

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1526

**Definición de un método de medición del entorno de interferencia de un sistema del servicio fijo por satélite no geostacionario para la compartición de frecuencia codireccional entre dos sistemas del servicio fijo por satélite no geostacionario**

(Cuestión UIT-R 231/4)

(2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que algunos sistemas del servicio fijo por satélite no geostacionario (SFS no OSG) están en sus primeras etapas de desarrollo y en consecuencia es probable que sea necesario introducir ciertas modificaciones en su diseño;
- b) que los cambios realizados en uno de los sistemas del SFS no OSG pueden afectar a otros sistemas del SFS no OSG en funcionamiento o planificados;
- c) que otros sistemas del SFS no OSG en funcionamiento o previstos afectados por las modificaciones introducidas en un sistema del SFS no OSG deben mantener la flexibilidad operacional dentro de los límites marcados en sus notificaciones;
- d) que la Recomendación UIT-R S.1431 describe varias técnicas de reducción de la interferencia para mejorar la compartición entre los sistemas del SFS no OSG;
- e) que es conveniente que los diseñadores de los sistemas del SFS no OSG cuenten con sistemas de medición que permitan evaluar las repercusiones de las diversas técnicas de reducción de la interferencia sobre el diseño del sistema;
- f) que es común que las administraciones que coordinan sus sistemas del SFS modifiquen los parámetros de sus sistemas notificados como resultado precisamente de sus actividades de coordinación;
- g) que la disposición del número 11.43B del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y sus Reglas de Procedimiento asociadas adoptadas por la Junta del Reglamento de Radiocomunicaciones (RRB) permiten introducir en las características del sistema, incluyendo los sistemas del SFS no OSG, modificaciones a las asignaciones de frecuencia descritas, manteniendo la fecha original de inscripción en el Registro Internacional de Frecuencias, siempre y cuando dichas modificaciones no aumenten la probabilidad de causar interferencia perjudicial a las asignaciones ya inscritas o en proceso de coordinación;
- h) que el *resuelve* 2 de la Resolución 132 (CMR-97) indicó que si se efectúan modificaciones en asignaciones de frecuencia a sistemas no OSG del SFS notificadas antes del 18 de noviembre de 1995, cuando no se necesitaba coordinación, no hará falta coordinación siempre que las características de la asignación de frecuencia modificada se hallen dentro de los límites de las características de la modificación original;
- j) que actualmente no existe ninguna metodología en el UIT-R para determinar si las modificaciones a las características de un sistema del SFS no OSG mejorarán o empeorarán la situación de compartición con otro sistema del SFS no OSG,

*recomienda*

- 1 que se utilice la metodología descrita en el Anexo 1 para ayudar a los diseñadores de sistemas del SFS no OSG a evaluar las repercusiones de las diversas técnicas de reducción de la interferencia;
- 2 que se utilice la metodología descrita en el Anexo 1 (por ejemplo, por las administraciones y por los diseñadores de sistemas) para determinar si una modificación introducida en el diseño de un sistema del SFS no OSG mejorará o empeorará el entorno de interferencia con respecto a otro sistema del SFS no OSG que comparte la misma banda de frecuencias.

## ANEXO 1

**Metodología para evaluar el entorno de interferencia creado por un sistema del SFS no OSG****1 Introducción**

El presente Anexo propone un procedimiento para evaluar la forma en que las modificaciones introducidas en un sistema del SFS no OSG afectan el entorno de interferencia creado por este sistema con respecto a otro sistema del SFS no OSG. Es sabido que el sistema afectado tiene un amplio grado de libertad operativa dentro de los parámetros notificados del sistema, teniendo en cuenta las limitaciones impuestas por los sistemas previamente notificados. Para extraer conclusiones generales sobre los cambios introducidos en un sistema, el procedimiento descrito a continuación debe aplicarse por separado utilizando todos los parámetros de transmisión disponibles para los dos sistemas. Además, el sistema afectado puede utilizar una estrategia de reducción de la interferencia en la que intervenga una cierta variedad de técnicas al respecto combinándolas de varias maneras a fin de considerar cada una de las cuatro hipótesis de interferencia. El procedimiento puede resumirse en los pasos siguientes:

*Paso 1:* Se determina la estrategia de reducción de la interferencia (por ejemplo, los valores del ángulo de evitación) que debe utilizarse en un sistema determinado para protegerse frente a las cuatro hipótesis de interferencia con respecto a un sistema previamente notificado que va a modificarse.

*Paso 2:* Se calcula la visibilidad, el sistema de conmutación de satélites y el tiempo de seguimiento del satélite u otras características de comportamiento a lo largo de la zona de servicio del sistema correspondiente, utilizando la estrategia de reducción de la interferencia determinada en el Paso 1.

*Paso 3:* Se repiten los Pasos 1 y 2 sustituyendo los parámetros del otro sistema por los nuevos parámetros.

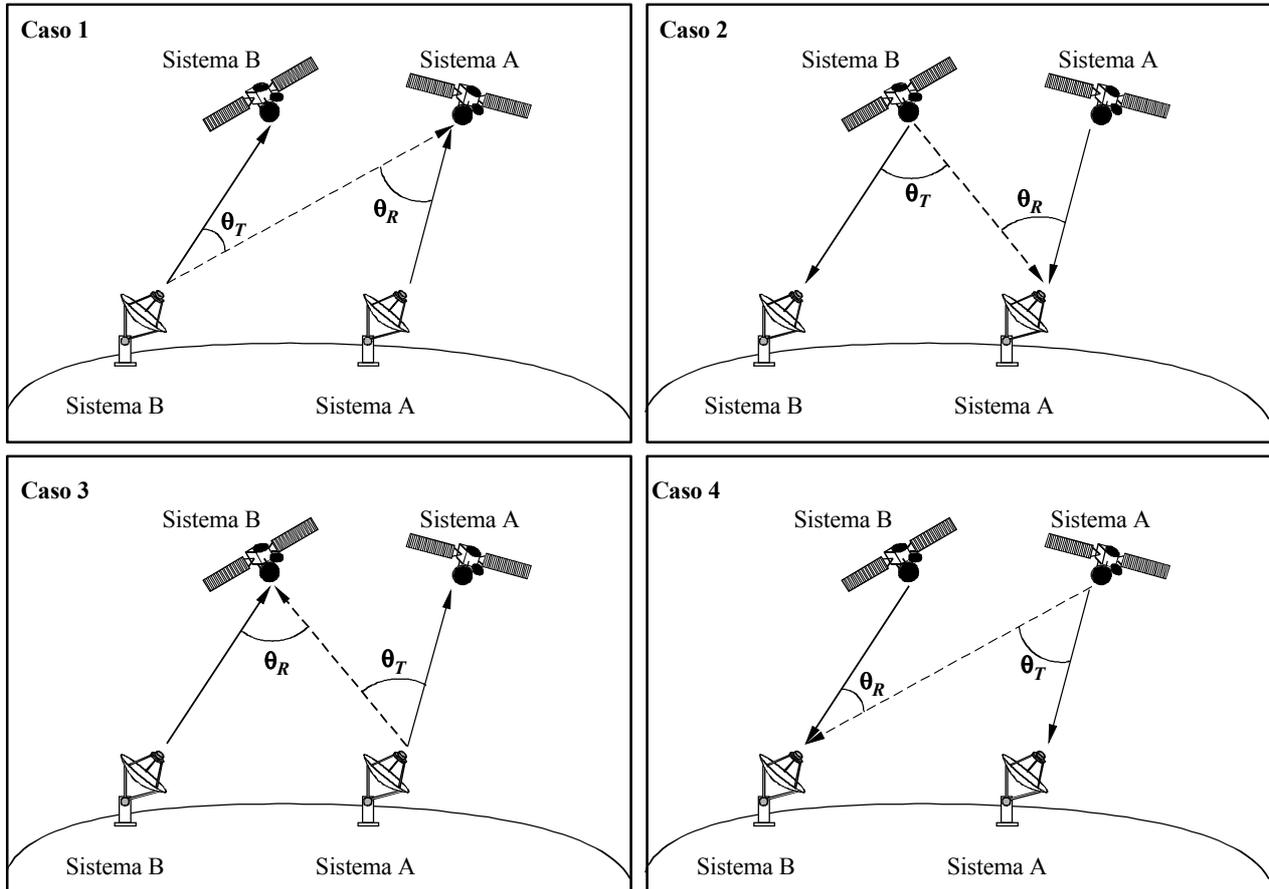
*Paso 4:* Se comparan las estadísticas del comportamiento del sistema correspondiente antes y después de modificar el otro sistema.

*Paso 5:* Si todas las estadísticas han mejorado, se llega a la conclusión de que el cambio de diseño ha facilitado la compartición para el sistema considerado en concreto.

*Paso 6:* Si no han mejorado todas las estadísticas, no puede extraerse ninguna conclusión inmediata sobre la situación de compartición. En esos casos puede ser conveniente realizar análisis más detallados de los resultados haciendo intervenir la latitud, o la latitud ponderada por los datos sobre la población o el producto interior bruto (PIB).

Las cuatro hipótesis de interferencia citadas en el Paso 1 se describen en la Fig. 1. El ángulo  $\theta_T$  representa el ángulo de discriminación de transmisión (es decir, el ángulo fuera del eje entre el trayecto de la señal del transmisor y el trayecto de interferencia) y el ángulo  $\theta_R$  es el ángulo de discriminación del receptor.

FIGURA 1  
Cuatro hipótesis de interferencia



1526-01

Las estadísticas específicas que caracterizan la visibilidad, la conmutación de satélites y el tiempo de seguimiento del satélite se describen en el ejemplo que aparece a continuación.

En el ejemplo figuran más detalles sobre la forma de ponderar las estadísticas de visibilidad mediante la población o el PIB.

## 2 Ejemplo: Repercusión de las modificaciones introducidas al sistema LEOSAT-1 en el sistema USAMEO-1

A continuación se ilustra mediante un ejemplo particular una aplicación de la metodología en una situación en la que se supone que el sistema USAMEO-1 utiliza técnicas de reducción de la interferencia aplicando la diversidad de satélites y en ambos sistemas se utiliza la Recomendación UIT-R S.1323 para determinar los ángulos de evitación. Las estadísticas de calidad de funcionamiento que se consideran son la visibilidad, la conmutación de satélites y el tiempo de seguimiento del satélite. También podrían considerarse otras estadísticas de calidad de funcionamiento.

## 2.1 Parámetros del sistema LEOSAT-1 e hipótesis

En el Cuadro 1a se resumen las características del modelo básico para el sistema LEOSAT-1.

CUADRO 1a  
Características del sistema LEOSAT-1

| Característica   | LEOSAT-1  |
|--|---|
| <i>Parámetros de la constelación</i>                                   |   |
| Número de satélites  | 288   |
| Número de planos   | 12  |
| Número de satélites por plano  | 24  |
| Separación de los planos (grados)                                      | 15,36   |
| Factor de fase de Walker   | No es aplicable   |
| Inclinación (grados)   | 84,7  |
| Altitud de la órbita (km)  | 1 375   |
| Desfase entre planos (grados)  | Aleatorio   |
| Ángulo del perfil de elevación (grados)                                | 40  |
| <i>Parámetros de transmisión del enlace ascendente</i>                 |   |
| Método de acceso   | MF/AMDT   |
| Anchura de banda de la portadora (MHz)                                 | 3,096   |
| Control de potencia  | Sí  |
| Valor del control de potencia (dB)                                     | 13,5  |
| Ganancia de cresta del transmisor de la estación terrena (dB)          | 35,2  |
| Diagrama de la antena del transmisor de la estación terrena            | Apéndice 8 del RR   |
| Diámetro de la antena del transmisor de la estación terrena (m)        | 0,3   |
| Ganancia de cresta del receptor del satélite (dB)                      | 33,2  |
| Diagrama de la antena del receptor del satélite                        | -3 borde de la zona de cobertura,<br>-25 lóbulo lateral cercano,<br>-30 lóbulo lateral lejano |
| ¿Está adaptado el haz del receptor para un tamaño de célula constante? | Sí  |
| Temperatura de ruido (K)   | 832   |
| Número de haces del receptor   | 364/polarización  |
| <i>Parámetros de transmisión del enlace descendente</i>                |   |
| Método de acceso   | AMDTA   |
| Anchura de banda de la portadora (MHz)                                 | 500   |
| Control de potencia  | No  |
| Ganancia de cresta del receptor de la estación terrena (dB)            | 34,1  |
| Diagrama de la antena del receptor de la estación terrena              | Apéndice 8 del RR   |

CUADRO 1a (Continuación)

| Característica  | LEOSAT-1  |
|---|---|
| <i>Parámetros de transmisión del enlace descendente (Continuación)</i>        |   |
| Diámetro de la antena del receptor de la estación terrena (m)                 | 0,3   |
| Ganancia de cresta del transmisor del satélite (dB)                           | 34,7 a 35,7   |
| Diagrama de la antena del transmisor del satélite                             | -0,5 borde de la zona de cobertura,<br>-25 lóbulo lateral cercano,<br>-30 lóbulo lateral lejano |
| p.i.r.e. del transmisor del satélite en el borde de la zona de cobertura (dB) | 53,9  |
| ¿Está adaptado el haz del transmisor para un tamaño de célula constante?      | Sí  |
| Temperatura de ruido (K)  | 288   |
| Número de haces del transmisor  | 16  |

AMDT: acceso múltiple por división en el tiempo

AMDTA: AMDT adaptativo

MF: modulación de frecuencia

p.i.r.e.: potencia isotrópica radiada equivalente.

El Cuadro 1b muestra los parámetros del sistema básico para dos variaciones hipotéticas del sistema LEOSAT-1, denominadas LEO-XX y LEO-YY. Estas modificaciones contienen cada una de ellas menos de la mitad del número de satélites del sistema LEOSAT-1. Esta reducción en el número de satélites se logra en el LEO-XX manteniendo el mínimo ángulo de elevación y una configuración casi polar, aumentando la altitud a 2 500 km. La disminución del número de satélites se logra en el LEO-YY manteniendo la altitud a la vez que se reduce el ángulo del perfil de elevación hasta 25° y pasando a una configuración de la órbita Walker Delta.

CUADRO 1b

## Características de los sistemas LEO-XX y LEO-YY

| Característica   | LEO-XX          | LEO-YY    |
|--|-----------------|-----------|
| <i>Parámetros de la constelación</i>                   |                 |           |
| Número de satélites                                    | 128             | 120       |
| Número de planos                                       | 8               | 10        |
| Número de satélites por plano                          | 16              | 12        |
| Separación de los planos (grados)                      | 23              | 36        |
| Factor de fase Walker                                  | No es aplicable | 1         |
| Inclinación (grados)                                   | 84,7            | 58        |
| Altitud de la órbita (km)                              | 2 500           | 1 375     |
| Desfase entre planos (grados)                          | Aleatorio       | 3         |
| Ángulo del perfil de elevación (grados)                | 40              | 25        |
| <i>Parámetros de transmisión del enlace ascendente</i> |                 |           |
| Método de acceso                                       | MF/AMDT         | AMDF/AMDT |
| Anchura de banda de la portadora (MHz)                 | 3,1             | 3,1       |

CUADRO 1b (Continuación)

| Característica  | LEO-XX   | LEO-YY   |
|---|--|--|
| <i>Parámetros de transmisión del enlace ascendente (Continuación)</i>         |  |  |
| Control de potencia   | Sí   | Sí   |
| Valor del control de potencia (dB)  | 13,5   | 13,5   |
| Ganancia de cresta del transmisor de la estación terrena (dB)                 | 39,4   | 39,4   |
| Diagrama de la antena del transmisor de la estación terrena                   | Apéndice 8 del RR  | Apéndice 8 del RR  |
| Diámetro de la antena del transmisor de la estación terrena (m)               | 0,4  | 0,4  |
| Ganancia de cresta del receptor del satélite (dB)                             | 37,1 con ajustes para pérdidas en espacio libre y pérdidas de exploración    | 36,0 con ajustes para pérdidas en espacio libre y pérdidas de exploración    |
| Diagrama de la antena del receptor del satélite                               | Rec. UIT-R S.672,<br>$L_N = -25$ dB,<br>anchura de banda = $2^\circ$         | Rec. UIT-R S.672,<br>$L_N = -25$ dB,<br>anchura de banda = $2,3^\circ$       |
| ¿Está adaptado el haz del receptor para un tamaño de célula constante?        | No   | No   |
| Temperatura de ruido (K)  | 832  | 832  |
| Número de haces del receptor  | 364/polarización   | 364/polarización   |
| <i>Parámetros de transmisión del enlace descendente</i>                       |  |  |
| Método de acceso  | AMDTA  | AMDTA  |
| Anchura de banda de la portadora (MHz)  | 500  | 500  |
| Control de potencia   | No   | No   |
| Ganancia de cresta del receptor de la estación terrena (dB)                   | 36,6   | 36,6   |
| Diagrama de la antena del receptor de la estación terrena                     | Apéndice 8 del RR  | Apéndice 8 del RR  |
| Diámetro de la antena del receptor de la estación terrena (m)                 | 0,4  | 0,4  |
| Ganancia de cresta del transmisor del satélite (dB)                           | 37,2 con ajustes para pérdidas en el espacio libre y pérdidas de exploración | 36,1 con ajustes para pérdidas en el espacio libre y pérdidas de exploración |
| Diagrama de la antena del transmisor del satélite                             | Rec. UIT-R S.672,<br>$L_N = -25$ dB,<br>anchura de banda = $2^\circ$         | Rec. UIT-R S.672,<br>$L_N = -25$ dB,<br>anchura de banda = $2,3^\circ$       |
| p.i.r.e. del transmisor del satélite en el borde de la zona de cobertura (dB) | 57,7   | 54,6   |
| ¿Está adaptado el haz del transmisor para un tamaño de célula constante?      | No   | No   |
| Temperatura de ruido (K)  | 288  | 288  |
| Número de haces del transmisor  | 16   | 16   |

AMDF: acceso múltiple por división en frecuencia.

## 2.2 Parámetros del sistema USAMEO-1 e hipótesis

### 2.2.1 Características básicas

En este ejemplo, para realizar el análisis se ha seleccionado un enlace particular del sistema USAMEO-1. En el Cuadro 2 aparecen las características básicas del modelo.

CUADRO 2  
Características del sistema USAMEO-2

|  |   |
|--|---|
| <i>Parámetros de la constelación</i>                                   |   |
| Número de satélites  | 32  |
| Número de planos (para cada una de las dos subconstelaciones)          | 4 ( $\times$ 2 subconstelaciones)                               |
| Número de satélites por plano  | 4   |
| Separación de los planos (grados)                                      | 90  |
| Factor de fase de Walker   | 3   |
| Inclinación (grados)   | 50  |
| Altitud de la órbita (km)  | 10 352  |
| Desfase entre planos (grados)  | 67,5  |
| Fase Delta entre subconstelaciones (grados)                            | 30  |
| Nodo ascendente Delta entre subconstelaciones (grados)                 | 0   |
| Ángulo del perfil de elevación (grados)                                | 20  |
| <i>Parámetros de transmisión del enlace ascendente</i>                 |   |
| Método de acceso   | AMDT/AMDF   |
| Anchura de banda de la portadora (MHz)                                 | 0,562   |
| Control de potencia  | Sí  |
| Valor del control de potencia (dB)                                     | 20,7  |
| Ganancia de cresta del transmisor de la estación terrena (dB)          | 44,16   |
| Diagrama de la antena del transmisor de la estación terrena            | Rec. UIT-R S.465  |
| Diámetro de la antena del transmisor de la estación terrena (m)        | 0,65  |
| Ganancia de cresta del receptor del satélite (dB)                      | 37,48   |
| Diagrama de la antena del receptor del satélite                        | Rec. UIT-R S.672,<br>anchura de banda = 2,3°,<br>$L_N = -25$ dB |
| ¿Está adaptado el haz del receptor para un tamaño de célula constante? | No  |
| Temperatura de ruido (K)   | 577,98  |
| Número de haces del receptor   | 20  |
| <i>Parámetros de transmisión del enlace descendente</i>                |   |
| Método de acceso   | MDT/MDF   |
| Anchura de banda de la portadora (MHz)                                 | 96,162  |
| Control de potencia  | No  |
| Ganancia de cresta del receptor de la estación terrena (dB)            | 40,78   |

CUADRO 2 (Continuación)

| <i>Parámetros de transmisión del enlace descendente (Continuación)</i>        |   |
|---|---|
| Diagrama de antena del receptor de la estación terrena                        | Rec. UIT-R S.465                        |
| Diámetro de la antena del receptor de la estación terrena (m)                 | 0,65                                    |
| Ganancia de cresta del transmisor del satélite (dB)                           | 37,5                                    |
| Diagrama de la antena del transmisor del satélite                             | (El mismo que el del enlace ascendente) |
| p.i.r.e. del transmisor del satélite en el borde de la zona de cobertura (dB) | 52,3                                    |
| ¿Está adaptado el haz del transmisor para un tamaño de célula constante?      | No                                      |
| Temperatura de ruido (K)  | 249,41                                  |
| Número de haces del transmisor  | 20                                      |

MDT: múltiplex por división en el tiempo

MDF: múltiplex por división en frecuencia

### 2.2.2 Utilización de frecuencias

El sistema USAMEO-1 propone utilizar 1 GHz de espectro en las bandas 28,6-29,1 GHz y 29,5-30,0 GHz para el enlace ascendente y 1 GHz de espectro en las bandas 18,8-19,3 GHz y 19,7-20,2 GHz para el enlace descendente. Las bandas de frecuencias se dividen en canales de 125 MHz. Para cubrir la superposición de 500 MHz con el espectro del sistema LEOSAT-1 (XX, YY), se supone que pueden asignarse múltiples canales al mismo haz puntual para las condiciones extremas de caso más desfavorable.

### 2.2.3 Modelo de la antena del satélite y de la estación terrena

El satélite utiliza haces puntuales de transmisión y recepción fijos. Las antenas y los haces se mantienen con una orientación fija con respecto al vehículo espacial para permitir a los haces desplazarse a través de la superficie de la Tierra a medida que el satélite se mueve. Aunque los haces permanecen fijos con respecto al satélite, la simulación utiliza haces de seguimiento con cada una de las estaciones terrenas de manera que se contempla la interferencia más grave posible. La antena del satélite se modela utilizando la Recomendación UIT-R S.672 con una anchura de haz a potencia mitad de  $2,3^\circ$  y un nivel de lóbulo lateral de  $-25$  dB.

En la huella del haz se consideran 20 estaciones de usuario para estudiar la interferencia de enlace ascendente. La distancia de separación entre estaciones terrenas es aproximadamente de 728 km.

La interferencia de enlace descendente se calcula utilizando una distribución aleatoria de los emplazamientos de las estaciones terrenas dentro de cada huella del satélite. Estos emplazamientos se encuentran distribuidos aleatoriamente en cada iteración de la simulación. El número de estaciones distribuidas es el máximo número de posibles haces de enlace descendente simultáneos para el satélite. Si el satélite se elige para dar servicio al emplazamiento de interés para el cálculo de la interferencia (es decir, el satélite con la mayor elevación), se asigna un emplazamiento de estación terrena a esta posición coubicada.

El modelo de la antena de la estación terrena se determina utilizando la Recomendación UIT-R S.465, que tiene un nivel de lóbulo lateral de  $32 - 25 \log_{10}(\phi)$ , siendo  $\phi$  el ángulo con respecto al eje de puntería (grados).

## 2.2.4 Hipótesis de balances de enlace y de degradación debida a la lluvia

El balance del enlace mostrado en el Cuadro 3 se aplica al modelo del sistema USAMEO-1.

CUADRO 3

### Balance del enlace USAMEO-1

|   |                          |                           |
|---|--------------------------|---------------------------|
| Mínima elevación (grados)                   | 20                       |                           |
| Alcance oblicuo (km)                        | 13 438,27                |                           |
|   | <i>Enlace ascendente</i> | <i>Enlace descendente</i> |
| Frecuencia (GHz)                            | 28,85                    | 19,05                     |
| Anchura de banda (MHz)                      | 0,56                     | 96,16                     |
| Separación de canales (MHz)                 | 0,69                     | 125,00                    |
| Reducción de potencia/pérdidas (dBW)        | 7,07                     | 14,82                     |
| Ganancia de transmisión (dB)                | 44,16                    | 37,50                     |
| <i>p.i.r.e. (dBW)</i>                       | <i>51,23</i>             | <i>52,32</i>              |
| Pérdidas de puntería del transmisor (dB)    | 0,65                     | 0,50                      |
| Pérdidas en el espacio libre (dB)           | 204,22                   | 200,61                    |
| Pérdidas por atenuación atmosférica (dB)    | 1,57                     | 2,10                      |
| <i>Pérdidas totales de propagación (dB)</i> | <i>206,44</i>            | <i>203,21</i>             |
| Temperatura del sistema (K)                 | 577,98                   | 249,41                    |
| Ganancia del receptor (dB)                  | 37,48                    | 40,78                     |
| Pérdidas en el receptor (dB)                | 0,98                     | 0,50                      |
| Pérdidas en el borde del haz (dB)           | 4,10                     | 4,10                      |
| <i>G/T (dB/K)</i>                           | <i>4,78</i>              | <i>12,21</i>              |
| <i>Portadora recibida (C) (dBW)</i>         | <i>-122,81</i>           | <i>-114,71</i>            |
| <i>N (dBW)</i>                              | <i>-143,48</i>           | <i>-124,80</i>            |
| <i>C/N (dB)</i>                             | <i>20,67</i>             | <i>10,09</i>              |
| Degradación por autointerferencia (dB)      | 8,21                     | 1,13                      |
| <i>C/(N + I)</i> requerida (dB)             | <i>12,05</i>             | <i>8,8</i>                |
| Margen (dB)                                 | 0,41                     | 0,16                      |

La degradación por autointerferencia ( $C/N - C/(N + I_s)$ ) se basa en un valor de la relación  $C/I_s = 13,17$  dB para enlace ascendente y 15,34 dB para enlace descendente, siendo  $I_s$  la autointerferencia. Este valor de la degradación por autointerferencia se aplica a los valores de la degradación por interferencia externa  $(1 + I_x/N)$  calculados a partir de los valores de interferencia obtenidos durante los ejercicios de simulación ( $I_x$  es la interferencia externa). Ello es necesario porque la distribución de  $I/N$  utilizada en el método de convolución de la Recomendación UIT-R S.1323 debe basarse en el valor de  $I_x/(N + I_s)$  en vez de en el valor de  $I_x/N$  ( $N = N_{\text{térmico}}$ ).

A partir de los balances del enlace indicados, el margen externo para el enlace ascendente es 0,41 dB con cielo despejado y 1,2 dB con lluvia (pérdidas debidas a la lluvia = 7,2 dB), utilizando codificación adaptativa. Además,  $C/I_s$  con desvanecimiento toma un valor de 9,77 dB, que es inferior al valor de 13,17 en condiciones de cielo despejado. Este valor de  $C/I$  con desvanecimiento se tiene en cuenta por el hecho de que la portadora deseada y la interferencia global se desvanecen de forma distinta. En el parámetro  $\delta$ , fracción de  $I$  sin desvanecimiento, definido en el Anexo 2 se considera este efecto. Para este enlace,  $\delta = 0,28$ . En efecto, se considera que el enlace ascendente puede absorber 7,2 dB de desvanecimiento debido a la lluvia antes de que el enlace empiece a degradarse, con un margen de 1,2 dB. Este valor de desvanecimiento debido a la lluvia corresponde a un valor de  $X = 4,24$  dB, que define el impulso en 0 en la función de densidad de probabilidad de  $X'$  ( $X'$  es la degradación debida a la lluvia para tener en cuenta el control de potencia, véase el Anexo 2).

En el enlace descendente, el margen externo es de 0,16 dB en condiciones de cielo despejado y de 1,1 dB con lluvia (pérdidas debidas a la lluvia = 3,3 dB), también en este caso utilizando codificación adaptativa. Se considera que el enlace descendente es capaz de absorber 3,3 dB de desvanecimiento debido a la lluvia antes de que el enlace empiece a degradarse, con un margen de 1,1 dB. Este valor de desvanecimiento debido a la lluvia corresponde a un valor de  $X = 4,46$  y se utiliza para determinar el valor del impulso en 0 en la función de densidad de probabilidad de  $X'$  (véase el Anexo 2).

En el Cuadro 4 se resumen las hipótesis utilizadas para generar la función de densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia. Se realiza una convolución entre las funciones de densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia y a la interferencia para determinar si ésta tiene o no un nivel aceptable. El parámetro  $\alpha$  representa el porcentaje de incremento de ruido debido a la autointerferencia ( $I_s/N + I_s$ ) y se utiliza para relacionar la degradación debida a la lluvia con el desvanecimiento debido a la lluvia a partir del modelo de lluvia indicado.

CUADRO 4

**Hipótesis para la generación de la función de densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia**

| Sentido del enlace | $\alpha$ | Comienzo de la degradación del enlace   |                                     | Margen (dB) | Emplazamiento del enlace |
|--------------------|----------|---|-------------------------------------|-------------|--------------------------|
|                    |          | Desvanecimiento debido a la lluvia (dB) | Degradación debida a la lluvia (dB) |             |                          |
| Enlace ascendente  | 0,85     | 7,2                                     | 4,24                                | 1,2         | Nueva York               |
| Enlace descendente | 0,23     | 3,3                                     | 4,46                                | 1,1         | Nueva York               |

### 2.3 Resultados de la simulación

Se realizaron varias simulaciones para el sistema USAMEO-1 funcionando con cada uno de los siguientes sistemas:

- LEOSAT-1 (288 satélites, constelación polar, 40° de elevación mínima).
- LEO-XX (128 satélites, constelación polar, 40° de elevación mínima).
- LEO-YY (120 satélites, constelación Walker Delta, 25° de elevación mínima).

En cada conjunto de simulaciones se recopilaron datos sobre las cuatro hipótesis de interferencia, definiéndose cada caso en el Cuadro 5.

## CUADRO 5

**Definición de caso de interferencia**

| Caso | Sentido del enlace | Papel desempeñado por el sistema USAMEO-1 |
|------|--------------------|---|
| 1    | Enlace ascendente  | Interferente                              |
| 2    | Enlace descendente | Interferente                              |
| 3    | Enlace ascendente  | Sistema deseado                           |
| 4    | Enlace descendente | Sistema deseado                           |

Salvo indicación contraria, las pruebas de simulación se realizaron durante 2 días con intervalos de 1 s (172 800 iteraciones). Se supuso que múltiples satélites daban servicio a cada emplazamiento donde lo permitía la cobertura. Para las simulaciones de interferencia y de capacidad de cobertura (visibilidad), se aleatorizaron en cada iteración las posiciones de la constelación a ambos sistemas; para las simulaciones de conmutaciones de satélites y tiempo de seguimiento del satélite, las constelaciones se propagaron continuamente a intervalos de 1 s.

Cada traza de las Figuras que aparecen a continuación muestra las funciones de distribución acumulativa de  $I_x/(N + I_s)$  para varios ángulos de evitación y los correspondientes resultados de la convolución de las funciones de densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia y a la interferencia. Se realizaron varias simulaciones a fin de determinar el ángulo de evitación necesario para sobrepasar los criterios de la Recomendación UIT-R S.1323, suponiendo un 10% de interrupción del enlace para la interferencia externa.

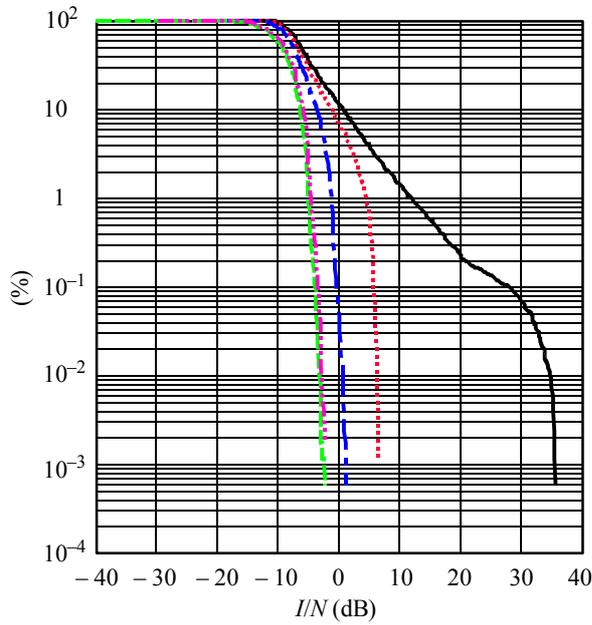
### 2.3.1 Resultados del sistema USAMEO-1 con el sistema LEOSAT-1

Como el sistema de reducción de la interferencia es un sistema en órbita terrestre media (MEO) y el otro sistema es un sistema en órbita terrestre baja (LEO), conviene utilizar un ángulo de evitación basado en la estación espacial para los Casos 2 y 3 y un ángulo de evitación basado en la estación terrena para los Casos 1 y 4 a fin de proporcionar la protección necesaria. Los valores de los ángulos reflejados en las Figs. 2 y 3 se refieren a los ángulos basados en la estación espacial o en la estación terrena, respectivamente.

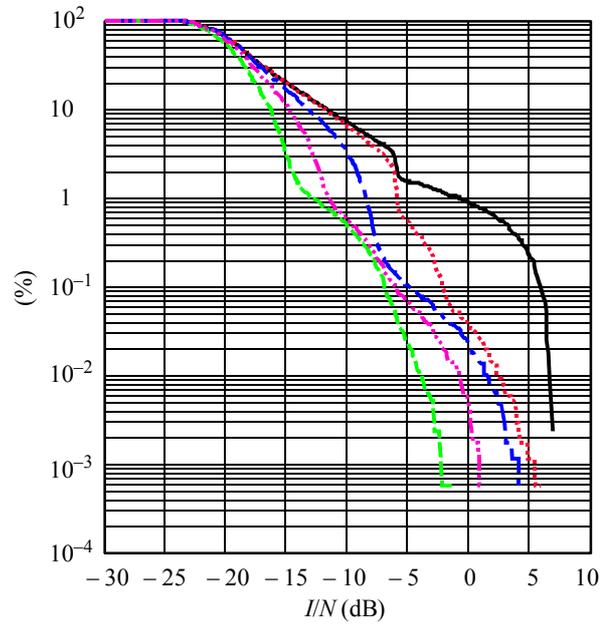
Para proteger a los cuatro casos de interferencia, el sistema de reducción de la interferencia debe utilizar un ángulo de evitación basado en la estación terrena de  $16,0^\circ$  y un ángulo de evitación basado en la estación espacial de  $0,5^\circ$ .

La repercusión de la reducción de la interferencia en el sistema se muestra en la Fig. 4, la traza para la visibilidad (es decir, el número de satélites utilizables que satisfacen el criterio de los valores del ángulo de elevación y de reducción de la interferencia), y en la Fig. 5, las trazas para las conmutaciones de satélites (conexiones) a nuevos satélites y el tiempo de seguimiento medio de una estación terrena a un satélite (permanencia) de un haz en un satélite.

FIGURA 2  
**Función de distribución acumulativa de  $I/N$ , interferencia del sistema USAMEO-1 a los enlaces ascendente y descendente del sistema LEOSAT-1**

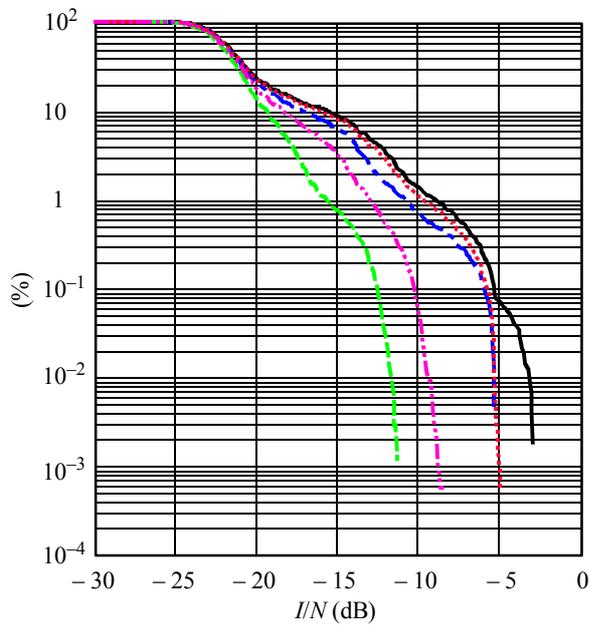


| Umbral = 0,0854 %   |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 2,0 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 18,96440% falla         |
| ... 5,0°            | 13,71494% falla         |
| - - 10,0°           | 4,37449% falla          |
| - · - · 15,0°       | 0,08597% falla          |
| - - - - 16,0°       | 0,08356% pasa           |

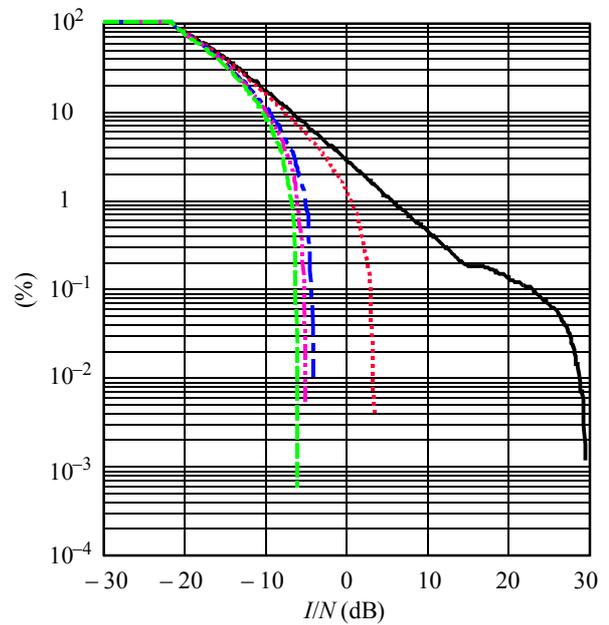


| Umbral = 0,041285 % |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 9,7 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 0,03958% pasa           |
| ... 0,5°            | 0,03825% pasa           |
| - - 1,0°            | 0,03793% pasa           |
| - · - · 1,5°        | 0,03773% pasa           |
| - - - - 2,0°        | 0,03760% pasa           |

FIGURA 3  
**Función de distribución acumulativa de  $I/N$ , interferencia del sistema LEOSAT-1 a los enlaces ascendente y descendente del sistema USAMEO-1**



| Umbral = 0,14334 %  |                         |       |
|---------------------|-------------------------|-------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 1,2 \text{ dB})$ |       |
| — 0,0°              | 0,20289%                | falla |
| ... 0,5°            | 0,13230%                | pasa  |
| - - - 1,0°          | 0,13036%                | pasa  |
| · · · 1,5°          | 0,13005%                | pasa  |
| - - - 2,0°          | 0,12985%                | pasa  |



| Umbral = 0,13713 %  |                         |       |
|---------------------|-------------------------|-------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 1,1 \text{ dB})$ |       |
| — 0,0°              | 7,88489%                | falla |
| ... 5,0°            | 6,32956%                | falla |
| - - - 10,0°         | 1,68909%                | falla |
| · · · 11,0°         | 0,45743%                | falla |
| - - - 12,0°         | 0,12982%                | pasa  |

FIGURA 4

Repercusiones de la reducción de la interferencia en el sistema LEOSAT-1 sobre la visibilidad del sistema USAMEO-1

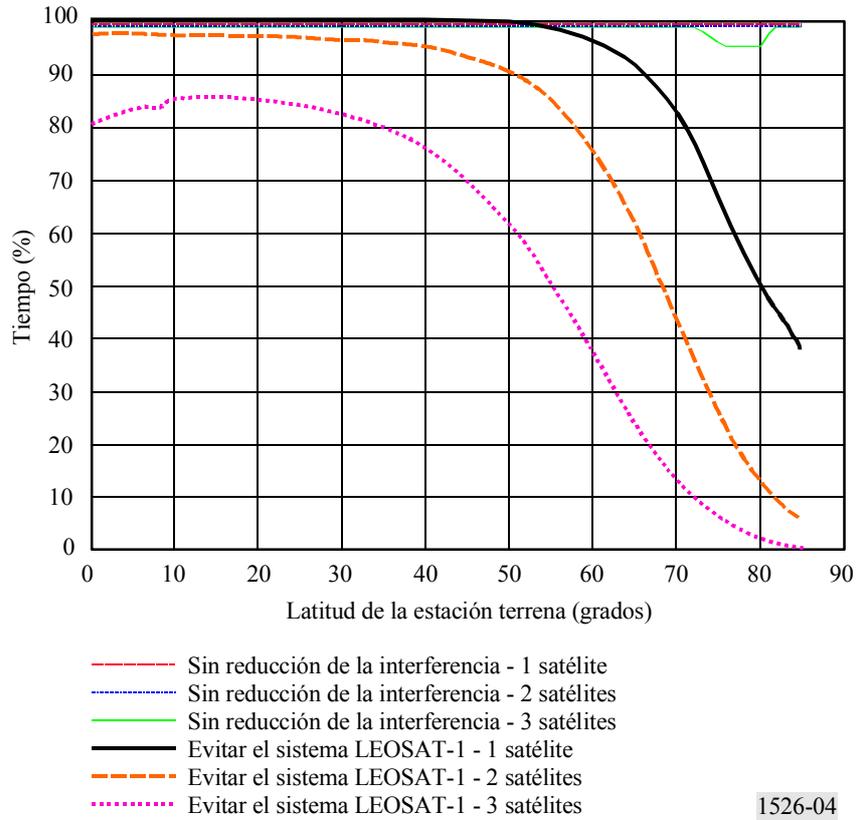
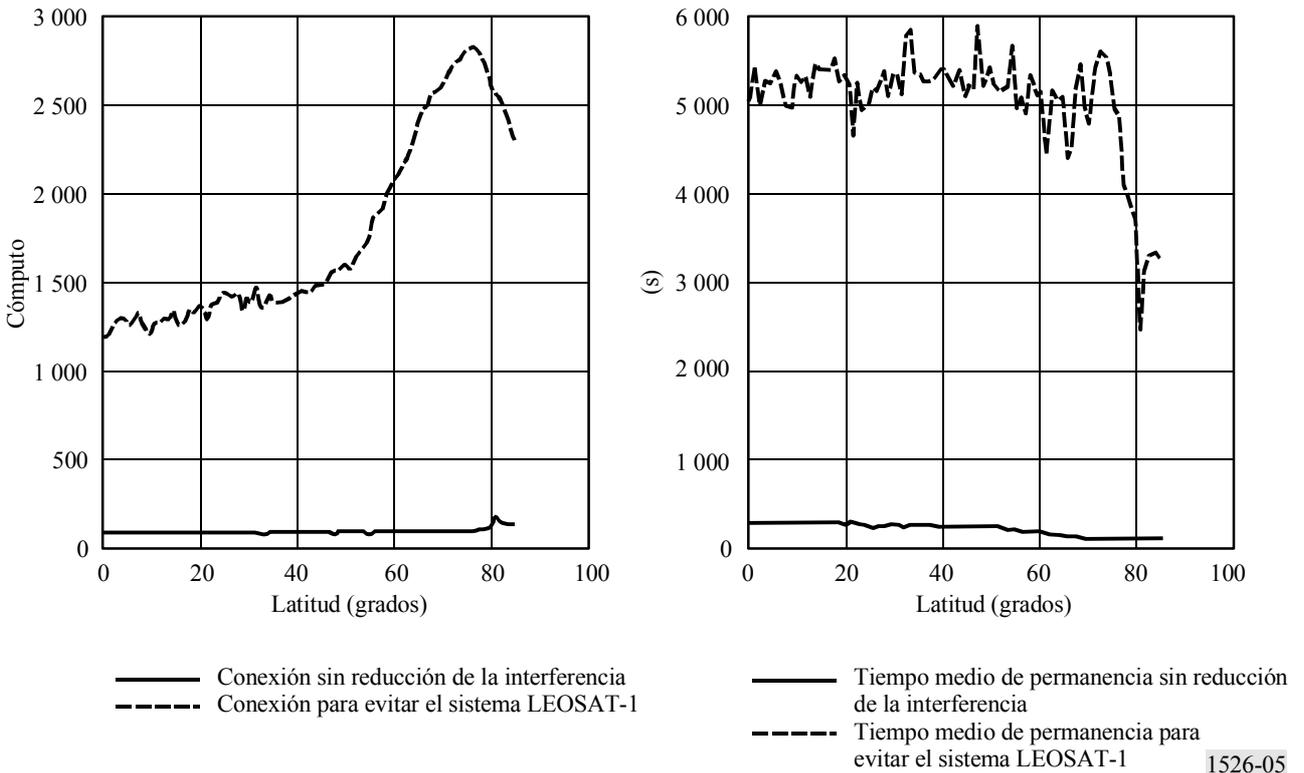


FIGURA 5

Repercusión de la reducción de la interferencia en el sistema LEOSAT-1 sobre el tiempo de conmutación de satélites y el tiempo medio de seguimiento de satélites del sistema USAMEO-1



En los Cuadros 6 y 7 se muestra el efecto de la ponderación de los valores estadísticos de la visibilidad teniendo en cuenta la distribución de la población y la distribución del PIB (estimaciones de 1999).

CUADRO 6

**Porcentaje de la población mundial que recibe nivel de cobertura en el percentil indicado con evitación del sistema LEOSAT-1**

| Percentil | Cobertura sin reducción de la interferencia |        |        | Cobertura con reducción de la interferencia |       |       |
|-----------|---|--------|--------|---|-------|-------|
|           | 1X  | 2X     | 3X     | 1X  | 2X    | 3X    |
| 100       | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 99        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 94,99                                       | 0,00  | 0,00  |
| 95        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 99,71                                       | 79,95 | 0,00  |
| 90        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 99,89                                       | 93,81 | 0,00  |
| 80        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 99,99                                       | 99,01 | 67,57 |
| 50        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 100,00                                      | 99,94 | 98,22 |

CUADRO 7

**Porcentaje de la PIB mundial que recibe nivel de cobertura en el percentil indicado con evitación del sistema LEOSAT-1**

| Percentil | Cobertura sin reducción de la interferencia |        |        | Cobertura con reducción de la interferencia |       |       |
|-----------|---|--------|--------|---|-------|-------|
|           | 1X  | 2X     | 3X     | 1X  | 2X    | 3X    |
| 100       | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 99        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 88,06                                       | 0,00  | 0,00  |
| 95        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 99,37                                       | 52,44 | 0,00  |
| 90        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 99,83                                       | 84,36 | 0,00  |
| 80        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 99,99                                       | 97,89 | 28,96 |
| 50        | 100,00                                      | 100,00 | 100,00 | 100,00                                      | 99,91 | 96,73 |

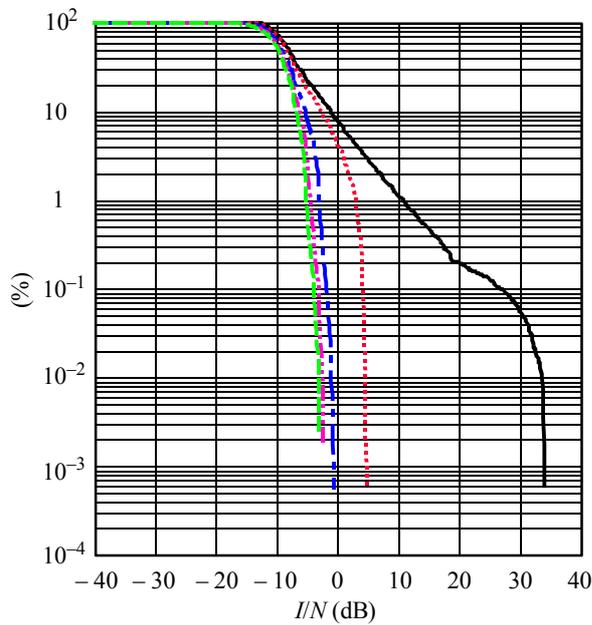
### 2.3.2 Resultados del sistema USAMEO-1 con el sistema LEO-XX

Al igual que con el sistema LEOSAT-1, como el sistema de reducción de la interferencia es un sistema MEO y el otro es un sistema LEO, es adecuado utilizar un ángulo de evitación basado en la estación espacial para los Casos 2 y 3 y un ángulo de evitación basado en la estación terrena para los Casos 1 y 4 a fin de proporcionar la protección necesaria. Los valores de los ángulos indicados en las Figs. 6 y 7 se refieren a los ángulos basados en la estación espacial o en la estación terrena, respectivamente.

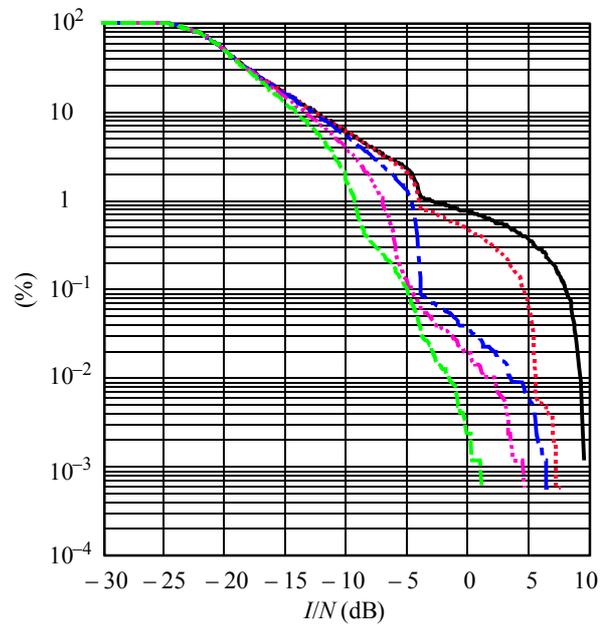
Para proteger a los cuatro casos de interferencia, el sistema de reducción de la interferencia debe utilizar un ángulo de evitación basado en la estación terrena de 13° y un ángulo de evitación basado en la estación espacial de 0,5°.

La repercusión de la reducción de la interferencia en el sistema se muestra en la Fig. 8, la traza para la visibilidad (es decir, el número de satélites utilizables que satisfacen el criterio de valores del ángulo de elevación y de reducción de la interferencia), y en la Fig. 9, las trazas para las conmutaciones de satélites (conexiones) a nuevos satélites y el tiempo medio de seguimiento de una estación terrena a un satélite (permanencia) de un haz en un satélite.

FIGURA 6  
 Función de distribución acumulativa de  $I/N$ , interferencia del sistema USAMEO-1 a los enlaces ascendente y descendente del sistema LEOSAT-XX

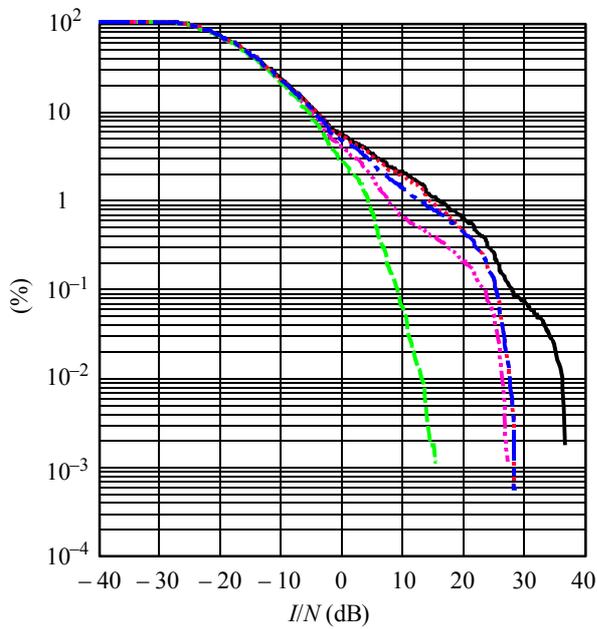


| Umbral = 0,083269 % |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 2,0 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 13,58073% falla         |
| ⋯ 5,0°              | 9,62194% falla          |
| - - 10,0°           | 0,40669% falla          |
| - · - · 12,0°       | 0,09106% falla          |
| - - - - 13,0°       | 0,08072% pasa           |

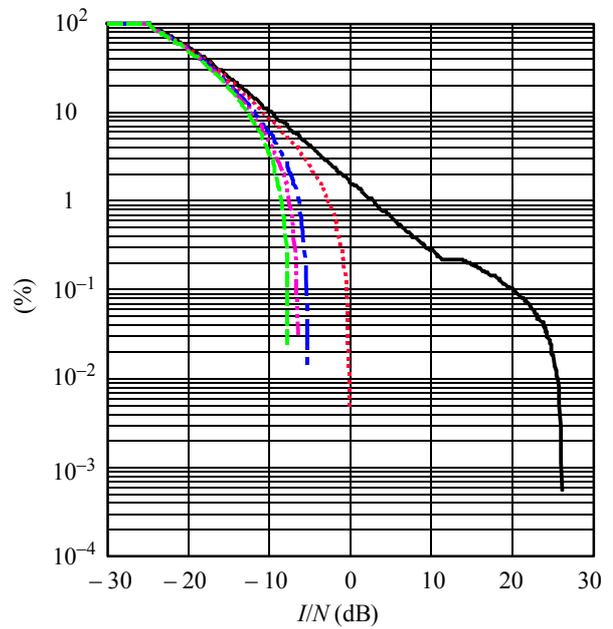


| Umbral = 0,040297 % |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 9,7 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 0,06093% falla          |
| ⋯ 0,5°              | 0,03778% pasa           |
| - - 1,0°            | 0,03721% pasa           |
| - · - · 1,5°        | 0,03701% pasa           |
| - - - - 2,0°        | 0,03687% pasa           |

FIGURA 7  
**Función de distribución acumulativa de  $I/N$ , interferencia del sistema LEO-XX  
 a los enlaces ascendente y descendente del sistema USAMEO-1**

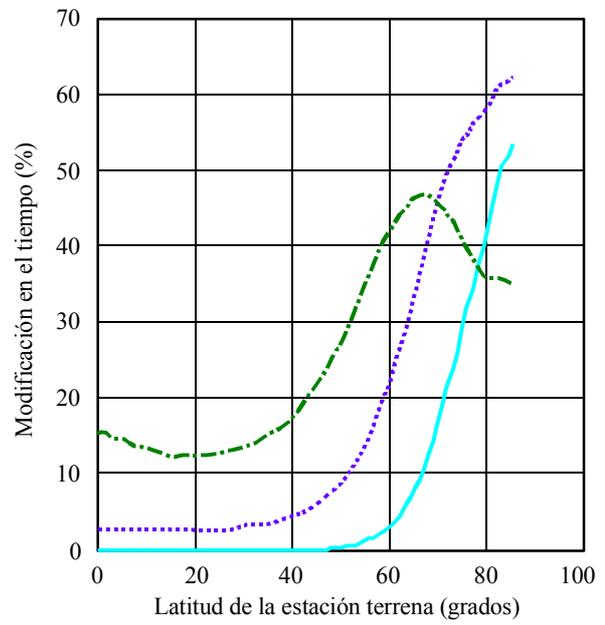
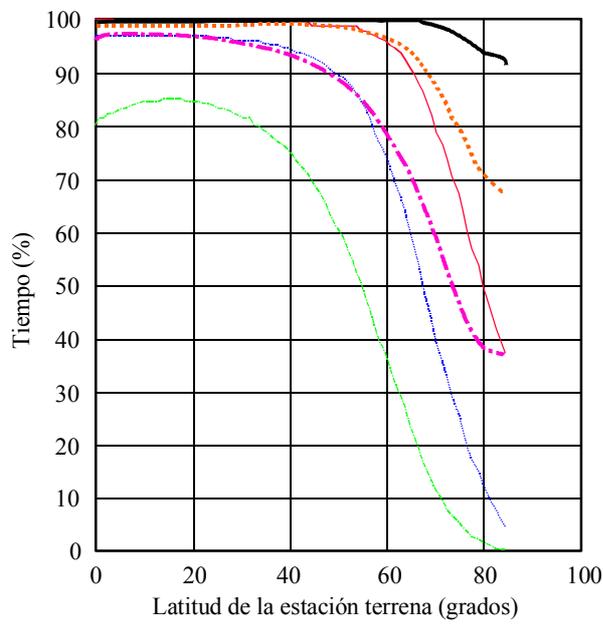


| Umbral = 0,14334 %  |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 1,2 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 0,20050% falla          |
| ⋯ 0,5°              | 0,12939% pasa           |
| - - 1,0°            | 0,12935% pasa           |
| - · - 1,5°          | 0,12927% pasa           |
| - - - 2,0°          | 0,12918% pasa           |



| Umbral = 0,13713 %  |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 1,1 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 4,82810% falla          |
| ⋯ 5,0°              | 3,09127% falla          |
| - - 8,0°            | 0,34125% falla          |
| - · - 9,0°          | 0,12752% pasa           |
| - - - 10,0°         | 0,12705% pasa           |

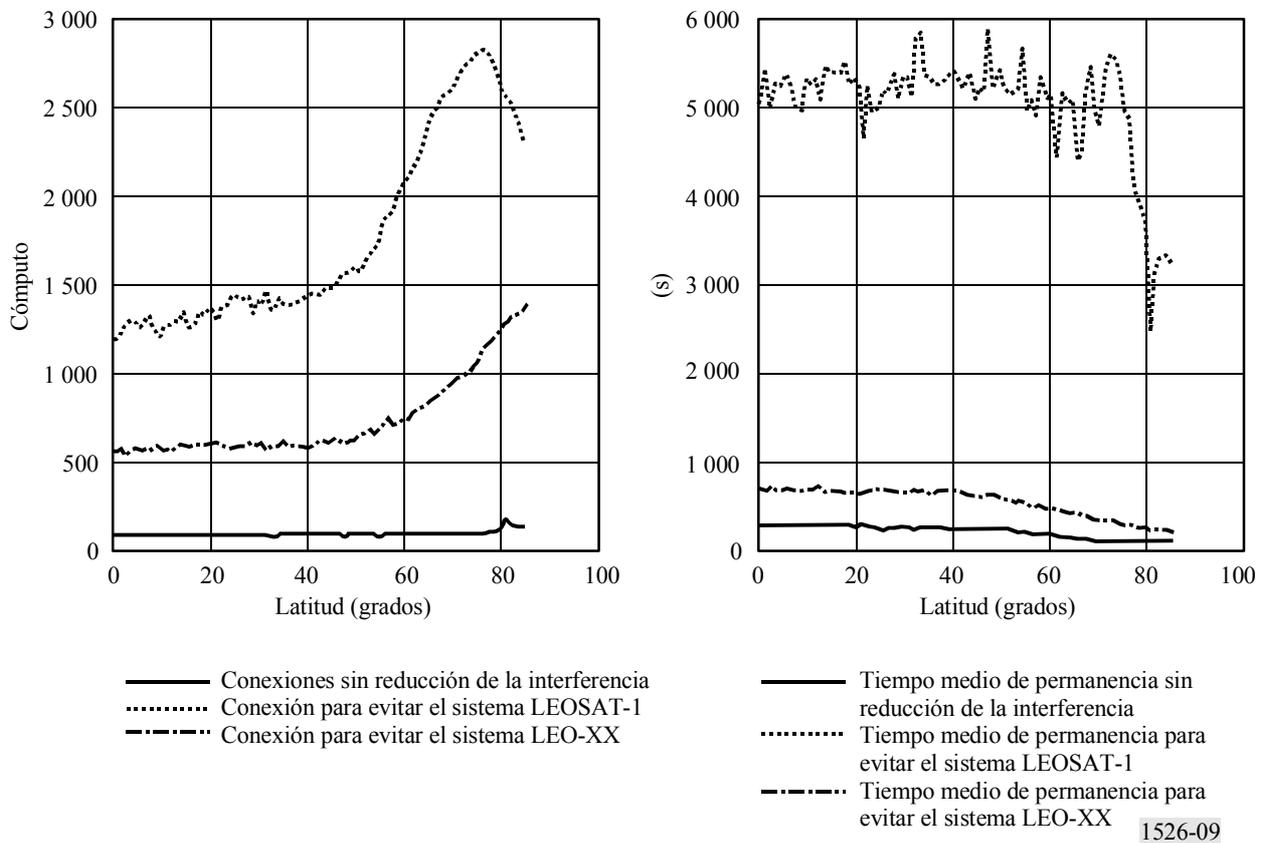
FIGURA 8  
**Repercusiones de la reducción de la interferencia en el sistema LEO-XX  
 sobre la visibilidad del sistema USAMEO-1**



- Evitar el sistema LEOSAT-1 - 1 satélite
- - - Evitar el sistema LEOSAT-1 - 2 satélites
- - - Evitar el sistema LEOSAT-1 - 3 satélites
- Evitar el sistema LEO-XX - 1 satélite
- - - Evitar el sistema LEO-XX - 2 satélites
- - - Evitar el sistema LEO-XX - 3 satélites

- Diferencia - 1 satélite
- - - Diferencia - 2 satélites
- - - Diferencia - 3 satélites

FIGURA 9  
**Repercusiones de la reducción de la interferencia en el sistema LEO-XX sobre la conmutación de satélites y el tiempo medio de seguimiento de satélites del sistema USAMEO-1**



En los Cuadros 8 y 9 aparece el efecto de la ponderación de los valores estadísticos de la visibilidad según la distribución de la población y la distribución del PIB (estimaciones de 1999).

CUADRO 8

**Porcentaje de la población mundial que recibe nivel de cobertura en el percentil indicado con evitación del sistema LEO-XX**

| Percentil | Cobertura |        |        | Cambio de la cobertura del sistema LEOSAT-1 |       |       |
|-----------|-----------|--------|--------|---|-------|-------|
|           | 1X        | 2X     | 3X     | 1X  | 2X    | 3X    |
| 100       | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 99        | 99,98     | 85,47  | 0,00   | 4,99  | 85,47 | 0,00  |
| 95        | 100,00    | 99,82  | 61,87  | 0,29  | 19,87 | 61,87 |
| 90        | 100,00    | 99,96  | 90,79  | 0,11  | 6,15  | 90,79 |
| 80        | 100,00    | 100,00 | 99,39  | 0,01  | 0,99  | 31,83 |
| 50        | 100,00    | 100,00 | 100,00 | 0,00  | 0,06  | 1,78  |

CUADRO 9

**Porcentaje del PIB mundial que recibe nivel de cobertura en el percentil indicado con evitación del sistema LEO-XX**

| Percentil | Cobertura |        |        | Cambio de la cobertura del sistema LEOSAT-1 |       |       |
|-----------|-----------|--------|--------|---|-------|-------|
|           | 1X        | 2X     | 3X     | 1X  | 2X    | 3X    |
| 100       | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| 99        | 99,97     | 64,36  | 0,00   | 11,92                                       | 64,36 | 0,00  |
| 95        | 100,00    | 99,67  | 20,39  | 0,63  | 47,23 | 20,39 |
| 90        | 100,00    | 99,94  | 76,54  | 0,17  | 15,58 | 76,54 |
| 80        | 100,00    | 100,00 | 98,58  | 0,01  | 2,11  | 69,62 |
| 50        | 100,00    | 100,00 | 100,00 | 0,00  | 0,09  | 3,27  |

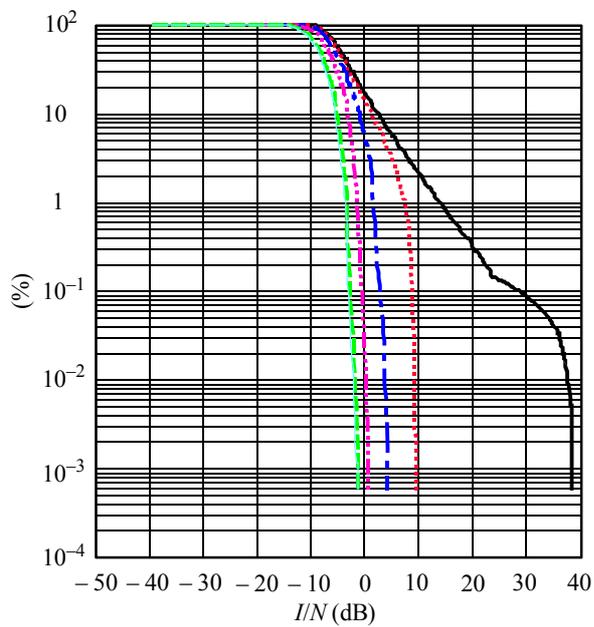
### 2.3.3 Resultados del sistema USAMEO-1 con el sistema LEO-YY

De nuevo en este caso, como el sistema de reducción de la interferencia es un sistema MEO y el otro es un sistema LEO es conveniente utilizar un ángulo de evitación basado en la estación espacial para los Casos 2 y 3 y un ángulo de evitación basado en la estación terrena para los Casos 1 y 4, a fin de proporcionar la protección necesaria. Los valores de los ángulos indicados en las Figs. 10 y 11 son los ángulos basados en la estación espacial o basados en la estación terrena, respectivamente.

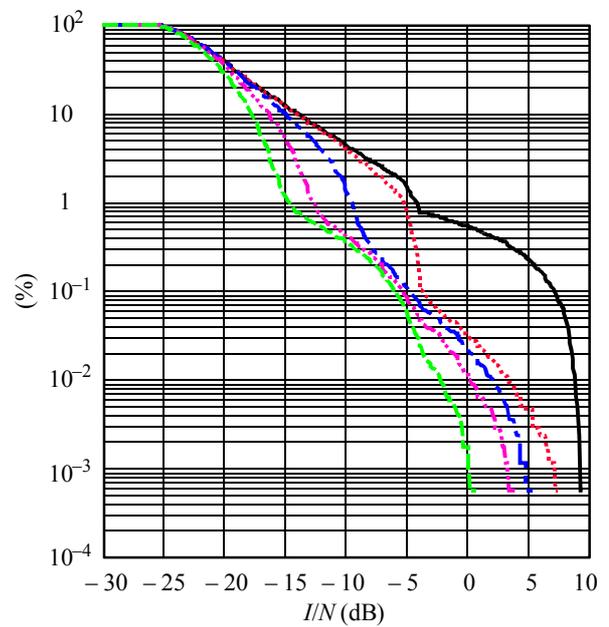
Para proteger a los cuatro casos de interferencia, el sistema de reducción de la interferencia debe utilizar un ángulo de evitación basado en la estación terrena de 21,0° y un ángulo de evitación basado en la estación espacial de 0,5°.

La repercusión de la reducción de la interferencia en el sistema se muestra en la Fig. 12, la traza para la visibilidad (es decir, el número de satélites utilizables que satisfacen el criterio de los valores de ángulo de elevación y de reducción de la interferencia), y en la Fig. 13, las trazas para las conmutaciones de satélites (conexiones) a nuevos satélites y el tiempo de seguimiento medio de una estación terrena a un satélite (permanencia) de un haz en un satélite.

FIGURA 10  
 Función de distribución acumulativa de  $I/N$ , interferencia del sistema USAMEO-1 a los enlaces ascendente y descendente del sistema LEO-YY

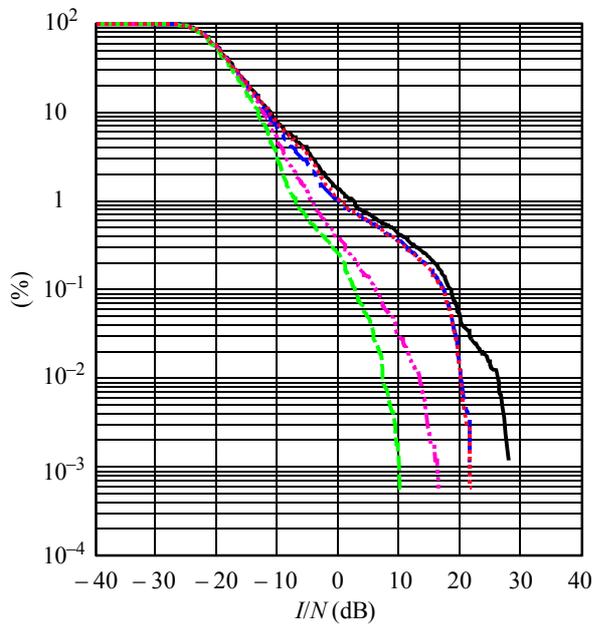


| Umbral = 0,11446 %  |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 2,0 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 26,56498% falla         |
| ⋯ 5,0°              | 22,77406% falla         |
| - - 10,0°           | 14,65915% falla         |
| ⋯ 15,0°             | 2,03578% falla          |
| - - 20,0°           | 0,12146% falla          |
| — 21,0°             | 0,11427% pasa           |

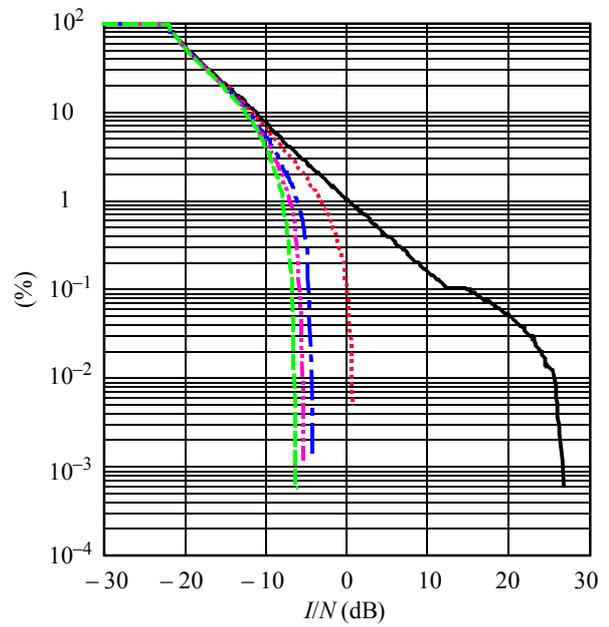


| Umbral = 0,054603 % |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 9,7 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 0,06057% falla          |
| ⋯ 0,5°              | 0,05015% pasa           |
| - - 1,0°            | 0,04983% pasa           |
| ⋯ 1,5°              | 0,04965% pasa           |
| - - 2,0°            | 0,04954% pasa           |

FIGURA 11  
**Función de distribución acumulativa de  $I/N$ , interferencia del sistema LEO-YY  
 a los enlaces ascendente y descendente del sistema USAMEO-1**



| Umbral = 0,14334 %  |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 1,2 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 0,12912% pasa           |
| ⋯ 0,5°              | 0,12910% pasa           |
| - - 1,0°            | 0,12909% pasa           |
| ⋯ 1,5°              | 0,12905% pasa           |
| - - 2,0°            | 0,12904% pasa           |



| Umbral = 0,13713 %  |                         |
|---------------------|-------------------------|
| Ángulo de evitación | $P(z > 1,1 \text{ dB})$ |
| — 0,0°              | 3,29509% falla          |
| ⋯ 5,0°              | 2,38887% falla          |
| - - 8,0°            | 0,85961% falla          |
| ⋯ 9,0°              | 0,18050% falla          |
| - - 10,0°           | 0,12759% pasa           |

FIGURA 12  
**Repercusión de la reducción de la interferencia en el sistema LEO-YY  
 en la visibilidad del sistema USAMEO-1**

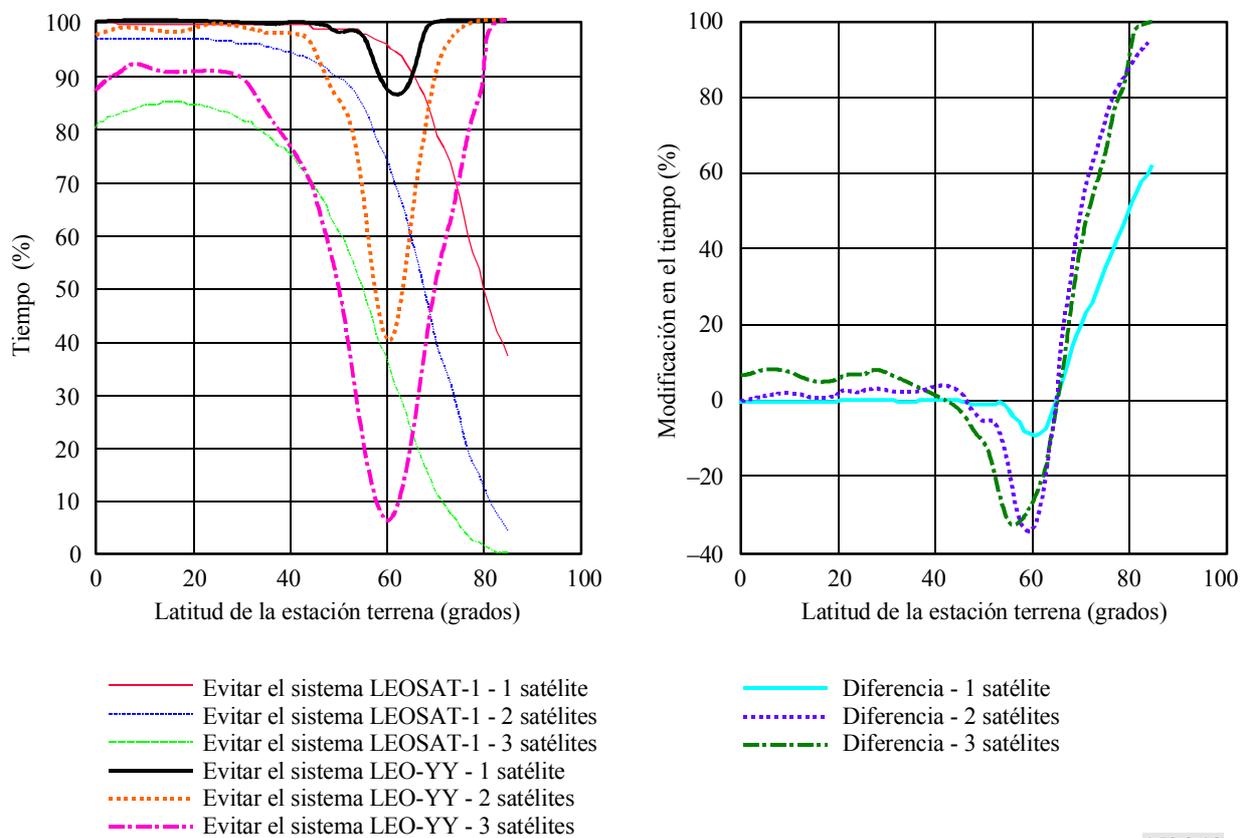
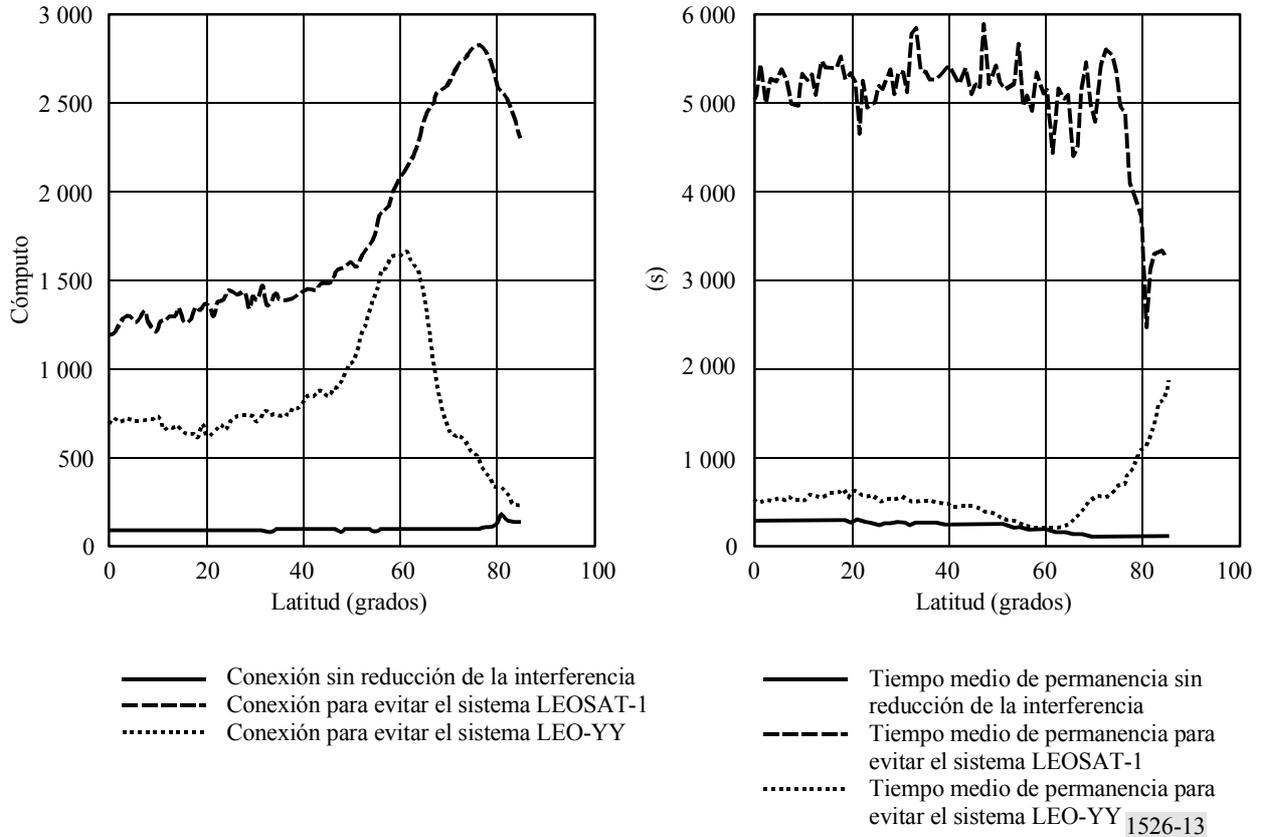


FIGURA 13

Repercusiones de la reducción de la interferencia en el sistema LEO-YY en la conmutación de satélites y el tiempo medio de seguimiento de satélites del sistema USAMEO-1



En los Cuadros 10 y 11 se muestra el efecto de la ponderación de los valores estadísticos de la visibilidad según la distribución de la población y la distribución del PIB (estimaciones de 1999).

CUADRO 10

Porcentaje de la población mundial que recibe nivel de cobertura en el percentil indicado con la evitación del sistema LEO-YY

| Percentil | Cobertura |       |       | Cambio de la cobertura del sistema LEOSAT-1 |       |       |
|-----------|-----------|-------|-------|---|-------|-------|
|           | 1X        | 2X    | 3X    | 1X  | 2X    | 3X    |
| 100       | 8,53      | 0,00  | 0,00  | 8,53  | 0,00  | 0,00  |
| 99        | 91,86     | 41,22 | 0,00  | -3,13                                       | 41,22 | 0,00  |
| 95        | 98,79     | 88,86 | 0,00  | -0,92                                       | 8,91  | 0,00  |
| 90        | 99,34     | 90,80 | 50,32 | -0,54                                       | -3,01 | 50,32 |
| 80        | 100,00    | 97,04 | 78,26 | 0,01  | -1,97 | 10,69 |
| 50        | 100,00    | 99,19 | 93,82 | 0,00  | -0,75 | -4,40 |

CUADRO 11

**Porcentaje del PIB mundial que recibe nivel de cobertura  
en el percentil indicado con evitación del sistema LEO-YY**

| Percentil | Cobertura |       |       | Cambio de la cobertura del sistema LEOSAT-1 |       |        |
|-----------|-----------|-------|-------|---|-------|--------|
|           | 1X        | 2X    | 3X    | 1X  | 2X    | 3X     |
| 100       | 6,64      | 0,00  | 0,00  | 6,64  | 0,00  | 0,00   |
| 99        | 79,28     | 13,49 | 0,00  | -8,78                                       | 13,49 | 0,00   |
| 95        | 97,58     | 72,33 | 0,00  | -1,79                                       | 19,89 | 0,00   |
| 90        | 98,42     | 76,55 | 14,81 | -1,41                                       | -7,81 | 14,81  |
| 80        | 100,00    | 94,36 | 49,37 | 0,01  | -3,53 | 20,42  |
| 50        | 100,00    | 98,22 | 84,37 | 0,00  | -1,69 | -12,36 |

## ANEXO 2

## Modelo de degradación debida a la lluvia para las convoluciones

### 1 Introducción

NOTA 1 – Todos los símbolos de este Anexo representan valores numéricos en vez de valores en dB.

La Recomendación UIT-R S.1323 (Metodología A) se ha utilizado en el ejemplo presentado en el Anexo 1 para evaluar si puede ser aceptable o no por otro sistema la interferencia externa generada por un sistema determinado. Ello requiere realizar la convolución de la función densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia,  $X$ , con la de la degradación debida a la interferencia,  $Y$ , para obtener una función densidad de probabilidad de degradación total,  $Z$ . Suponiendo que al menos el 10% de la degradación total corresponde a la interferencia externa (es decir, toda la interferencia externa se atribuye a un sistema) y que se produce una interrupción del enlace para un valor umbral de degradación especificado,  $D_{th}$ , el 90% de la probabilidad de que la degradación total rebase el valor  $D_{th}$  debe ser menor o igual a la probabilidad de que la degradación debida a la lluvia rebase el valor  $D_{th}$ :

$$P(Z \geq D_{th}) \leq P(X \geq D_{th})/0,9$$

Para generar una función densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia, se utiliza uno de los modelos de lluvia normalizados, tal como el de la Recomendación UIT-R P.618, a fin de determinar la probabilidad de que la atenuación por desvanecimiento debido a la lluvia se encuentre en una gama determinada. La relación entre la atenuación debida a la lluvia,  $L_R$ , y la degradación debida a la lluvia,  $X$  es un valor específico al enlace que se está evaluando. También pueden utilizarse otras metodologías, como la metodología D' de la Recomendación UIT-R S.1323, para evaluar la interferencia generada por un sistema del SFS no OSG en otro sistema.

## 2 Relación entre el desvanecimiento debido a la lluvia y la degradación debida a la lluvia en el enlace descendente

En la Recomendación UIT-R S.1323 aparece la siguiente relación entre  $X$  y  $L_R$  para un enlace descendente genérico, que supone que la interferencia se desvanece junto con la portadora en condiciones de lluvia:

$$X = \frac{(1-\alpha) \left( L_R + \frac{(T_0 - T_B)}{T_{SIS}} \cdot \frac{(L_R - 1)}{L_A} \right) + \frac{\alpha}{L_A}}{(1-\alpha) + \frac{\alpha}{L_A}} \quad (1)$$

siendo

- $\alpha$ : fracción del ruido del enlace descendente total con cielo despejado, debido a la interferencia (es decir,  $\alpha = I/(N + I)$ )
- $L_R$ : atenuación debida a la lluvia (relación numérica)
- $T_0$ : temperatura de absorción media (valor típico = 274,8 K)
- $T_B$ : temperatura de fondo (2,76 K para el cielo)
- $T_{SIS}$ : temperatura de ruido térmico del enlace descendente
- $L_A$ : atenuación debida a la absorción atmosférica (relación numérica).

## 3 Relación entre el desvanecimiento debido a la lluvia y la degradación debida a la lluvia en el enlace ascendente

En el caso de un enlace ascendente, donde la interferencia puede sufrir o no desvanecimiento con la lluvia, es necesario establecer una expresión más general que relacione los valores de  $L_R$  y  $X$ . A continuación se indican expresiones generales para  $(C/(N + I))_{con\ desvanecimiento}$  y para la degradación debida a la lluvia  $X$ .

Sea  $\beta = \left( \frac{I}{N} \right)_{cielo\ despejado}$   $\delta =$  fracción de  $I$  sin desvanecimiento

$$\left( \frac{C}{N + I} \right)_{sin\ desvanecimiento} = \frac{C}{N + \beta N} = \frac{C}{N(1 + \beta)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{C}{N + I} \right)_{con\ desvanecimiento} &= \frac{C/L_R}{N + \delta I + (1 - \delta) I/L_R} = \frac{C}{L_R \cdot N(1 + \delta I/N + (1 - \delta) (I/N)/L_R)} \cdot \frac{1 + \beta}{1 + \beta} \\ &= \frac{1 + \beta}{L_R(1 + \delta\beta + (1 - \delta)\beta/L_R)} \cdot \frac{C}{N(1 + \beta)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$X = \frac{(C/N + 1)_{sin\ desvanecimiento}}{(C/N + 1)_{con\ desvanecimiento}} = \frac{L_R(1 + \delta\beta + (1 - \delta)\beta/L_R)}{1 + \beta} = \frac{L_R(1 + \delta\beta) + (1 - \delta)\beta}{1 + \beta} \quad (4)$$

Como

$$\beta = \frac{I}{N} = \frac{I/(I + N)}{(N + I - I)/(I + N)} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (5)$$

La expresión para  $X$  puede escribirse de la forma siguiente:

$$X = L_R((1-\alpha) + \delta\alpha) + (1-\delta)\alpha \quad (6)$$

A continuación se obtiene una expresión para determinar  $\delta$ , fracción de  $I$  sin desvanecimiento, en función de los valores de la relación  $C/I$  determinada en condiciones de desvanecimiento y sin desvanecimiento:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_{con\ desvanecimiento} = \frac{C/L_R}{\delta I + (1-\delta) I/L_R} = \frac{1}{L_R \cdot \delta + (1-\delta)} \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{sin\ desvanecimiento} \quad (7)$$

y por lo tanto:

$$\delta = \frac{1}{L_R - 1} \cdot \left( \frac{(C/I)_{sin\ desvanecimiento}}{(C/I)_{con\ desvanecimiento}} - 1 \right) \quad (8)$$

Cuando  $C/I$  toma el mismo valor en condiciones con desvanecimiento y sin desvanecimiento (es decir,  $I$  sufre el mismo desvanecimiento que la portadora y por lo tanto  $\delta = 0$ ), la anterior expresión para  $X$  se simplifica quedando en:

$$X = L_R(1 - \alpha) + \alpha \quad (9)$$

Cuando  $I$  no sufre ningún desvanecimiento (es decir,  $\delta = 1$ ), la expresión para  $X$  pasa a ser:

$$X = L_R \quad (10)$$

#### 4 Modelo de control de potencia

Cuando no se utiliza control de potencia en un enlace determinado, la degradación del enlace comienza con cualquier desvanecimiento debido a la lluvia y, por consiguiente, puede utilizarse directamente la función densidad de probabilidad para  $X$  obtenida de la ecuación anterior adecuada en función de  $L_R$ .

Cuando se emplea control de potencia para compensar el desvanecimiento debido a la lluvia, no se produce degradación en el enlace hasta que se alcanza la gama dinámica del control de potencia. En este caso, debe obtenerse una función densidad de probabilidad modificada aplicable a la degradación debida a la lluvia  $X'$  (con control de potencia), basada en la función densidad de probabilidad para la degradación debida a la lluvia  $X$  (sin control de potencia). La función densidad de probabilidad para  $X'$  debe tener un impulso para una degradación de 0 dB lo que indica la probabilidad de un desvanecimiento debido a la lluvia inferior o igual al máximo desvanecimiento debido a la lluvia compensado por la función de control de potencia. Si  $F$  es el máximo desvanecimiento debido a la lluvia sin degradación y  $M$  es el valor de  $X$  para este desvanecimiento debido a la lluvia,

$$P(X' = 0) = P(L_R \leq F) = P(X \leq M) \quad (11)$$

$$P(X' \leq i) = P(X \leq i + M) \quad \text{para } X > M (i > 0) \quad (12)$$