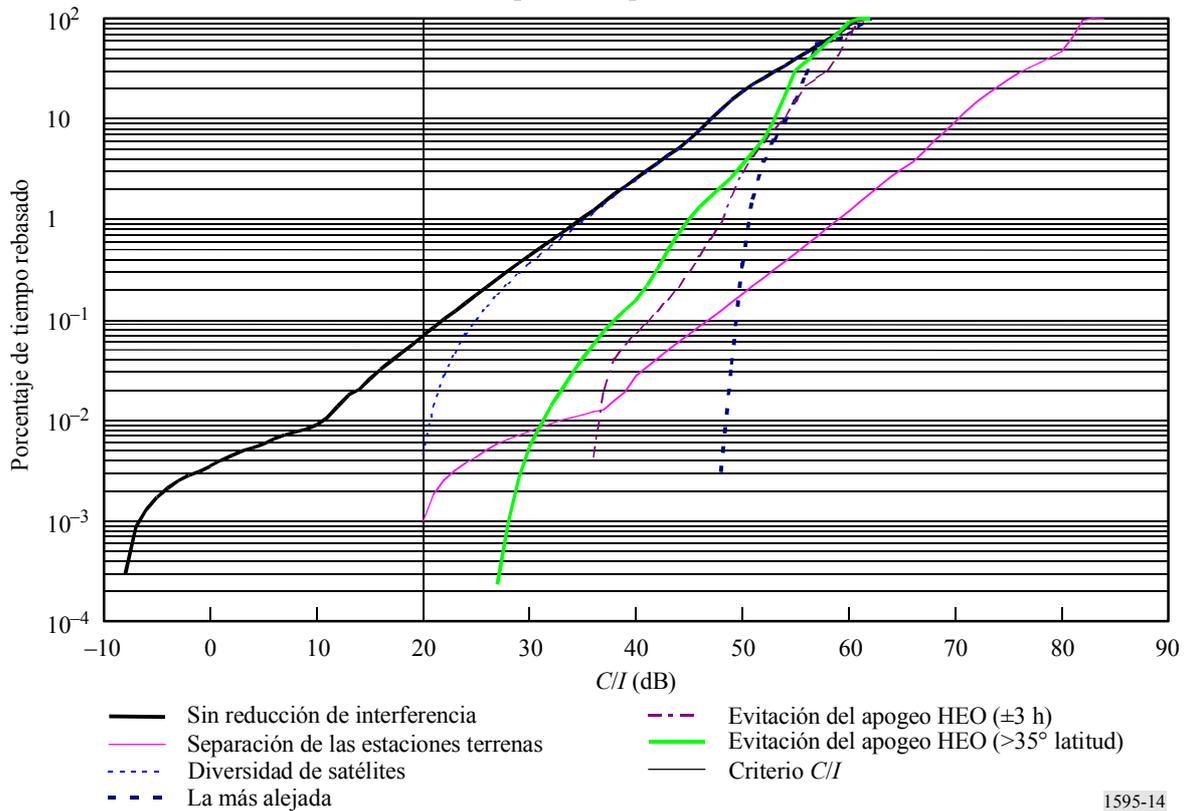
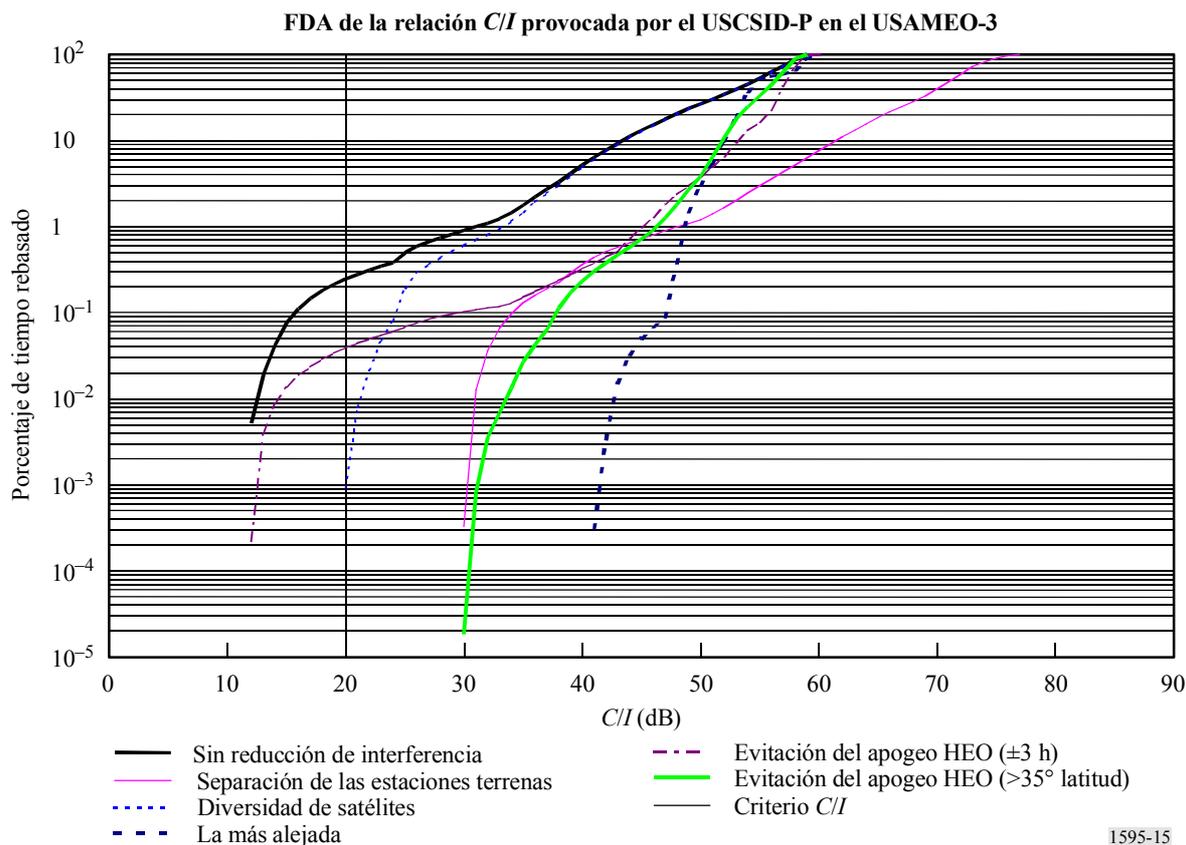


FIGURA 15



### 3.1 Reducción de la interferencia causada por sistemas LEO y MEO a un sistema HEO

Como puede verse en las Figs. 4 a 15, todas las técnicas de reducción de la interferencia tienen algún efecto en la disminución de la interferencia causada al USCSIP-P y procedente del mismo. Las técnicas más eficaces para reducir la interferencia causada a los sistemas HEO fueron la diversidad de satélites (discriminación angular) y la evitación del apogeo HEO. Para reducir la interferencia causada por el sistema HEO, las técnicas de separación de estaciones terrenas, diversidad de satélites y selección de satélite alternativo fueron las más eficaces. En los siguientes párrafos se examinan los resultados de la reducción de la interferencia causada al sistema HEO por cada uno de los sistemas LEO y MEO y a continuación los resultados de la reducción de la interferencia causada por el sistema HEO a cada uno de los sistemas LEO y MEO.

La utilización de técnicas de reducción de la interferencia consistentes en la diversidad de satélites y la evitación del apogeo HEO disminuyó la interferencia procedente del sistema LEOSAT-1 hasta el valor umbral objetivo, véanse las Figs. 4 y 5. La discriminación angular necesaria para que el LEOSAT-1 satisfaga el criterio de C/I de 20 dB es de 18°. Como puede verse en la Fig. 16, este elevado ángulo disminuye la disponibilidad de un solo satélite del 100% al 93% y reduce drásticamente la disponibilidad de dos satélites del 83% al 59%. Sin embargo, la técnica de evitación del apogeo HEO, cuando el funcionamiento HEO está limitado ±3 h en torno al apogeo, únicamente reduce la disponibilidad de un satélite al 94% y la disponibilidad de dos satélites al 68%. Cuando el apogeo HEO se restringe a un valor superior a 35° de latitud, la disponibilidad de un solo satélite disminuye drásticamente hasta el 69%. La técnica de evitación del apogeo HEO cuando el arco de servicio HEO es tan grande probablemente no será una opción para el sistema LEOSAT-1. Las Figs. 4 y 5 también muestran que las técnicas de separación de las estaciones terrenas y de selección de satélite alternativo no disminuyen la interferencia hasta el valor umbral objetivo. Sin embargo, la interferencia queda reducida muy significativamente, aproximadamente unos 20 dB, empleando cualquiera de estas técnicas.

Las Figs. 6 y 7 muestran que todas las técnicas de reducción de la interferencia modeladas disminuyen la interferencia causada por el sistema LEOSAT-2 al sistema USCSID-P a un valor inferior al umbral objetivo y tienen efectos mínimos sobre la disponibilidad del satélite. La discriminación angular necesaria es de  $12^\circ$ . La Fig. 17 muestra que este ángulo relativamente elevado disminuye la disponibilidad de un solo satélite del 100% al 99,9% y la de dos satélites del 100% al 96%. Sin embargo, la técnica de evitación del apogeo HEO, cuando el funcionamiento HEO se limita a  $\pm 3$  h en torno al apogeo, no reduce la disponibilidad de un solo satélite y la de dos satélites baja sólo hasta el 97%. Cuando el apogeo HEO se restringe a un valor superior a  $35^\circ$  de latitud la disponibilidad para uno y dos satélites disminuye hasta el 96% y el 69%, respectivamente. La técnica de reducción de la interferencia mediante evitación del apogeo HEO cuando el arco de servicio HEO es bastante amplio probablemente no será una opción elegida por el sistema LEOSAT-2 para disminuir la interferencia. La técnica de separación de estaciones terrenas también ha funcionado adecuadamente para este sistema. En la simulación, cuando se suprimieron las estaciones terrenas coubicadas más las de 3 anillos la relación  $C/I$  disminuyó hasta el valor objetivo de 20 dB. Esta técnica no afecta la disponibilidad de los sistemas de satélite pero limita el emplazamiento y el número de las estaciones terrenas del LEOSAT-2. La última técnica, estrategia de selección de satélite alternativo, también funcionó adecuadamente para el sistema LEOSAT-2. El valor de la relación  $C/I$  disminuyó muy por debajo del valor umbral objetivo y la disponibilidad de satélites no resultó afectada por esta técnica de reducción de la interferencia. Sin embargo, el sistema de satélite LEOSAT-2 puede experimentar una cierta disminución en la calidad de servicio debido a la mayor utilización de enlaces con ángulos de elevación menores.

Las Figs. 8 y 9 demuestran que la relación  $C/I$  procedente del sistema USAMEO-2 cuando funciona sin técnicas de reducción de la interferencia toma un valor muy próximo al valor umbral objetivo y que todas las técnicas de reducción de la interferencia funcionan adecuadamente. La discriminación angular necesaria para reducir la interferencia hasta el valor umbral objetivo es únicamente de  $0,1^\circ$ . La Fig. 18 muestra que este pequeño ángulo de discriminación no disminuye la disponibilidad de un solo satélite o de dos satélites y únicamente reduce la disponibilidad de tres satélites en un 6%. Esta técnica sería muy eficaz. La técnica de evitación del apogeo HEO también fue muy eficaz para reducir la interferencia procedente del sistema USAMEO-2. Cuando el apogeo HEO se limita a  $\pm 3$  h, la disponibilidad de un solo satélite se reduce del 100% al 95% y la disponibilidad de dos satélites disminuye del 87% al 75%. Cuando la zona de servicio del apogeo HEO aumenta por encima de  $35^\circ$  de latitud, la disponibilidad de un solo satélite y de dos satélites disminuye drásticamente al 69% y al 51%, respectivamente. La técnica de evitación del apogeo HEO probablemente sólo será posible con la ventana más pequeña de funcionamiento de  $\pm 3$  h. La técnica de separación de estaciones terrenas también redujo la interferencia al valor umbral objetivo. Sólo se eliminó la estación terrena coubicada y, por consiguiente, no hubo repercusiones en el sistema USAMEO-2. La técnica de reducción de la interferencia mediante selección de satélite alternativo fue muy eficaz a la hora de disminuir la interferencia hasta el valor umbral objetivo. Sin embargo, el sistema USAMEO-2 puede experimentar una disminución en la calidad de servicio debido al mayor uso de enlaces con ángulos de elevación bajos. Es posible utilizar todas las técnicas de reducción de la interferencia estudiadas para el sistema USAMEO-2 con objeto de reducir la interferencia causada al sistema USCSID-P.

Las simulaciones con el sistema USAMEO-3, véanse las Figs. 10 y 11, indican que sólo las técnicas de reducción de la interferencia de diversidad de satélites y evitación del apogeo HEO redujeron el valor de  $C/I$  al valor umbral objetivo. Aunque las técnicas de reducción de la interferencia consistentes en la separación de estaciones terrenas y en la selección del satélite alternativo no disminuyeron la relación  $C/I$  hasta el valor umbral objetivo, redujeron significativamente su valor en 15 dB, aproximadamente. La discriminación angular necesaria para que el sistema USAMEO-3

satisfaga el criterio de  $C/I$  de 20 dB es realmente muy pequeña, de  $2,8^\circ$ . Como puede verse en la Fig. 19, existen al menos dos satélites disponibles durante el 99% del tiempo en vez del 100% del tiempo cuando no se utilizan técnicas de reducción de la interferencia. La técnica de evitación del apogeo HEO (ambas hipótesis) también es muy eficaz en el caso del sistema USAMEO-3 para reducir la  $C/I$  al valor umbral objetivo. La Fig. 19 muestra que habría un 8% del tiempo de simulación sin satélites disponibles cuando la zona de servicio HEO se limita a  $\pm 3$  h en torno al apogeo. Sin embargo, cuando la zona de servicio aumenta la disponibilidad de un satélite se reduce significativamente al 63%. Este elevado porcentaje de indisponibilidad probablemente no sería aceptable por el sistema USAMEO-3.

### 3.2 Reducción de la interferencia causada por un sistema HEO a los sistemas LEO y MEO

Las Figs. 12 y 13 presentan los resultados de las simulaciones cuando el sistema USCSID-P reduce la interferencia causada a varios sistemas de satélites LEO y MEO. La excepción es la técnica de evitación de apogeo HEO. Esta técnica tiene por objeto que los sistemas de tipo LEO y MEO protejan a un sistema HEO. Sin embargo, la utilización de dicha técnica por aquellos sistemas también les representa ventajas a ellos mismos puesto que se reduce el valor de la relación  $C/I$  procedente del sistema HEO. Cabe señalar que las simulaciones incluyeron un sistema USCSID-P que utilizaba la técnica de reducción de la interferencia consistente en la diversidad de satélites. Este sistema y muchos sistemas HEO no han sido diseñados para llevar a cabo esta técnica y no cuentan con el número suficiente de haces ni con el complicado algoritmo de conmutación necesario. Este tipo de simulación se realizó únicamente para demostrar que un sistema del tipo HEO podría utilizar de manera eficaz la diversidad de satélites si se diseña para ello. La Fig. 20 muestra que la técnica de reducción de la interferencia de diversidad de satélites tendría pocas repercusiones en la disponibilidad de satélite del USCSID-P si este sistema fuese capaz de funcionar de esa forma.

La Fig. 12 muestra que todas las técnicas, salvo la de evitación del apogeo HEO en  $\pm 3$  h, son eficaces para reducir el valor de  $C/I$  provocado por el sistema USCSID-P en el sistema LEOSAT-1. Un ángulo de discriminación de  $2,7^\circ$  reducirá el valor de la relación  $C/I$  al valor umbral objetivo produciendo muy poco efecto sobre la disponibilidad de satélites del sistema USCSID-P. Las hipótesis de evitación del apogeo HEO también disminuyen significativamente el valor de  $C/I$  causado por el USCSID-P al LEOSAT-1. La técnica de selección de satélite alternativo es la más eficaz en cuanto a reducción de la interferencia. Para disminuir el valor de  $C/I$  al valor umbral objetivo con separación de estaciones terrenas, se suprimieron las estaciones terrenas cúbicadas y las de un anillo del sistema LEOSAT-1. Aunque ello restringiría el emplazamiento de las estaciones terrenas de los sistemas LEOSAT-1 y USCSID-P, no está previsto que las estaciones terrenas de este último sistema tengan que instalarse en cualquier lugar y, por lo tanto, esta técnica no es demasiado restrictiva.

La Fig. 13 presenta los resultados de la reducción de la interferencia del sistema USCSID-P al sistema LEOSAT-2. Esta Figura muestra que la técnica de reducción de la interferencia mediante selección de satélite alternativo disminuye significativamente el valor de  $C/I$  en el sistema LEOSAT-2 aproximadamente 30 dB. El ángulo de discriminación necesario para reducir la relación  $C/I$  al valor umbral objetivo es de  $3,3^\circ$  y en la Fig. 20 puede verse que no hay apenas repercusión sobre la disponibilidad de satélites del sistema USCSID-P. Aunque las hipótesis de evitación del apogeo HEO no reducen el valor de  $C/I$  al valor umbral objetivo, sí disminuye significativamente el valor de esta relación. Para lograr el valor umbral objetivo con separación de estaciones terrenas se suprimieron las estaciones terrenas cúbicadas más las de un anillo del sistema LEOSAT-2. Como se ha indicado en el párrafo anterior, esta técnica no es excesivamente restrictiva porque las estaciones terrenas del sistema USCSID-P no tienen por qué estar ubicadas en cualquier lugar.

La Fig. 14 muestra que todas las técnicas de reducción de la interferencia simuladas reducen el valor de  $C/I$  causado por el sistema USCSID-P en el sistema USAMEO-2 al valor umbral objetivo. La discriminación angular necesaria para la diversidad de satélites es de  $1,7^\circ$  y la técnica apenas tiene efectos negativos sobre la disponibilidad de satélites del sistema USCSID-P. La separación de estaciones terrenas es eficaz cuando se suprimen las estaciones terrenas coubicadas más las de 3 anillos del sistema USAMEO-2. Este resultado indica que esta técnica de reducción de la interferencia puede ser muy restrictiva para el sistema USAMEO-2 debido a la gran distancia de separación necesaria entre estaciones terrenas.

La Fig. 15 muestra que para reducir el valor de  $C/I$  causado en el sistema USAMEO-3 al valor umbral objetivo todas las técnicas son eficaces salvo la de evitación del apogeo HEO donde el servicio del apogeo HEO se limita a  $\pm 3$  h en torno al apogeo. Una vez más, la técnica de estrategia de selección de satélite alternativo reduce significativamente el valor de  $C/I$ , aproximadamente 30 dB. La discriminación angular necesaria para disminuir la relación  $C/I$  a 20 dB es de  $2,6^\circ$  y este pequeño ángulo no tiene apenas efectos negativos sobre la disponibilidad de satélites del sistema USCSID-P. El valor umbral objetivo se logra con separación de estaciones terrenas suprimiendo las estaciones terrenas coubicadas más las de un anillo del sistema USAMEO-3. Esta técnica no es excesivamente restrictiva porque no es necesario que las estaciones terrenas del sistema USCSID-P estén instaladas en cualquier lugar.

El Cuadro 5 presenta un resumen de los resultados señalados. En la columna de la izquierda aparecen los sistemas interferente e interferido y en el resto de columnas aparecen las diferentes técnicas de reducción de la interferencia utilizadas. Para cada una de estas técnicas el número representa el porcentaje de tiempo durante el cual hay al menos un satélite disponible, sí o no indican si la aplicación de la técnica de reducción de la interferencia disminuyó o no el valor de la relación  $C/I$  por debajo del valor umbral necesario y ND significa que la técnica de reducción de la interferencia no afectó a la disponibilidad.

CUADRO 5  
Resumen de los resultados

	Sin reducción de la interferencia	Separación de estaciones terrenas	Diversidad de satélites	El más alejado	Apogeo HEO ( $\pm 3$ h)	Apogeo HEO ( $>35^\circ$ de latitud)
Sistema interferente/sistema interferido	Sí o No (%)	Sí o No (%)	Sí o No (%)	Sí o No (%)	Sí o No (%)	Sí o No (%)
LEOSAT-1/USCSID-P	100/No	ND/No	93/Sí	ND/No	94/Sí	69/Sí
LEOSAT-2/USCSID-P	100/No	ND/Sí	99,9/Sí	ND/Sí	100/Sí	96/Sí
USAMEO-2/USCSID-P	100/No	ND/Sí	100/Sí	ND/Sí	95/Sí	69/Sí
USAMEO-3/USCSID-P	100/No	ND/No	100/Sí	ND/No	92/Sí	63/Sí
USCSID-P/LEOSAT-1	100/No	ND/Sí	100/Sí	ND/Sí	100/No	100/Sí
USCSID-P/LEOSAT-2	100/No	ND/Sí	100/Sí	ND/Sí	100/No	100/No
USCSID-P/USAMEO-2	100/No	ND/Sí	100/Sí	ND/Sí	100/Sí	100/Sí
USCSID-P/USAMEO-3	100/No	ND/Sí	100/Sí	ND/Sí	100/No	100/Sí

ND: no disponible

## 4 Conclusiones

Todas las técnicas de reducción de la interferencia presentadas en esta Recomendación son eficaces para disminuir la interferencia entre los sistemas LEO y MEO tomados como ejemplo y el sistema HEO tomado como ejemplo. Los análisis indican que la técnica de reducción de la interferencia mediante diversidad de satélites es más restrictiva para los sistemas LEO que para los sistemas HEO y MEO. El ángulo necesario para satisfacer el valor umbral objetivo de  $C/I$  es mayor de  $10^\circ$  para los sistemas LEO e inferior a  $3^\circ$  en el caso de los sistemas HEO y MEO. Aunque los ángulos

de discriminación requeridos en el sistema HEO para proteger a los sistemas LEO y MEO son pequeños, no es posible que el sistema USCSID-P utilice diversidad de satélites. Esta diversidad es una técnica viable únicamente si el sistema HEO ha sido diseñado para que existan varios satélites a la vista de una estación terrena durante largos periodos de tiempo. Esta técnica también requiere una estrecha comunicación entre los sistemas de satélites y un amplio conocimiento del emplazamiento de los propios satélites.

La técnica de reducción de la interferencia mediante la evitación del apogeo HEO es eficaz para disminuir la interferencia hasta unos niveles aceptables. Cuando la zona de servicio del apogeo HEO se reduce a  $\pm 3$  h en torno al apogeo, la repercusión en los sistemas LEO es menos severa que la de la técnica de diversidad de satélites. La cobertura por un solo satélite se disminuye hasta el 94% en el caso de evitación del apogeo HEO en comparación con el 93% en el caso de utilizar la técnica de diversidad de satélites con el LEOSAT-1 y con el 99% sin reducción de la interferencia para el LEOSAT-2. En los sistemas MEO la repercusión fue más severa, la cobertura con un único satélite se redujo al 95% en comparación con el 100% en el caso del sistema USAMEO-2 y con el 92% sin reducción de la interferencia en el caso del sistema USAMEO-3. Ello se debe fundamentalmente al hecho de que los sistemas MEO requieren ángulos de evitación mucho más pequeños que los sistemas LEO para reducir la relación  $C/I$  al valor umbral objetivo. Ello no es así cuando la zona de servicio HEO aumenta hasta una latitud superior a  $35^\circ$ . La repercusión en todos los sistemas es muy acusada; la reducción de la cobertura con un solo satélite llega hasta el 63%. Este tipo de hipótesis operativa del HEO no sería candidata para la técnica de evitación del apogeo HEO. Las ventajas que presenta esta técnica es que si se evita toda la zona de servicio HEO, la interferencia se reduce a niveles aceptables en el sistema HEO y también disminuye simultáneamente en el sistema que debe reducir la interferencia sin necesidad de conocer los emplazamientos específicos de los satélites en un sistema HEO. Sin embargo, en algunos casos la repercusión en el sistema del SFS no OSG que reduce la interferencia es muy acusada y sería necesario sin duda alguna utilizar recursos adicionales.

La técnica consistente en la separación de estaciones terrenas reduce adecuadamente la interferencia hasta los valores umbral necesarios en algunas de estas hipótesis. Esta técnica podría ser demasiado restrictiva si los dos sistemas no OSG instalasen estaciones terrenas en cualquier lugar. Sin embargo, en los ejemplos mostrados la técnica reduce de forma eficaz la interferencia si uno de los sistemas no tiene previsto instalar de forma ubicua las estaciones terrenas y no es demasiado elevada la distancia de separación entre dichas estaciones terrenas de los sistemas no OSG.

La técnica de reducción de la interferencia mediante selección de satélite alternativo fue muy eficaz para disminuir la interferencia causada por el sistema HEO a los sistemas LEO y MEO. No obstante, a la inversa se obtuvieron diversos resultados. La técnica de reducción de la interferencia disminuyó de manera suficiente la interferencia causada por los sistemas LEOSAT-2 y USAMEO-2 pero no la provocada por los sistemas LEOSAT-1 o USAMEO-3. La consecuencia de esta técnica de reducción de la interferencia puede ser una degradación de la calidad de servicio proporcionada por el sistema de satélites y ello podría deberse a la mayor utilización de enlaces con ángulos de elevación bajos.

La utilización de una sola técnica de reducción de la interferencia puede que no sea la solución necesaria para disminuir satisfactoriamente la interferencia en todas las situaciones. Es posible que sea preciso una combinación de dos técnicas de reducción de la interferencia distintas para disminuir la interferencia de manera suficiente de forma más eficaz y menos exigente que en el caso de utilizar una sola técnica. Los resultados de estas simulaciones de ejemplo han demostrado que cada situación de compartición será única dependiendo de las características de funcionamiento y del sistema de los sistemas implicados. Puede que en algunos casos sea más conveniente determinar cuál es la técnica o técnicas de reducción de la interferencia óptimas que deben aplicarse entre dos sistemas cualesquiera del SFS no OSG, uno de los cuales es un HEO, durante la coordinación entre sistemas.

FIGURA 16

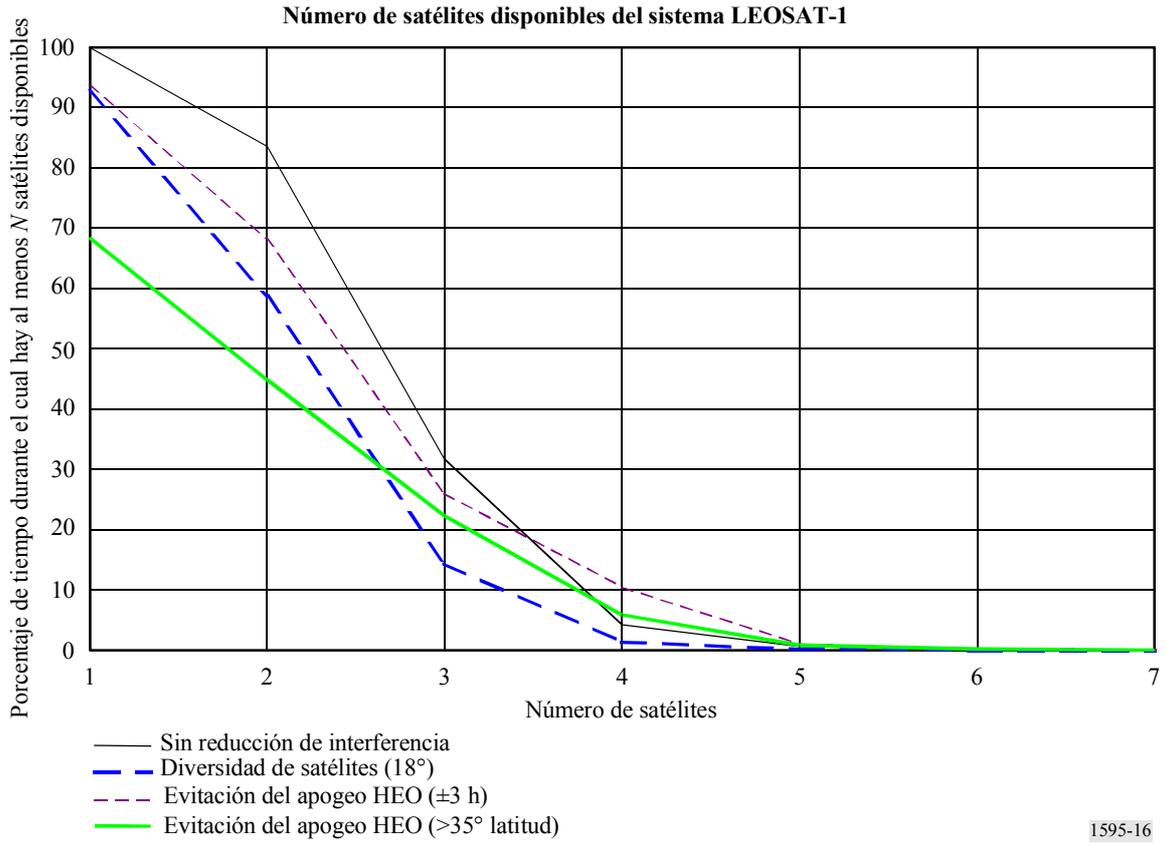


FIGURA 17

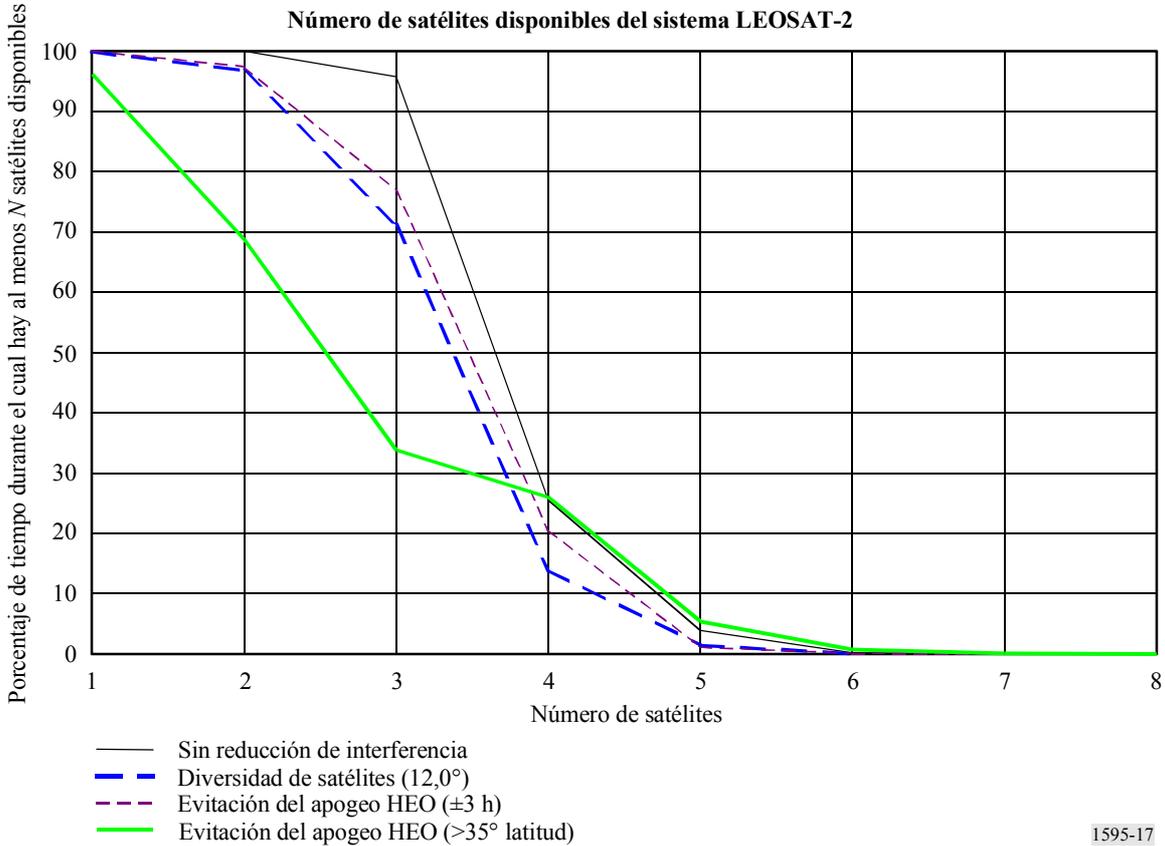


FIGURA 18

Número de satélites disponibles del sistema USAMEO-2

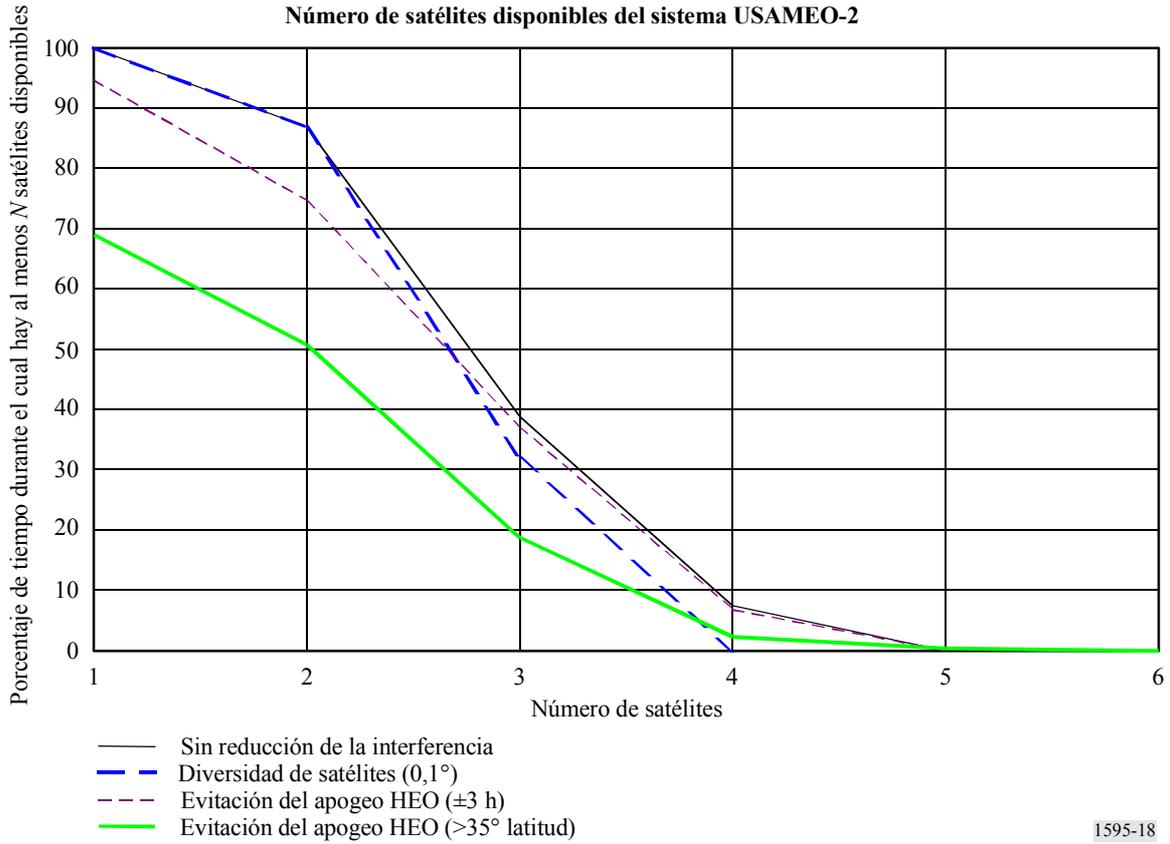


FIGURA 19

Número de satélites disponibles del sistema USAMEO-3

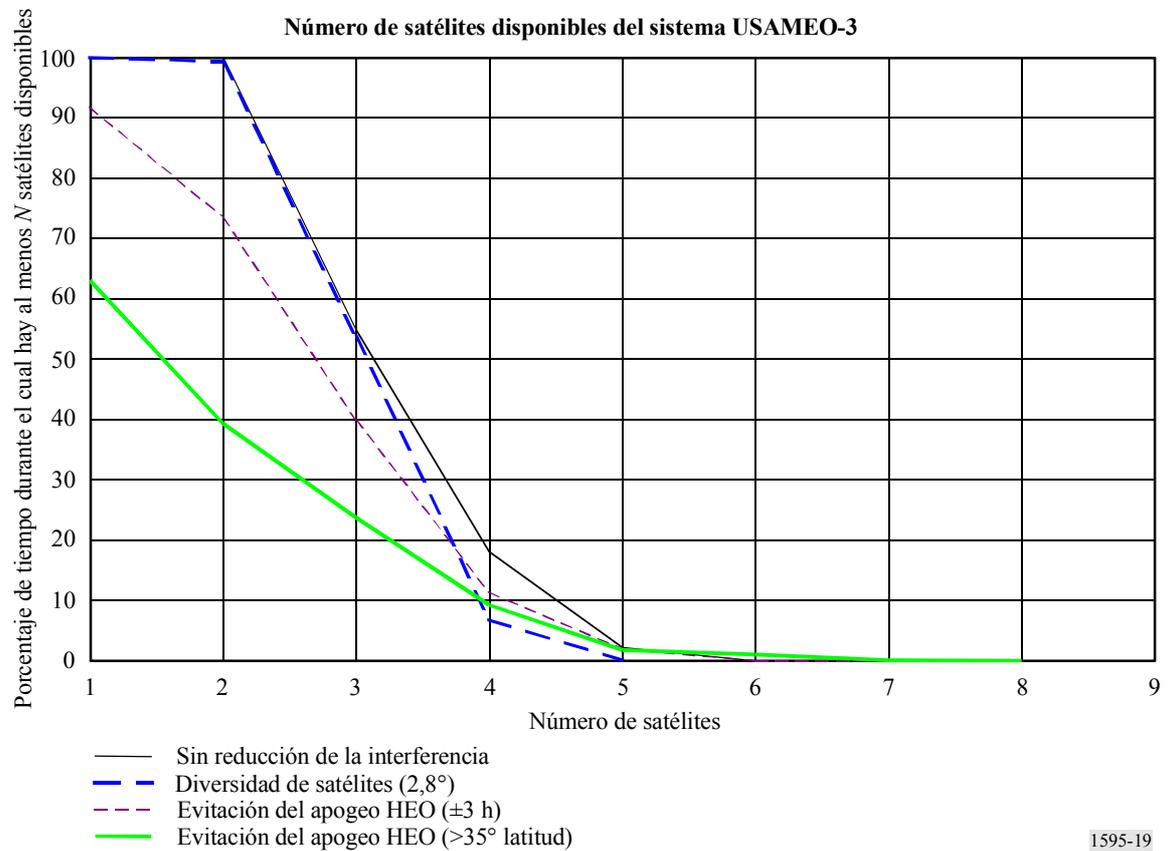


FIGURA 20

Número de satélites disponibles del sistema USCSID-P

