

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1526-1

Metodología para evaluar el entorno de interferencia en relación con los números 9.12, 9.12A y 9.13 del Reglamento de Radiocomunicaciones cuando intervienen sistemas del servicio fijo por satélite no geoestacionario*

(Cuestión UIT-R 231/4)

(2001-2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que algunos sistemas del servicio fijo por satélite no geoestacionario (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 en funcionamiento o planificados;
- c) que otros sistemas del SFS 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 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 11.43B del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y las Reglas de Procedimiento asociadas permiten introducir modificaciones en las características del sistema de las asignaciones de frecuencia inscritas, incluyendo los sistemas del SFS no OSG, 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;
- h) que el *resuelve* 2 de la Resolución 132 (CMR-97) indica que en las bandas de 18,8-19,3 GHz y 28,6-29,1 GHz, para sistemas del SFS no OSG notificadas antes del 18 de noviembre de 1995, cuando no se necesitaba coordinación (antes de esa fecha), 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;

* Es necesario estudiar más la aplicabilidad de esta Recomendación a la compartición de los sistemas del SFS no OSG con los del SFS OSG (números 9.12A/9.13 del RR) en las bandas de 19,3-19,7 GHz y 29,1-29,5 GHz.

- j) que en las bandas del *considerando* h) se aplican los números 9.12, 9.12A y 9.13 del RR;
- k) que para algunas otras bandas del SFS no OSG se han adoptado límites de $dfpe_{\downarrow}$ y $dfpe_{\uparrow}$ en el Artículo 22 del RR a fin de limitar la interferencia provocada a los sistemas del SFS OSG y del SRS OSG, y que el número 9.12 del RR se aplica entre sistemas del SFS no OSG;
- l) que en las situaciones de compartición del *considerando* j), la Recomendación UIT-R S.1323 proporciona los máximos niveles autorizados de interferencia en una red de satélites del SFS;
- m) que es conveniente disponer de una 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,

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 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 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 (Sistema A) afectan el entorno de interferencia creado por este sistema con respecto a otro sistema del SFS (Sistema B). 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, ambos sistemas pueden utilizar estrategias de reducción de la interferencia en las 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. Entre las posibles estrategias de reducción de la interferencia que se han de considerar figuran: la evitación que da lugar a la pérdida del servicio durante los sucesos en línea, la diversidad de satélites, la diversidad de emplazamientos de las estaciones terrenas, las estrategias de selección de satélites, la distribución de canales, el balance del enlace, la polarización alternada y las características de antena mejoradas. El procedimiento puede resumirse en los pasos siguientes:

Paso 1: Se determinan las estrategias de reducción de la interferencia (por ejemplo, los valores del ángulo de evitación) que deben utilizarse en los sistemas para protegerse frente a las hipótesis de interferencia consideradas en el Sistema A (con sus parámetros anteriores a la modificación).

Paso 2: Se calculan las características de comportamiento pertinentes (por ejemplo, la visibilidad, el sistema de conmutación de satélites, el tiempo de seguimiento del satélite, la disponibilidad, etc.) a lo largo de la zona de servicio del Sistema B, utilizando las estrategias de reducción de la interferencia determinadas en el Paso 1.

Paso 3: Se repiten los Pasos 1 y 2 sustituyendo los parámetros del Sistema A por los nuevos parámetros.

Paso 4: Se comparan las estadísticas del comportamiento del Sistema B antes y después de modificar el Sistema A.

Paso 5: Si todas las estadísticas han mejorado, se llega a la conclusión de que el cambio de diseño del Sistema A ha facilitado la compartición para el Sistema B.

Paso 6: Si todas las estadísticas han empeorado, se llega a la conclusión de que el cambio de diseño del sistema A ha dificultado la compartición para el Sistema B.

Paso 7: Si algunas estadísticas no han mejorado y si algunas han empeorado, no puede extraerse ninguna conclusión inmediata sobre la situación de compartición. Se pueden tener en cuenta factores adicionales que afectan la distribución de las variaciones de interferencia para los diversos emplazamientos de las estaciones terrenas del Sistema B, como el promedio ponderado.

No obstante, sería necesario en última instancia que las partes interesadas (es decir, los operadores de los Sistemas A y B), a través de un acuerdo de coordinación se pusieran de acuerdo sobre los detalles del criterio que se ha de aplicar, en particular, las hipótesis de cálculo y de simulación utilizadas en el análisis y la aplicación de las técnicas de promedio ponderado.

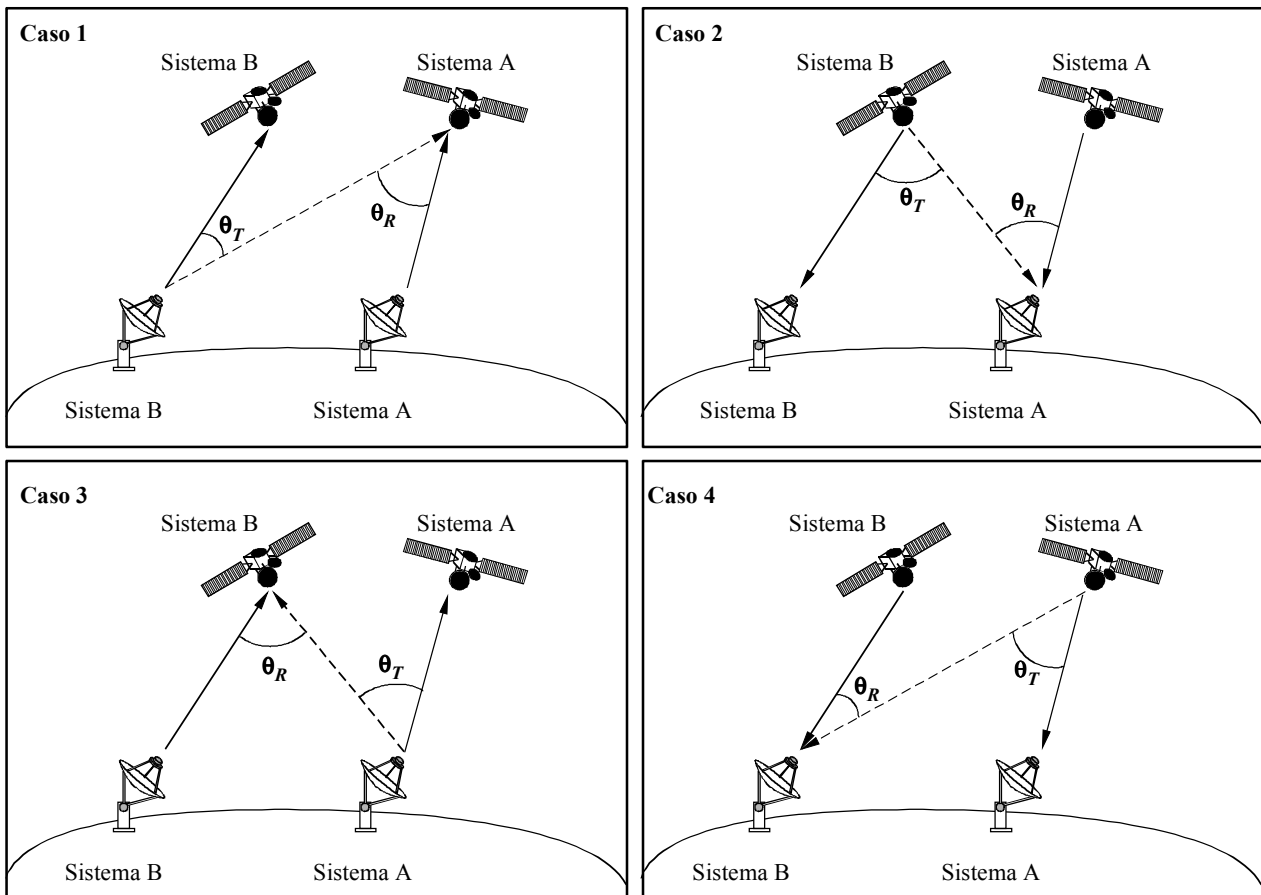
Las cuatro hipótesis de interferencia citadas anteriormente se describen a continuación en la Fig. 1. El ángulo θ_T representa el ángulo de discriminación de transmisión (es decir, el ángulo fuera del eje entre el trayecto de la señal del transmisor y el trayecto de interferencia) y el ángulo θ_R es el ángulo de discriminación del receptor.

Los ejemplos de la aplicación de la metodología, incluyendo ejemplos de las estadísticas que caracterizan la visibilidad, la conmutación de satélites, el tiempo de seguimiento del satélite y la disponibilidad se describen en los § 2 y 3.

En los ejemplos se proporcionan más detalles sobre la forma de ponderar las estadísticas de visibilidad mediante la población o el producto interior bruto (PIB).

Las repercusiones de las modificaciones introducidas en un sistema del SFS no OSG sobre la compartición con otro sistema del SFS no OSG, suponiendo que se utiliza la diversidad de satélites, se examinan en el § 2. Las repercusiones de esas modificaciones en la compartición con un sistema del SFS OSG se examinan en el § 3.

FIGURA 1
Cuatro hipótesis de interferencia



1526-01

NOTA 1 – Las líneas punteadas corresponden a los trayectos de interferencia y las líneas continuas a los trayectos de señales deseadas.

2 Ejemplo de compartición entre sistemas del SFS no OSG: 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.

Otros ejemplos pueden incluir el caso en que para la reducción de la interferencia causada al sistema del SFS no OSG no se utiliza la diversidad de satélites y se experimenta la pérdida de servicio durante sucesos en línea. En ese caso, las estadísticas de calidad de funcionamiento relativas a la pérdida de servicio se pueden calcular de la manera indicada en el § 3.3.

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, -25 lóbulo lateral cercano, -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, -25 lóbulo lateral cercano, -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 2500 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)	2500	1375
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 (Fin)

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, $L_N = -25$ dB, apertura del haz = 2°	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, apertura del haz = $2,3^\circ$
¿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, $L_N = -25$ dB, apertura del haz = 2°	Rec. UIT-R S.672, $L_N = -25$ dB, apertura del haz = $2,3^\circ$
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-1

<i>Parámetros de la constelación</i>	
Número de satélites	32
Número de planos (para cada una de las dos subconstelaciones)	4 (× 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, abertura del haz = 2,3°, $L_N = -25$ 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 (Fin)

<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 $32 - 25 \log_{10}(\varphi)$, siendo φ 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 δ , 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 α 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	α	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

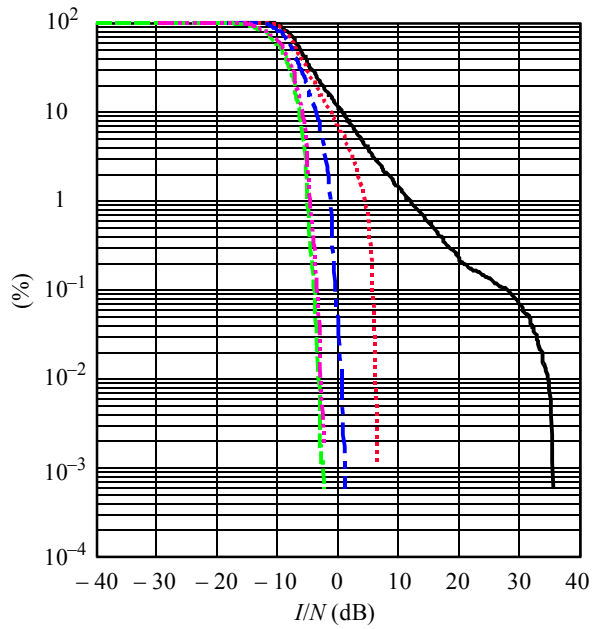
Como el sistema de reducción de la interferencia es un sistema en órbita terrestre media (MEO) y el otro sistema es un sistema en órbita terrestre baja (LEO), conviene utilizar un ángulo de evitación basado en la estación espacial para los Casos 2 y 3 y un ángulo de evitación basado en la estación terrena 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 $0,5^\circ$.

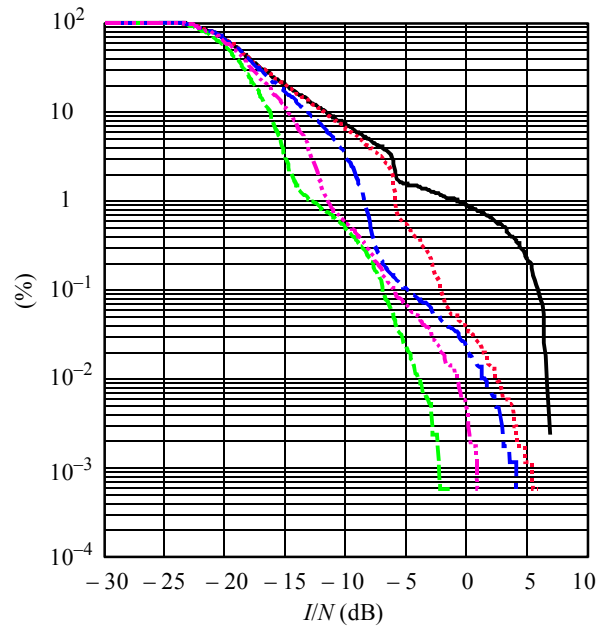
La repercusión de la reducción de la interferencia en el sistema se muestra en la Fig. 4, la traza para la visibilidad (es decir, el número de satélites utilizables que satisfacen el criterio de los valores del ángulo de elevación y de reducción de la interferencia), y en la Fig. 5, las trazas para las 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



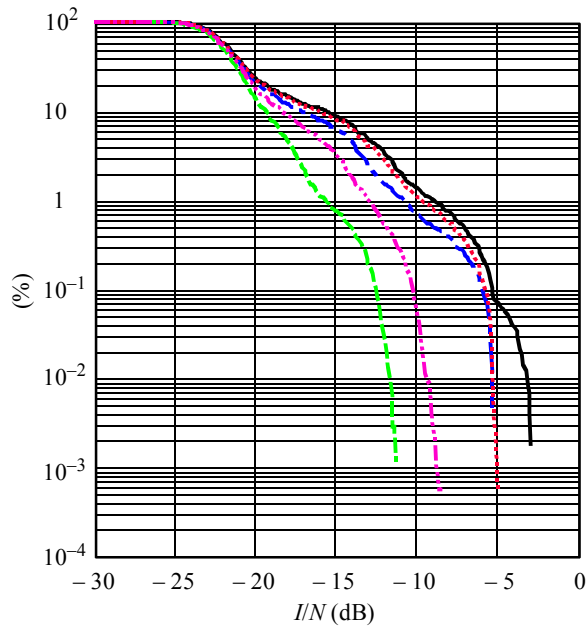
Umbral = 0,0854 %	
Ángulo de evitación	$P(z > 2,0 \text{ dB})$
— 0,0°	18,96440% falla
⋯ 5,0°	13,71494% falla
- - 10,0°	4,37449% falla
⋯ 15,0°	0,08597% falla
- - 16,0°	0,08356% pasa



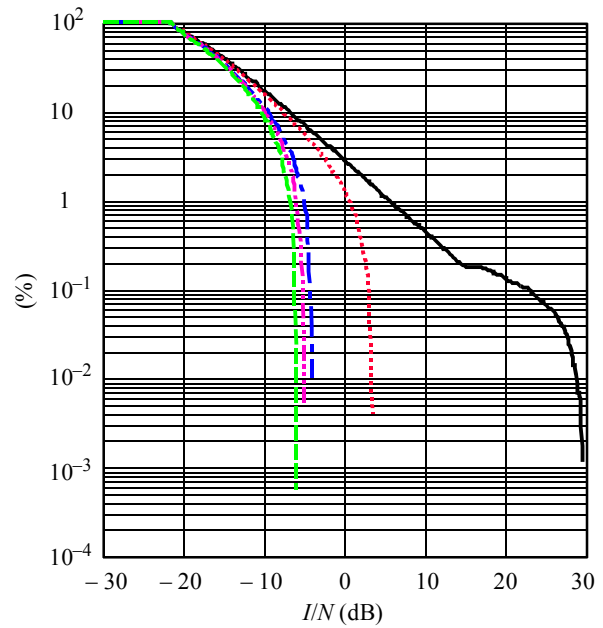
Umbral = 0,041285 %	
Ángulo de evitación	$P(z > 9,7 \text{ dB})$
— 0,0°	0,03958% pasa
⋯ 0,5°	0,03825% pasa
- - 1,0°	0,03793% pasa
⋯ 1,5°	0,03773% pasa
- - 2,0°	0,03760% pasa

FIGURA 3

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

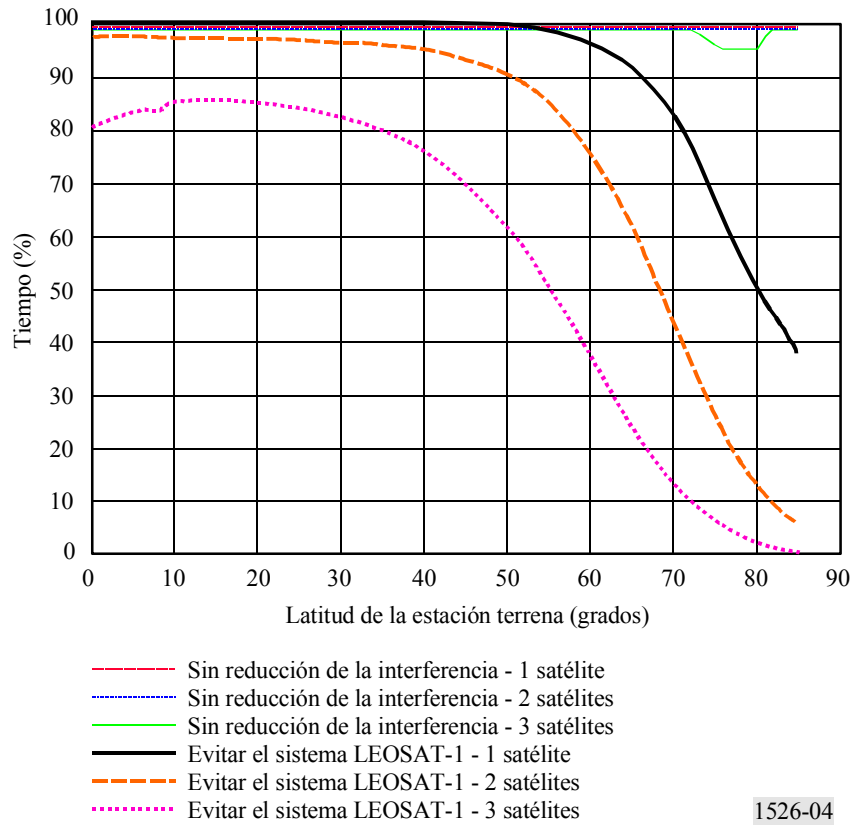


Umbral = 0,14334 %		
Ángulo de evitación	$P(z > 1,2 \text{ dB})$	
— 0,0°	0,20289%	falla
⋯ 0,5°	0,13230%	pasa
- - 1,0°	0,13036%	pasa
⋯ 1,5°	0,13005%	pasa
- - 2,0°	0,12985%	pasa



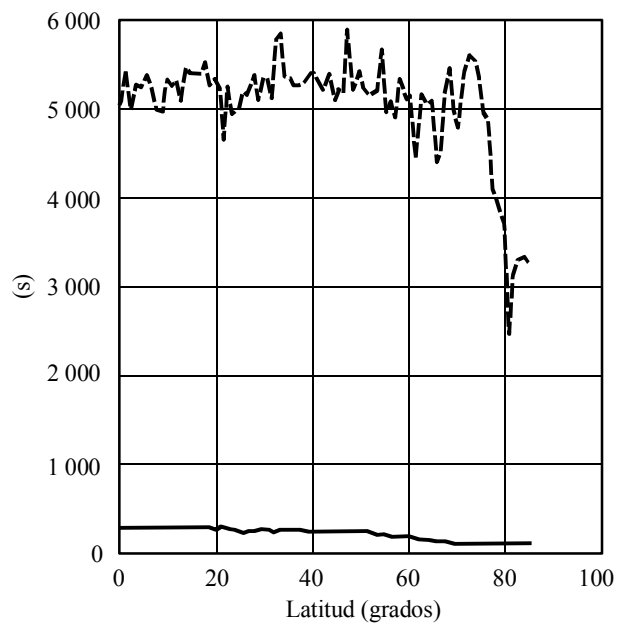
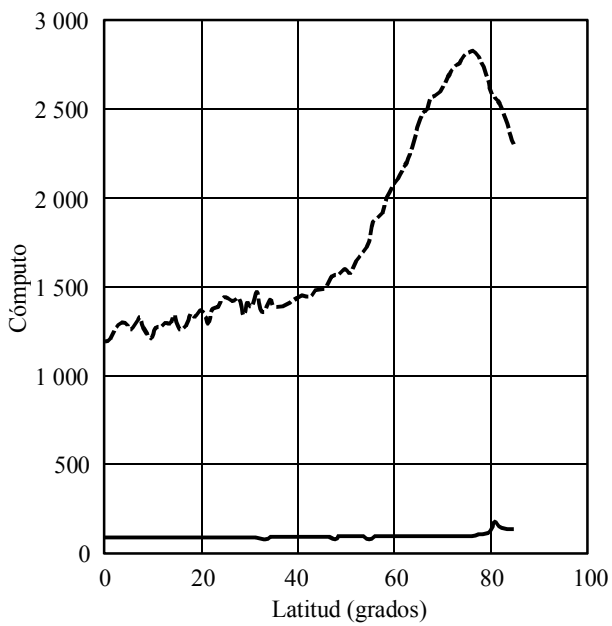
Umbral = 0,13713 %		
Ángulo de evitación	$P(z > 1,1 \text{ dB})$	
— 0,0°	7,88489%	falla
⋯ 5,0°	6,32956%	falla
- - 10,0°	1,68909%	falla
⋯ 11,0°	0,45743%	falla
- - 12,0°	0,12982%	pasa

FIGURA 4
Repercusiones de la reducción de la interferencia en el sistema LEOSAT-1 sobre la visibilidad del sistema USAMEO-1



1526-04

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



— Conexión sin reducción de la interferencia
 - - - Conexión para evitar el sistema LEOSAT-1

— Tiempo medio de permanencia sin reducción de la interferencia
 - - - Tiempo medio de permanencia para evitar el sistema LEOSAT-1

1526-05

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). No obstante, sería necesario que las partes interesadas (es decir, los operadores de los Sistemas A y B), a través de un acuerdo de coordinación, se pusiesen de acuerdo sobre la aplicación de las técnicas de promedio ponderado.

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

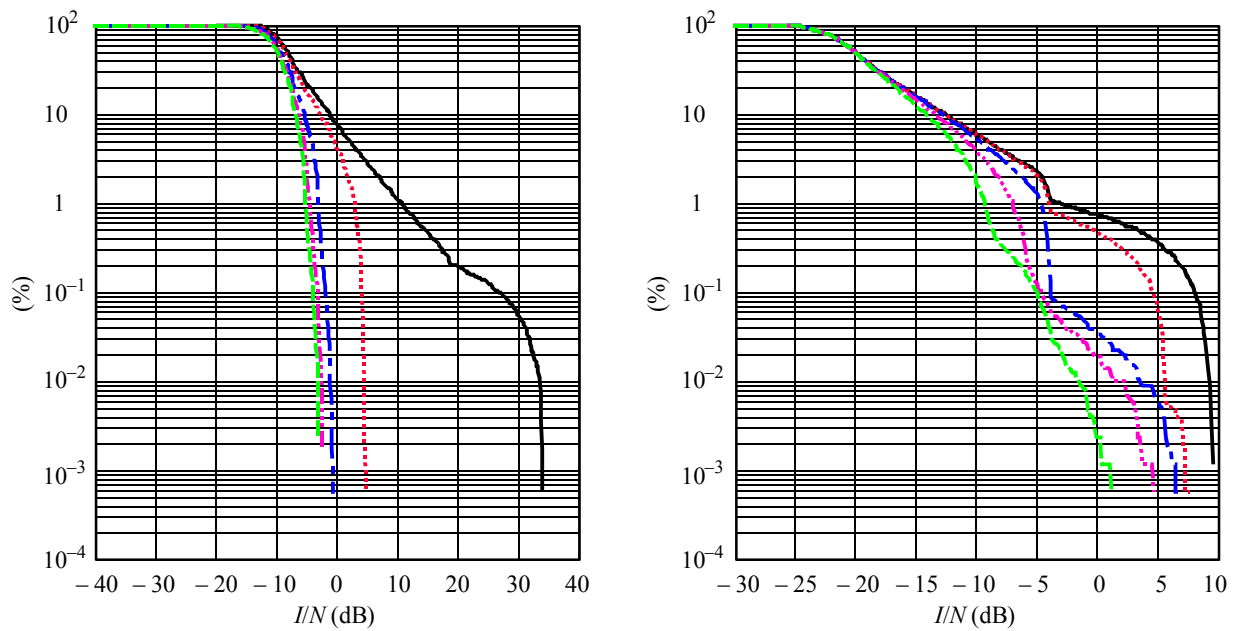
2.3.2 Resultados del sistema USAMEO-1 con el sistema LEO-XX

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°.

FIGURA 6

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

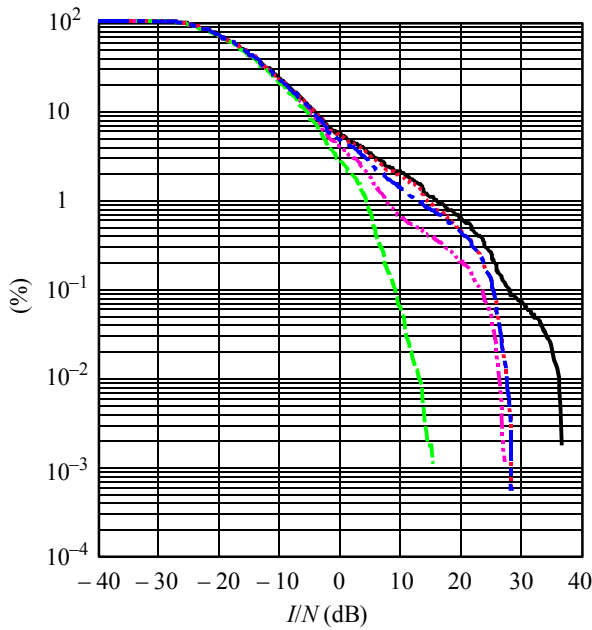


Umbral = 0,083269 %	
Ángulo de evitación	$P(z > 2,0 \text{ dB})$
— 0,0°	13,58073% falla
⋯ 5,0°	9,62194% falla
- - 10,0°	0,40669% falla
⋯ 12,0°	0,09106% falla
- - 13,0°	0,08072% pasa

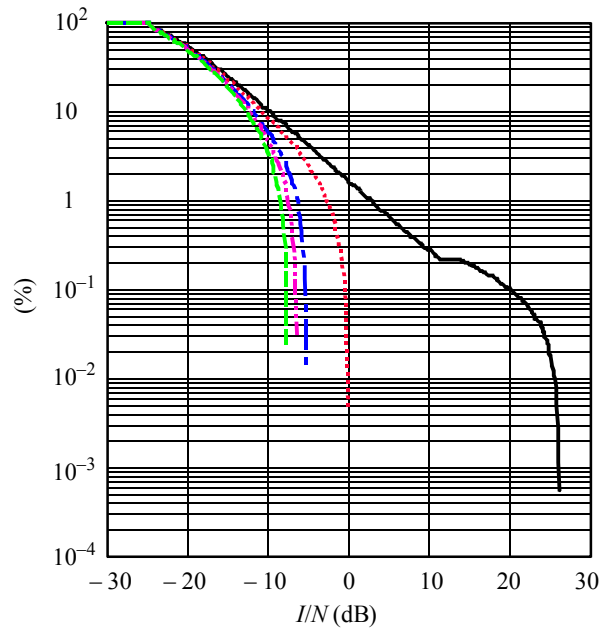
Umbral = 0,040297 %	
Ángulo de evitación	$P(z > 9,7 \text{ dB})$
— 0,0°	0,06093% falla
⋯ 0,5°	0,03778% pasa
- - 1,0°	0,03721% pasa
⋯ 1,5°	0,03701% pasa
- - 2,0°	0,03687% pasa

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

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

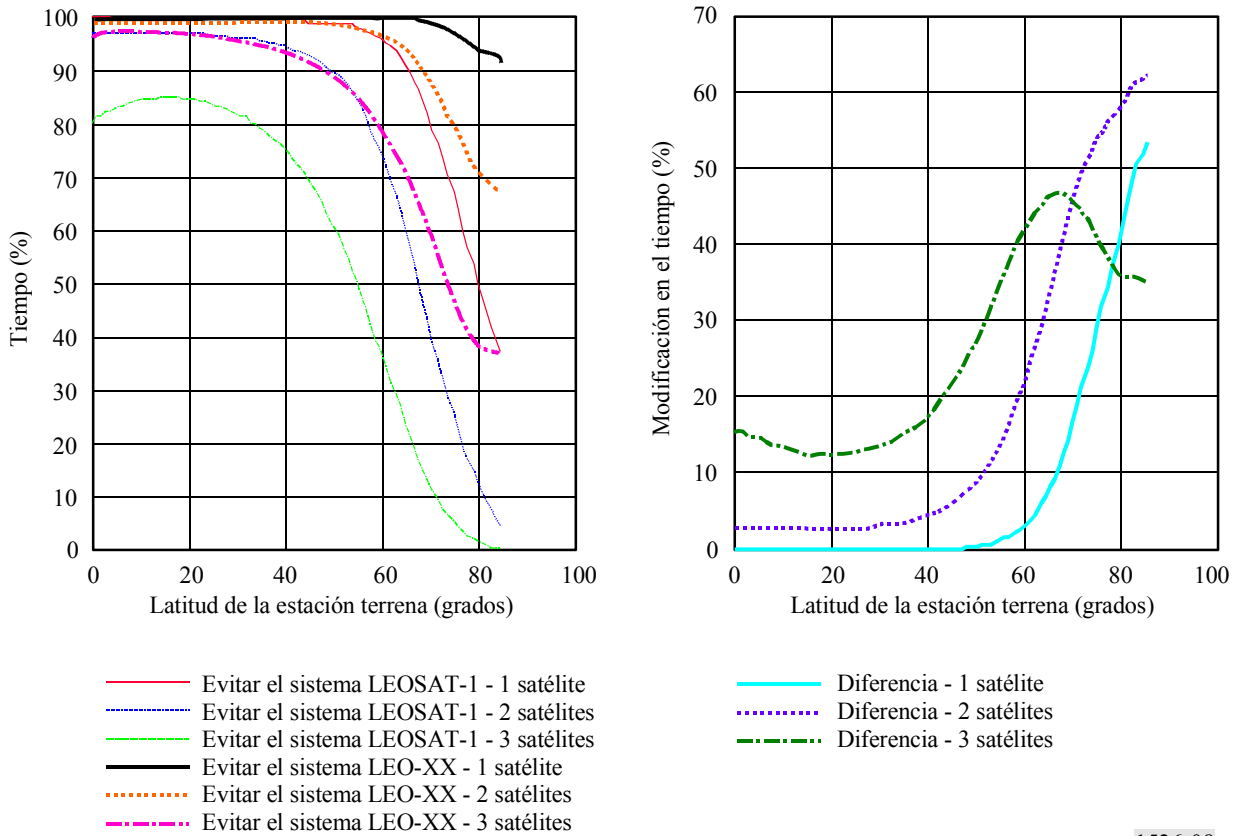
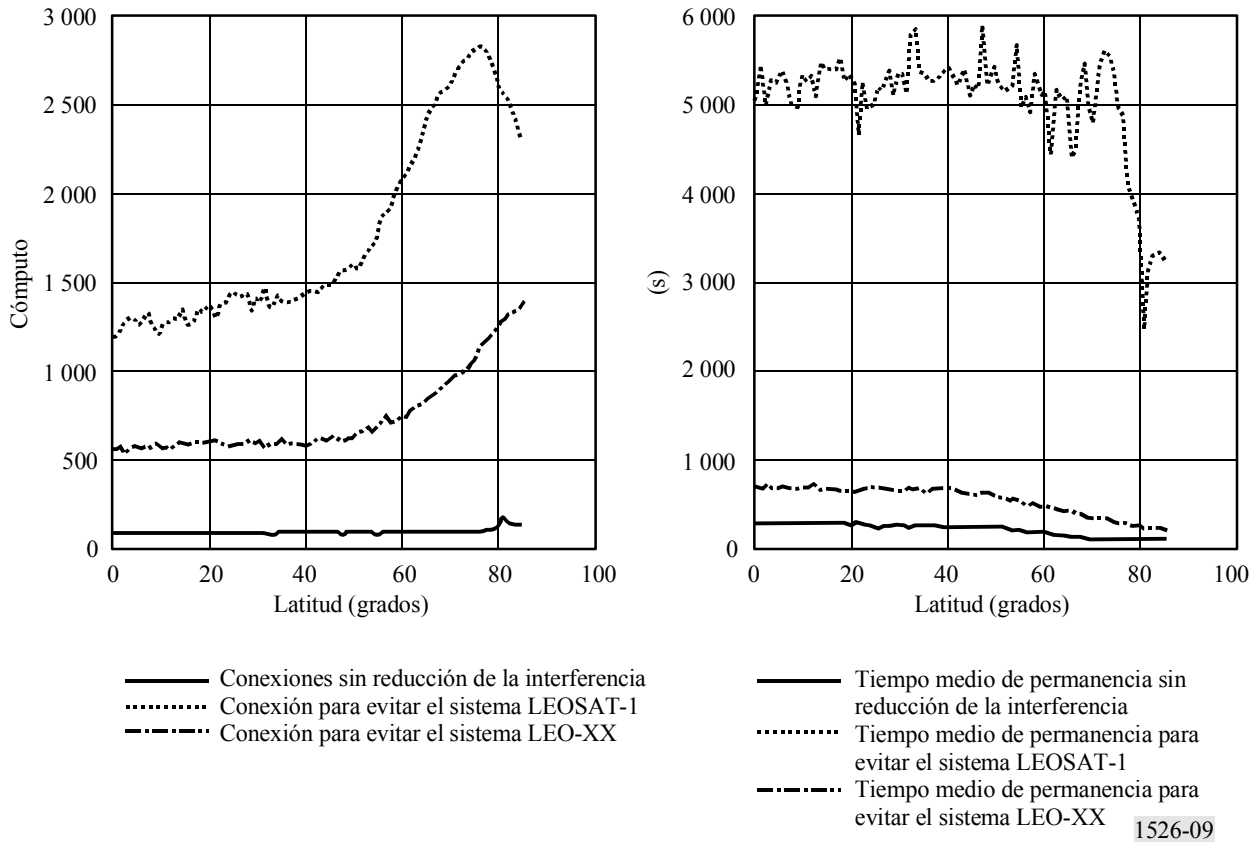


FIGURA 9

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



1526-09

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.

FIGURA 10

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

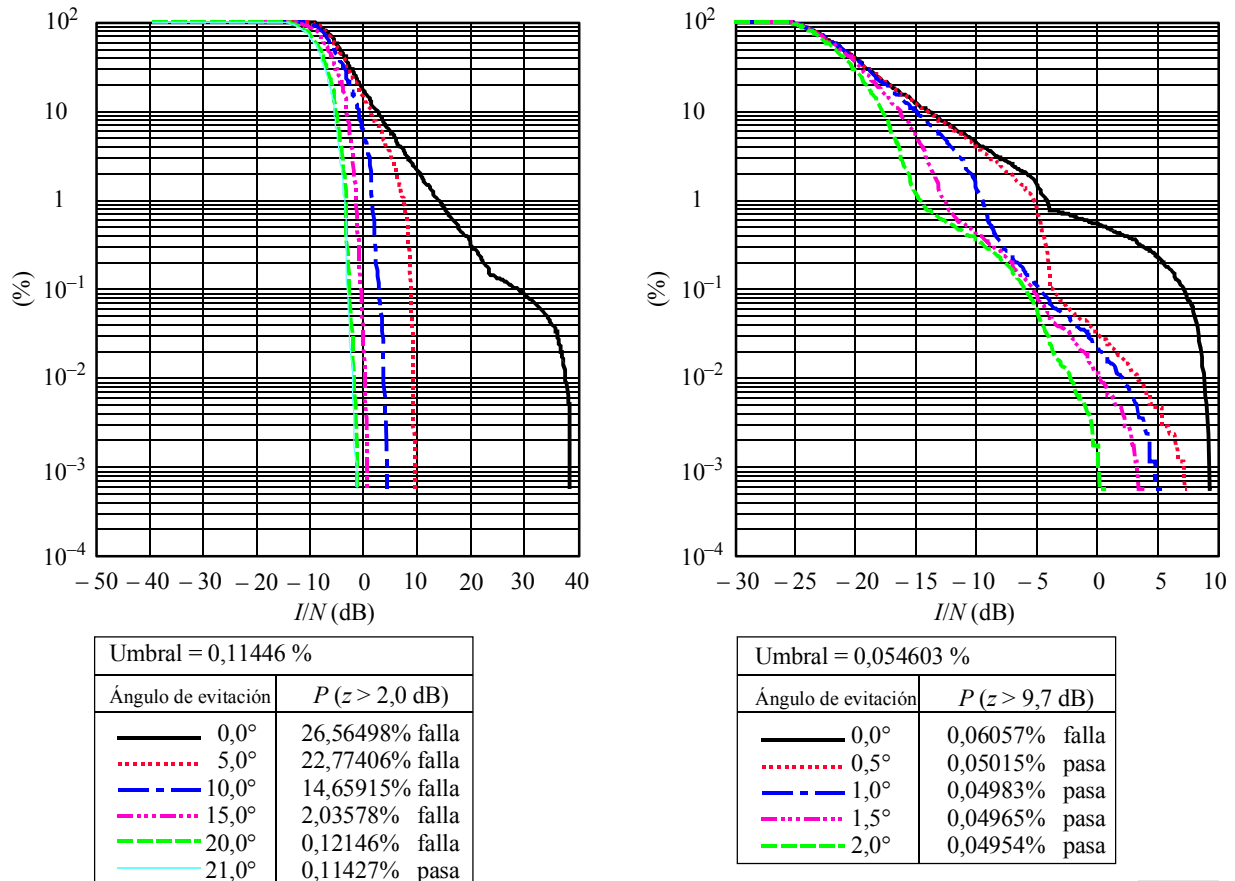
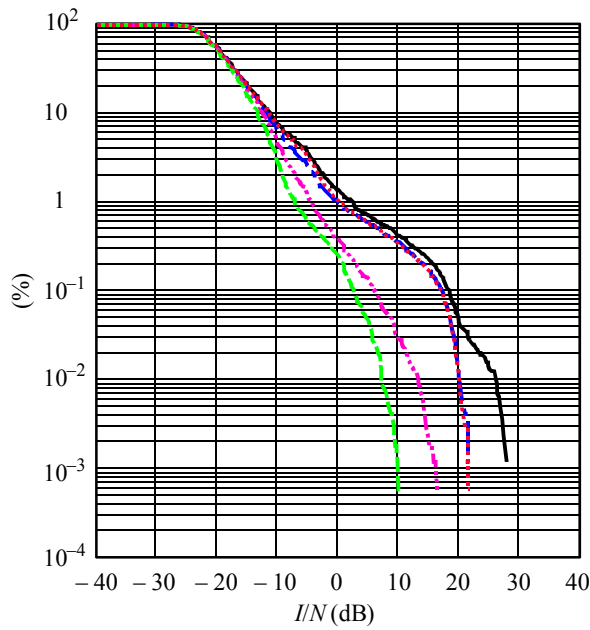
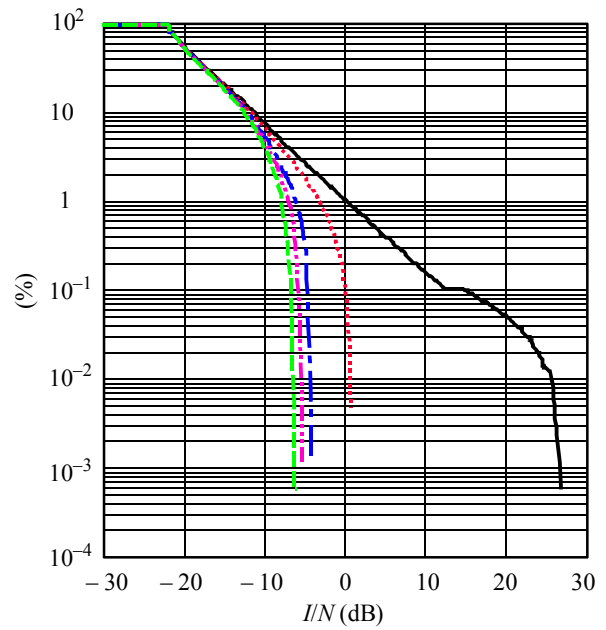


FIGURA 11
Función de distribución acumulativa de I/N , interferencia del sistema LEO-YY a los enlaces ascendente y descendente del sistema USAMEO-1



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

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

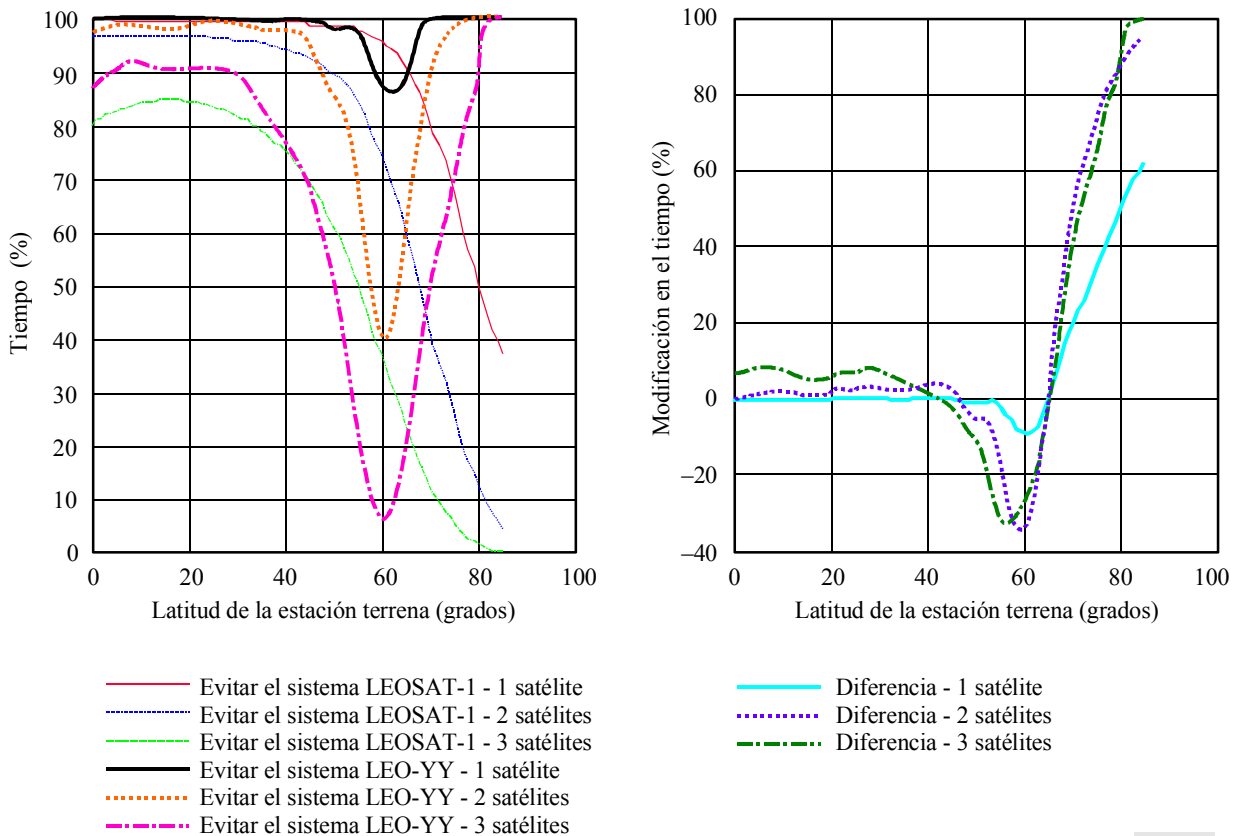
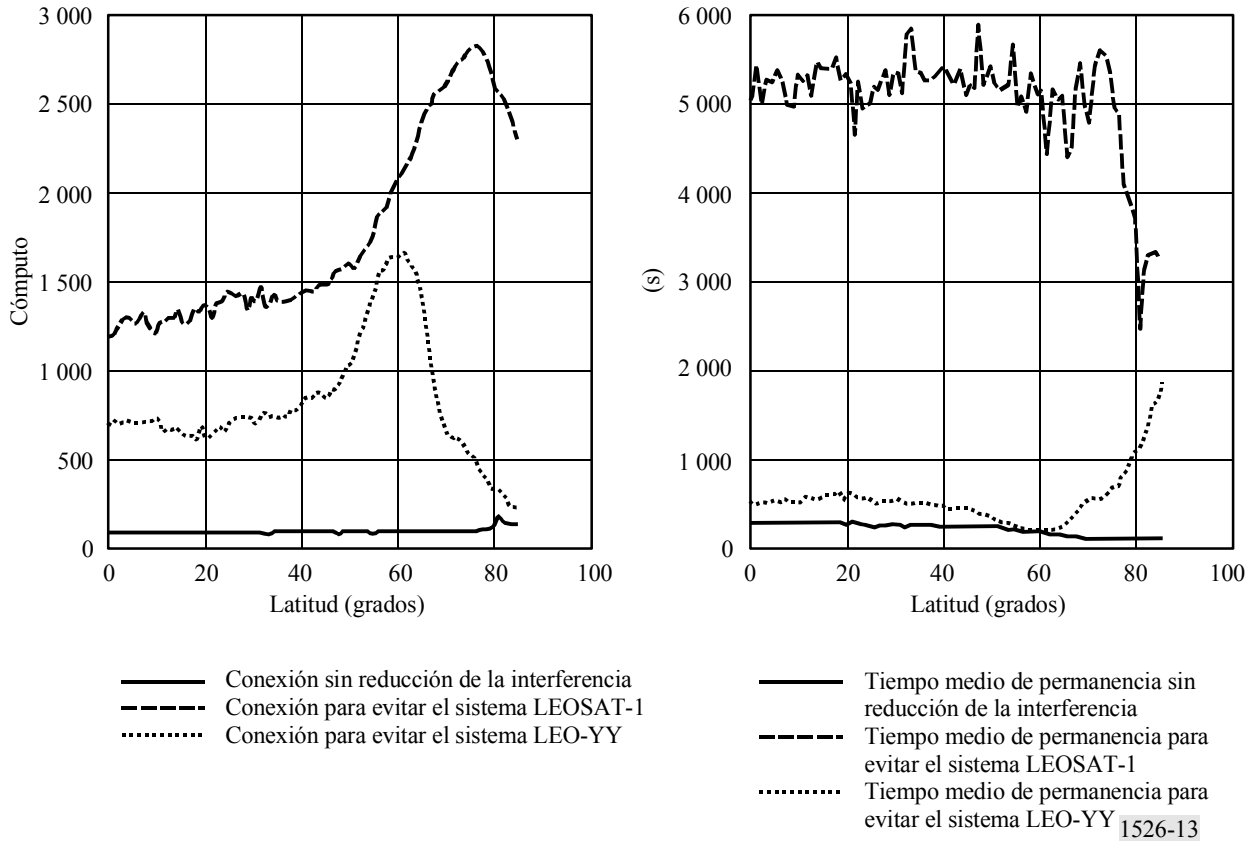


FIGURA 13

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

3 Ejemplo de compartición con un sistema del SFS OSG: Repercusiones de las modificaciones introducidas en el LEOSAT-1 en el Sistema P del SFS OSG

A continuación se ilustra mediante un ejemplo particular una aplicación de la metodología en una situación en la que transmisiones que utilizan la misma frecuencia, hacia y desde el satélite del Sistema P del SFS OSG, se interrumpen ante la proximidad de sucesos en línea a efectos de limitar la interferencia mutua entre los dos sistemas al 10% del tiempo de los márgenes de interferencia establecidos en la Recomendación UIT-R S.1323. Si se estima conveniente, se pueden utilizar otros márgenes de interferencia. No se formula ninguna hipótesis acerca de cómo el sistema del SFS que realiza la reducción de interferencia mantendrá el servicio durante la interrupción de las transmisiones que utilizan la misma frecuencia. Conviene determinar las estadísticas del nivel de interferencia correspondientes a un aumento del 10% de la indisponibilidad, ya que se puede considerar que este nivel define el punto a partir del cual la interferencia es admisible de conformidad con la Recomendación UIT-R S.1323. Si, en ambos casos, la interferencia está por debajo de un nivel que corresponde a un margen admisible de interferencia procedente de una sola fuente, no es necesario evaluar los cambios introducidos en el sistema del SFS no OSG. En este ejemplo, el aumento del 10% de la indisponibilidad se utiliza para determinar ese nivel de interferencia procedente de una sola fuente. No obstante, es necesario proseguir los trabajos para determinar un valor apropiado de ese nivel. Los resultados de esas hipótesis figuran en el § 3.2.

Sin embargo, puede suceder que en ciertos casos el sistema afectado (Sistema B) considere más conveniente aceptar una interferencia mayor en sus propios enlaces mientras continúa protegiendo el sistema modificado (Sistema A) de manera que se respeten los niveles indicados en la Recomendación UIT-R S.1323. Los resultados de esas hipótesis modificadas figuran en el § 3.3. Cabe observar que las hipótesis de este ejemplo también pueden aplicarse al caso de dos sistemas del SFS no OSG si el sistema reductor de interferencia no cuenta con la capacidad de diversidad. Debe señalarse también que éste es un ejemplo particular. Se pueden plantear otros ejemplos en que un sistema del SFS no OSG y un sistema del SFS OSG hayan alcanzado un acuerdo de coordinación y ambos sistemas tengan previsto utilizar técnicas de reducción de interferencia a fin de poder compartir las mismas frecuencias. En este caso, se utilizarán las estrategias de reducción de interferencia de ambos sistemas cuando se calculen las estadísticas de calidad de funcionamiento antes y después de las modificaciones propuestas.

Las características del Sistema P figuran en el Cuadro 5 de la Recomendación UIT-R S.1328 – Características de los sistemas de satélites que se han de tener en cuenta en los análisis de compartición de frecuencias entre sistemas de satélites geoestacionarios (OSG) y no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) incluidos los enlaces de conexión para el servicio móvil por satélite (SMS). Por consiguiente, se determinan cuatro ángulos de evitación de estación terrena, cada uno de los cuales corresponde a una de las cuatro hipótesis de interferencia que se ilustran en la Fig. 1.

A fin de determinar las estadísticas de calidad de funcionamiento, se consideran un cierto número de estaciones terrenas en la zona de servicio del satélite. Para cada una de ellas, se calcula el porcentaje de tiempo durante el cual se pueden mantener las comunicaciones entre esa estación terrena y el satélite. Las estadísticas de calidad de funcionamiento son: el porcentaje de tiempo durante el cual el enlace bidireccional entre una estación terrena y el OSG puede funcionar sin que haya un aumento de indisponibilidad del 10%, ya sea causada al sistema del SFS no OSG o provocada por éste y esa cantidad se promedia para el conjunto de estaciones terrenas consideradas; el mismo promedio de porcentaje de tiempo ponderado teniendo en cuenta la distribución de población, y nuevamente, el mismo porcentaje de tiempo ponderado teniendo en cuenta el PIB. También serán de utilidad las estadísticas de duración y frecuencia de la pérdida de servicio.

En general, los sistemas del SFS disponen de una amplia gama de frecuencias y sería imprudente suponer que la superposición simultáneamente en el enlace ascendente y en el enlace descendente pueda necesariamente producirse. Si un sistema dado utiliza con suficiente flexibilidad las frecuencias, de manera que sólo puede producirse superposición en el enlace ascendente o en el enlace descendente o en ambos sentidos a la vez, se examinarán los tres casos.

Los parámetros del LEOSAT-1 y sus variantes LEO-XX y LEO-YY son los mismos que se describen en el § 2.1.

3.1 Hipótesis y parámetros del Sistema P

3.1.1 Características básicas

El sistema OSG utilizado en las simulaciones se basaba en el Sistema de satélites P con los parámetros de enlace regenerativo (Ka-3 y Ka-4). Se escogió una longitud para la OSG de 80° W como emplazamiento orbital desde donde se puede suministrar servicio a las Américas. En el Cuadro 12 se enumeran los parámetros básicos del modelo de simulación.

CUADRO 12

Características del Sistema P (SFS OSG)

<i>Parámetros de la constelación</i>	
Número de satélites	1
Longitud OSG (grados)	-80
Mínimo ángulo del perfil de elevación (grados)	10
<i>Parámetros de transmisión del enlace ascendente</i>	
Método de acceso	AMDT/AMDF
Anchura de banda de la portadora (MHz)	0,333
Control de potencia	No
Ganancia de cresta del transmisor de la estación terrena (dB)	45,1
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)	0,66
Ganancia de cresta del receptor del satélite (dB)	47,7
Diagrama de la antena del receptor del satélite	Rec. UIT-R S.672 Abertura del haz = $0,6^\circ$, $L_N = -25$ dB
¿Está adaptado el haz del receptor para un tamaño de célula constante?	No
Temperatura de ruido (K)	577,85
Número de haces de recepción	1
<i>Parámetros de transmisión del enlace descendente</i>	
Método de acceso	MDT/MDF
Anchura de banda de la portadora (MHz)	115
Control de potencia	No
Ganancia de cresta del receptor de la estación terrena (dB)	41,6
Diagrama de la antena del receptor de la estación terrena	Rec. UIT-R S.465
Diámetro de la antena del receptor de la estación terrena (m)	0,66
Ganancia de cresta del transmisor del satélite (dB)	46,2
Diagrama de la antena del transmisor del satélite	(igual que para el enlace ascendente)
p.i.r.e. del transmisor del satélite en el borde de la zona de cobertura (dB)	62,5
¿Está adaptado el haz del transmisor para un tamaño de célula constante?	No
Temperatura de ruido (K)	187,45
Número de haces de transmisión	1

3.1.2 Hipótesis relativas al balance del enlace y la degradación debida a la lluvia

El balance del enlace que figura en el Cuadro 13 se aplica al modelo del sistema OSG.

CUADRO 13

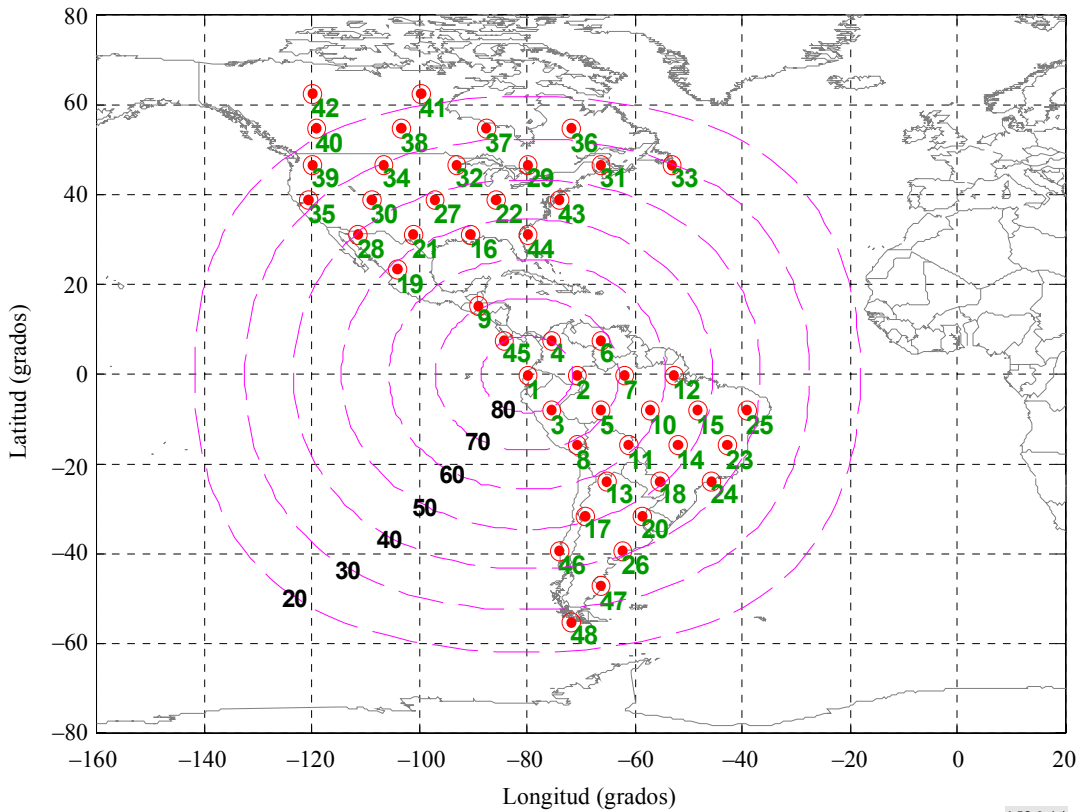
Balances del enlace del Sistema P (SFS OSG)

Mínima Elevación (grados)	10	
Alcance oblicuo (km)	40 586	
	<i>Enlace ascendente</i>	<i>Enlace descendente</i>
Frecuencia (GHz)	30	20
Anchura de banda (MHz)	0,33	115
Velocidad de transferencia de datos (Mbit/s)	0,38	120
Separación de canales (MHz)	0,42	140
Reducción de potencia /pérdida (dBW)	-3,39	16,30
Ganancia de transmisión (dB)	45,10	46,20
<i>p.i.r.e. (dBW)</i>	<i>41,71</i>	<i>62,50</i>
Pérdidas de puntería del transmisor (dB)	1,00	3,00
Pérdidas en el espacio libre (dB)	214,16	210,64
Pérdidas por atenuación atmosférica (dB)	0,23	0,25
<i>Pérdidas totales de propagación (dB)</i>	<i>215,39</i>	<i>213,89</i>
Temperatura del sistema (K)	577,85	187,45
Ganancia del receptor (dB)	47,70	41,60
Pérdidas en el receptor (dB)	0,00	1,00
Pérdidas del receptor en el borde del haz (dB)	3,00	0,00
<i>G/T (dB)</i>	<i>17,08</i>	<i>17,87</i>
<i>Portadora recibida (C) (dBW)</i>	<i>-128,98</i>	<i>-110,79</i>
<i>N (dBW)</i>	<i>-145,76</i>	<i>-125,26</i>
<i>C/N (dB)</i>	<i>16,78</i>	<i>14,47</i>
<i>C/N requerida (dB)</i>	<i>5,80</i>	<i>4,80</i>
Margen (dB)	2,50	2,50
Margen para la interferencia debida a la lluvia/externa (dB)	8,48	7,17

Se supone que el parámetro del Cuadro 13 denominado «Margen requerido» se refiere a la autointerferencia y a otras degradaciones no relacionadas con la interferencia debida a la lluvia o externa. Basándose en que la variación de la p.i.r.e. entre los valores mínimos y máximos enumerados en el Cuadro 5 de la Recomendación UIT-R S.1328 es pequeña, se supone que no hay ningún control de potencia ni para el enlace ascendente ni para el enlace descendente. Se supone, además, que esas variaciones permiten errores de puntería y pérdidas en el borde de haz. Teniendo en cuenta que tanto el enlace ascendente como el enlace descendente utilizan potencias de transmisión constantes, cualquier desvanecimiento debido a la lluvia comenzará a degradar el enlace.

El modelo de los segmentos terrestres del sistema OSG se estableció mediante estaciones terrenas uniformemente repartidas que cubren las masas terrestres de las Américas por encima de una elevación de 10°. Se utilizó una separación de 1 000 km, lo que dio como resultado 48 emplazamientos de estaciones terrenas. Esos emplazamientos se ilustran en la Fig. 14, junto con las curvas de los ángulos de elevación con respecto al satélite OSG.

FIGURA 14
Distribución de las estaciones terrenas del Sistema P utilizadas para las simulaciones



1526-14

Como el ángulo de elevación y las características de lluvia son diferentes para cada uno de esos 48 emplazamientos de estaciones terrenas, se creó un modelo diferente de degradación debida a la lluvia para cada posición. (Se realizan convoluciones entre las funciones densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia y a la interferencia para determinar si el nivel de ésta es o no aceptable.) Para cada emplazamiento, se ajustaron el ángulo de elevación correspondiente, las pérdidas por lluvia, las pérdidas atmosféricas y la temperatura de antena para determinar el margen del enlace resultante.

En el Cuadro 14 se resumen las hipótesis utilizadas para generar la función densidad de probabilidad de la degradación debida a la lluvia de cada uno de los 48 emplazamientos de estación terrena. El parámetro α , que representa el porcentaje de aumento 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, es igual a cero en todos los casos. Para este análisis, se utilizó el modelo de lluvia de la Recomendación UIT-R P.618.

CUADRO 14

Márgenes del enlace y desvanecimiento debido a la lluvia del enlace descendente

Número de ID de la estación terrena	Desvanecimiento debido a la lluvia y margen del enlace ascendente (dB)	Margen del enlace descendente (dB)	Desvanecimiento debido a la lluvia del enlace descendente (dB)
1	9,57	11,59	8,24
2	9,54	11,55	8,20
3	9,54	11,55	8,20
4	9,54	11,55	8,20
5	9,49	11,47	8,14
6	9,49	11,47	8,14
7	9,46	11,43	8,11
8	9,46	11,42	8,10
9	9,46	11,42	8,10
10	9,39	11,30	8,01
11	9,38	11,29	8,00
12	9,33	11,21	7,94
13	9,33	11,20	7,93
14	9,25	11,07	7,83
15	9,23	11,04	7,81
16	9,22	11,02	7,80
17	9,22	11,02	7,80
18	9,22	11,01	7,78
19	9,22	11,01	7,78
20	9,13	10,85	7,67
21	9,13	10,85	7,67
22	9,07	10,75	7,59
23	9,07	10,74	7,58
24	9,05	10,70	7,55
25	9,03	10,67	7,53
26	9,00	10,61	7,49
27	9,00	10,61	7,49

CUADRO 14 (*Fin*)

Número de ID de la estación terrena	Desvanecimiento debido a la lluvia y margen del enlace ascendente (dB)	Margen del enlace descendente (dB)	Desvanecimiento debido a la lluvia del enlace descendente (dB)
28	8,97	10,55	7,44
29	8,87	10,34	7,29
30	8,86	10,32	7,28
31	8,82	10,25	7,23
32	8,82	10,25	7,23
33	8,69	9,95	7,01
34	8,69	9,95	7,01
35	8,63	9,82	6,92
36	8,58	9,71	6,85
37	8,58	9,71	6,85
38	8,46	9,41	6,64
39	8,44	9,36	6,61
40	8,18	8,67	6,14
41	8,12	8,50	6,03
42	7,69	7,32	5,24
43	9,07	10,75	7,59
44	9,26	11,08	7,84
45	9,54	11,55	8,20
46	9,07	10,75	7,59
47	8,82	10,25	7,23
48	8,58	9,71	6,85

3.2 Resultados de la simulación basados en la interferencia limitadora para los cuatro casos de niveles de la Recomendación UIT-R S.1323

Se realizaron varias simulaciones para el Sistema P OSG funcionando con cada uno de los siguientes sistemas:

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

En cada conjunto de simulaciones, se recolectaron datos para los cuatro casos de interferencia; cada uno de los cuales se define en el Cuadro 15.

CUADRO 15

Definición de caso de interferencia

Caso	Sentido del enlace	Papel del Sistema P OSG
1	Enlace ascendente	Interferente
2	Enlace descendente	Interferente
3	Enlace ascendente	Sistema deseado
4	Enlace descendente	Sistema deseado

Al igual que lo descrito en los § 2.3.1, 2.3.2 y 2.3.3, se realizaron simulaciones inicialmente con objeto de determinar el ángulo de evitación necesario para satisfacer los criterios de la Recomendación UIT-R S.1323, suponiendo que el 10% de la interrupción de enlace autorizado a una interferencia externa se atribuye a una interferencia procedente de una sola fuente. A modo de aclaración, en este punto, la disponibilidad para el sistema reductor de la interferencia se define con respecto al servicio que tiene lugar con ángulos superiores al ángulo de evitación calculado. No obstante, si el Sistema P no tiene otra alternativa para proveer el servicio durante los sucesos en línea, el tiempo de interrupción total del Sistema P comprenderá también los periodos de tiempo correspondientes a ángulos inferiores al ángulo de evitación calculado. Esas simulaciones se llevaron a cabo durante dos días a intervalos de 1 s (172 800 iteraciones). Todos los ángulos de evitación que figuran en el § 3 se basan en la estación terrena.

Esas simulaciones han mostrado que el ángulo de evitación determinante está asociado, ya sea con el Caso 1 (interferencia de la estación terrena OSG al satélite no OSG) o con el Caso 4 (interferencia de los satélites no OSG a la estación terrena OSG). En el Cuadro 16 se indican los ángulos de evitación para los Casos 1 y 4 correspondientes a cada una de las 48 estaciones terrenas del sistema OSG y cada uno de los tres sistemas no OSG considerados. Para cualquier estación terrena dada y sistema del SFS no OSG, el ángulo de evitación determinante se indica en negritas.

CUADRO 16

Ángulos de evitación basados en las estaciones terrenas

	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 4</i>	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 4</i>	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 4</i>
ID de la estación terrena	T288	T288	T120	T120	T128	T128
1	6,6	5,1	5,2	4,2	4,6	5,5
2	6,6	5,2	5,2	4,2	4,6	5,6
3	6,6	5,6	5,2	4,2	4,6	5,9
4	6,6	6,3	5,2	4,3	4,6	6,6
5	6,6	5,7	5,2	4,3	4,6	5,9
6	6,6	5,7	5,2	4,3	4,6	6,0
7	6,6	5,5	5,2	4,2	4,6	5,7
8	6,7	10,5	5,4	5,7	4,7	10,9
9	6,6	6,3	5,3	4,2	4,6	6,5

CUADRO 16 (Fin)

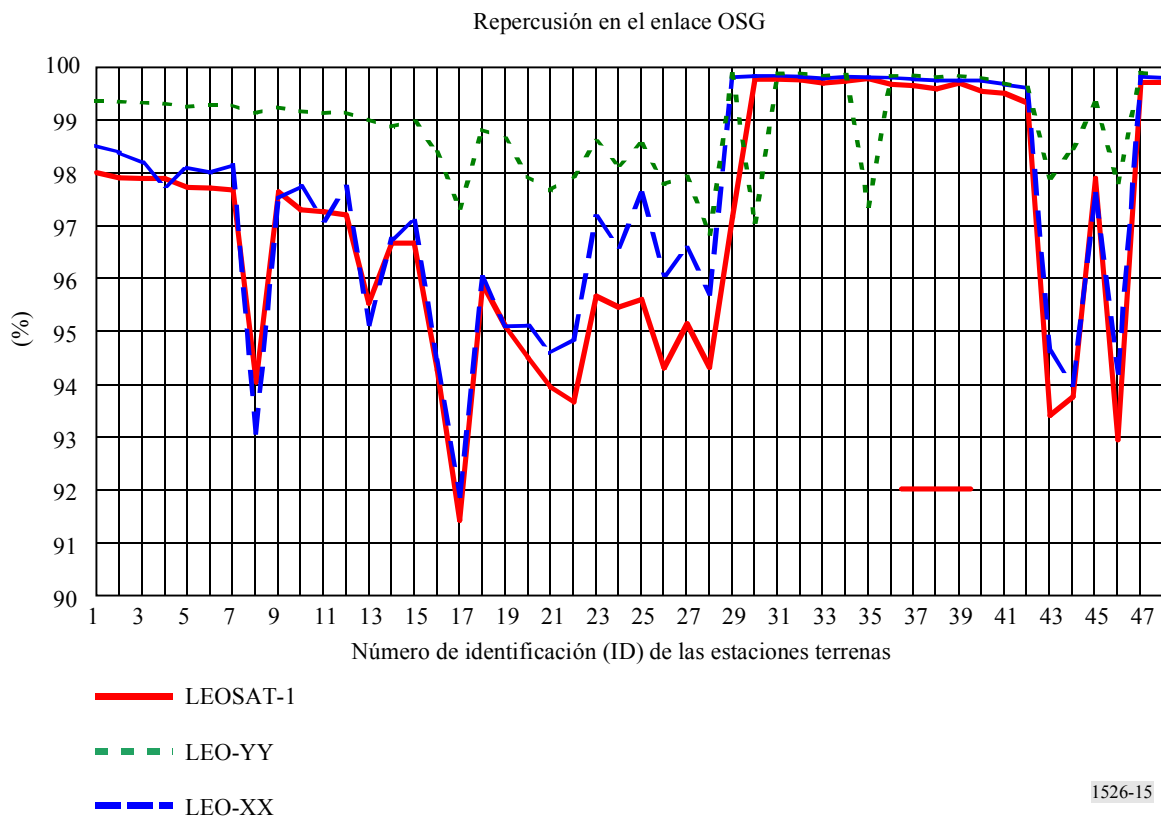
	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 4</i>	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 4</i>	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 4</i>
ID de la estación terrena	T288	T288	T120	T120	T128	T128
10	6,6	5,9	5,1	4,2	4,6	6,0
11	6,6	6,6	5,3	4,3	4,7	6,7
12	6,6	5,7	5,2	4,2	4,6	5,8
13	6,7	8,1	5,4	5,3	4,7	8,3
14	6,6	6,6	5,3	4,6	4,7	6,6
15	6,6	6,1	5,0	4,2	4,5	6,1
16	6,6	8,3	5,3	6,2	4,6	8,2
17	6,7	10,1	5,4	7,8	4,7	9,9
18	6,6	7,1	5,4	5,4	4,6	7,0
19	6,6	7,8	5,4	5,8	4,7	7,8
20	6,6	7,6	5,4	6,5	4,6	7,3
21	6,6	7,9	5,4	6,9	4,7	7,6
22	0,0	7,5	5,4	6,0	0,0	7,1
23	6,4	5,6	5,3	5,2	3,4	5,5
24	6,5	6,0	5,3	6,0	3,5	5,9
25	6,1	5,0	5,3	5,0	0,0	4,9
26	0,0	6,8	5,4	5,9	0,0	6,0
27	0,0	6,3	5,4	5,7	0,0	5,5
28	6,5	6,8	5,4	7,2	0,0	6,2
29	0,0	4,2	0,0	1,2	0,0	1,3
30	0,0	1,3	0,0	6,1	0,0	1,2
31	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
32	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
33	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
34	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,1
35	0,0	1,1	0,0	5,0	0,0	1,1
36	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1
37	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1
38	0,0	1,2	0,0	1,1	0,0	1,1
39	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1
40	0,0	1,1	0,0	1,0	0,0	1,0
41	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1
42	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1
43	0,0	7,7	5,4	6,1	0,0	7,3
44	6,6	8,8	5,3	6,1	4,6	8,7
45	6,6	6,5	5,1	4,3	4,6	6,9
46	0,0	7,9	5,4	6,2	0,0	7,5
47	0,0	1,3	0,0	1,2	0,0	1,2
48	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	1,1

Una vez determinados los ángulos de evitación de la estación terrena aplicables en cada caso, se realizaron simulaciones durante cinco días a intervalos de 1 s (432 000 iteraciones) para calcular los porcentajes de tiempo durante los cuales el ángulo θ_T (Fig. 1, Caso 1) o el ángulo θ_R (Fig. 1, Caso 4), según proceda, es superior al ángulo de evitación requerido. En la Fig. 1, el Sistema A es el Sistema del SFS no OSG y el Sistema B es el sistema OSG.

Esos porcentajes de tiempo se indican en la Fig. 15 en función del número de identificación de la estación terrena (de 1 a 48), y en la Fig. 16 en función del ángulo de elevación en la estación terrena OSG considerada con respecto al satélite OSG.

FIGURA 15

Porcentaje de tiempo durante el cual el enlace OSG hacia y desde una estación terrena dada puede funcionar sin causar interferencia de un nivel especificado al sistema del SFS no OSG o sin ser interferido por éste (en función del número de identificación de la estación terrena OSG)

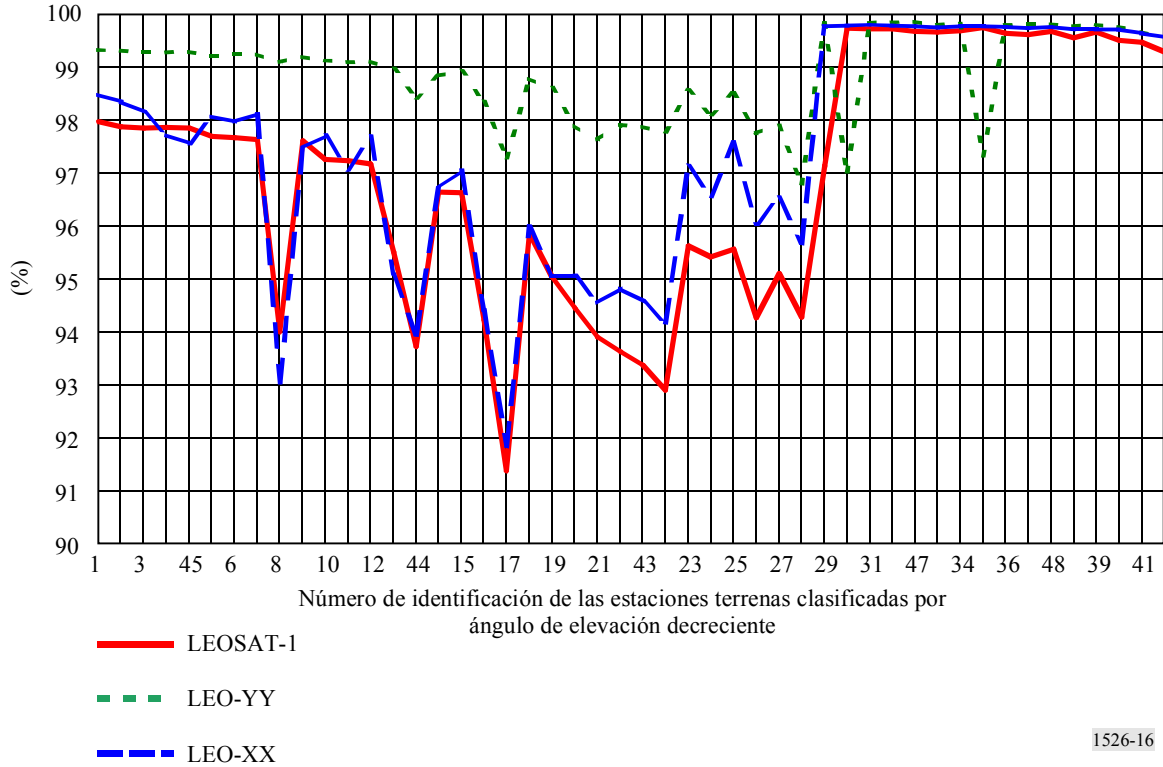


Los porcentajes de tiempo indicados en la Fig. 15 (o Fig. 16) son el promedio con respecto a las 48 estaciones terrenas; posteriormente, se promediaron para las mismas estaciones terrenas y se ponderaron teniendo en cuenta primero la población y luego el PIB. Estos tres promedios de porcentajes de tiempo diferentes figuran en el Cuadro 17 para cada uno de los tres sistemas del SFS no OSG considerados. Se observa que en este ejemplo hay una amplia variación de la indisponibilidad resultante para el Sistema P (SFS OSG), que oscila entre el 0,2% y el 8,6%, en función de las diferentes ubicaciones de las estaciones terrenas. Establecer el promedio de diferencias tan importantes en los porcentajes de indisponibilidad para la totalidad de las estaciones terrenas no pondría claramente de relieve esas diferencias. También podría ser adecuado, además de establecer el promedio, calcular la varianza de estos valores de indisponibilidad. No obstante, en último término, sería necesario que las partes interesadas (es decir, los Sistemas A y B), mediante un acuerdo de coordinación, decidiesen los detalles del enfoque que se ha de aplicar; específicamente, las hipótesis de cálculo/simulación empleadas en el análisis y la aplicación de cualquier técnica de determinación de promedio ponderado.

FIGURA 16

Porcentaje de tiempo durante el cual el enlace OSG hacia y desde una estación terrena dada puede funcionar sin causar interferencia de un nivel especificado al sistema del SFS no OSG o sin ser interferido por éste (en función del ángulo de elevación de la estación terrena OSG)

Repercusión en el enlace OSG



1526-16

CUADRO 17

Promedios de los porcentajes de tiempo durante los cuales los enlaces OSG hacia y desde las estaciones terrenas repartidas en la zona de servicio OSG pueden funcionar sin causar interferencia de un nivel especificado al sistema del SFS no OSG o sin ser interferidos por éste

	LEOSAT-1	LEO-XX	LEO-YY
Promedio (%)	97,1	98,9	97,5
Promedio (ponderado teniendo en cuenta la población) (%)	95,8	98,5	96,4
Promedio (ponderado teniendo en cuenta el PIB) (%)	95,4	98,2	96,2

3.3 Resultados de la simulación basada en solamente la interferencia limitadora en los Casos 1 y 2 de los niveles de la Recomendación UIT-R S.1323

En el § 3.2 se supuso que el Sistema P del SFS OSG protegería a los cuatro casos de interferencia hasta un nivel especificado. Sin embargo, si el Sistema P (SFS OSG) (o un sistema del SFS no OSG reductor de la interferencia) no dispone de medios alternativos para continuar el servicio durante el

cese de las transmisiones que utilizan la misma frecuencia, la disponibilidad del enlace sería mayor si aceptase más interferencia en sus propios enlaces en lugar de interrumpirlos. En el caso de limitación, el Sistema P (SFS OSG) podría optar por poner en funcionamiento sus enlaces descendentes durante la totalidad de los sucesos en línea, empleando eficazmente un ángulo de evitación igual a cero para el caso de interferencia 4. En esta situación, la interferencia y la degradación debida a la lluvia tienen un efecto combinado en la disponibilidad del enlace descendente del Sistema P (SFS OSG). Para evaluar las repercusiones en el Sistema P de las hipotéticas modificaciones introducidas en el LEOSAT-1 en esta situación, las estadísticas de calidad de funcionamiento pertinentes son la disponibilidad resultante del enlace antes y después de las modificaciones. Evidentemente, aún sigue siendo necesaria la protección en los casos de interferencia 1 y 2, de conformidad con lo establecido en el § 3.2.

En el ejemplo a que se refiere el § 3.2, no fue necesario ningún ángulo de evitación para protección en los Casos 2 ó 3, ya que la interferencia era inferior a un aumento del 10% de la indisponibilidad para cada uno de los sistemas considerados. En general, podría haber ángulos de evitación para cualquiera de los cuatro casos. Por medio de los ángulos de evitación de la estación terrena obtenidos a partir del Caso 1 de protección del enlace ascendente, se realizaron simulaciones durante 5 días a intervalos de 1 s (432 000 iteraciones) para calcular los porcentajes de tiempo durante los cuales el ángulo θ_T (Fig. 1, Caso 1) es superior al ángulo de evitación requerido.

Estos porcentajes de tiempo se indican en la Fig. 17 en función del número de identificación de la estación terrena (de 1 a 48), y en la Fig. 18 en función del ángulo de elevación en la estación terrena OSG considerada con respecto al satélite OSG.

FIGURA 17

Porcentaje de tiempo durante el cual los enlaces OSG de una estación terrena dada pueden funcionar sin causar interferencia de un nivel especificado al sistema del SFS no OSG (en función del número de identificación de la estación terrena OSG)

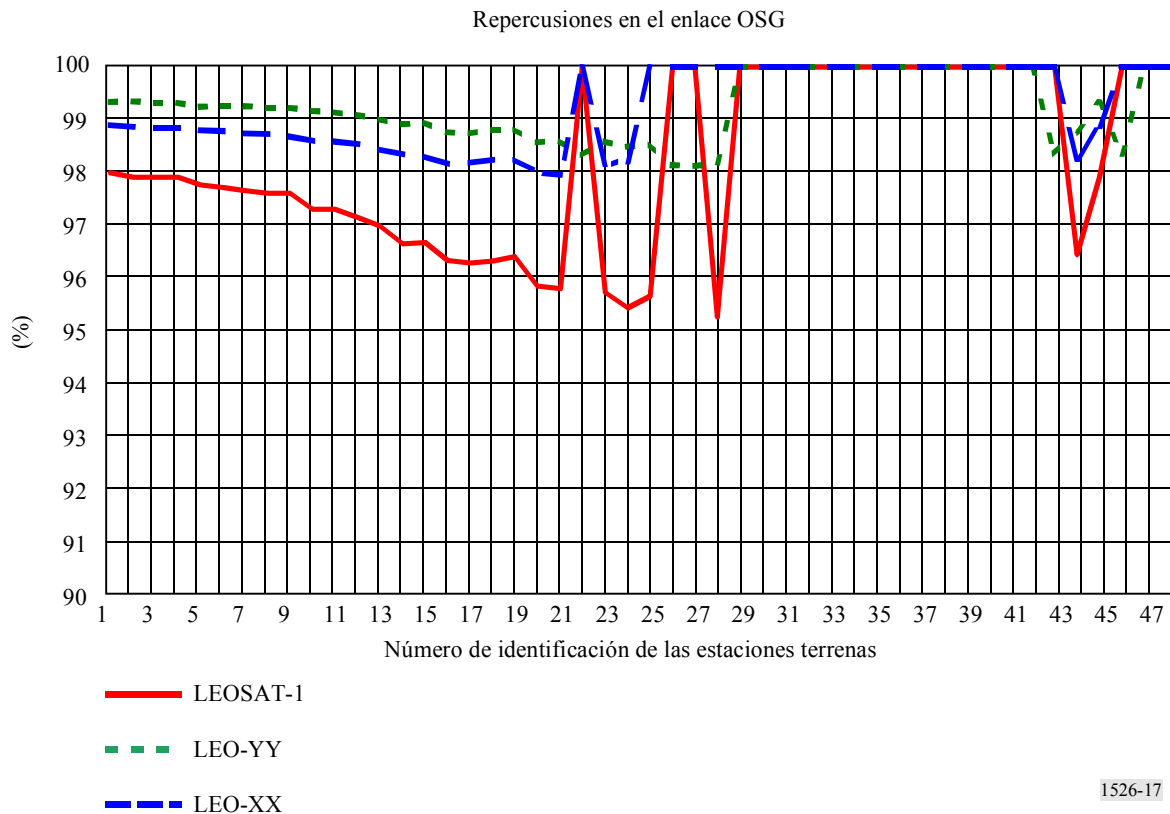
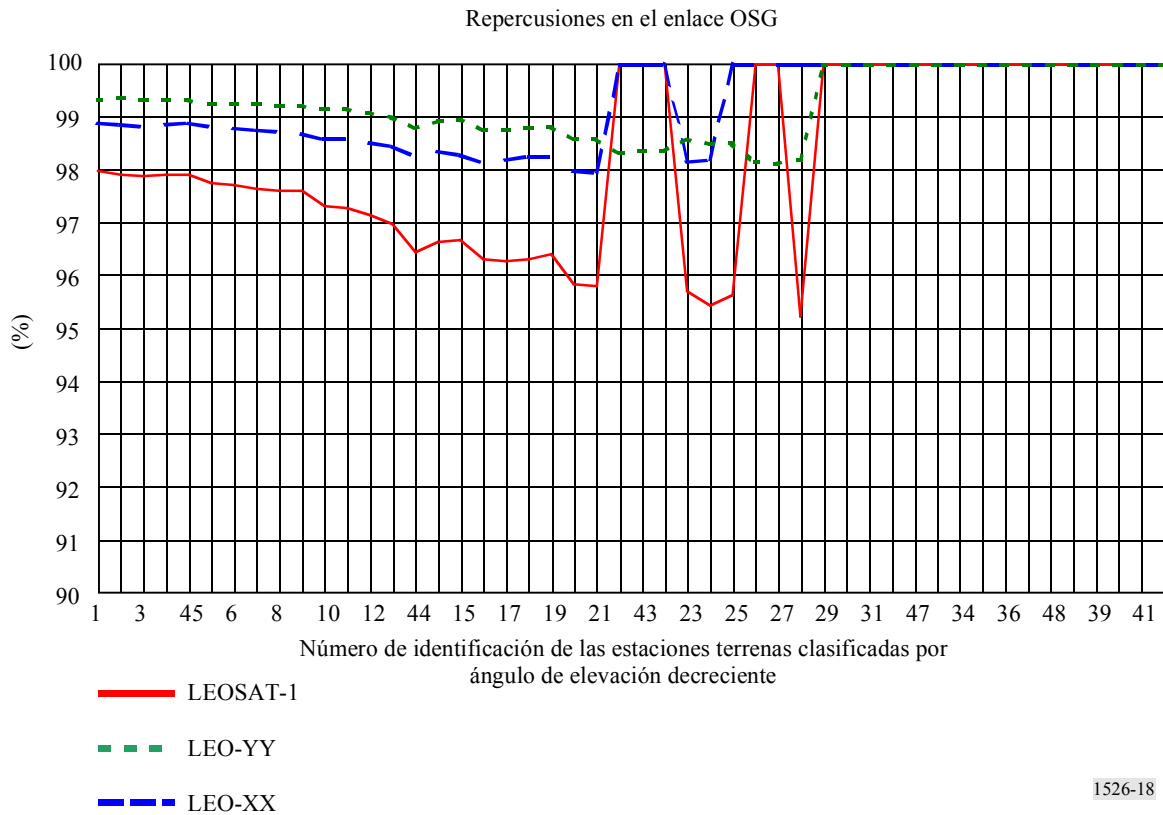


FIGURA 18

Porcentaje de tiempo durante el cual los enlaces OSG de una estación terrena dada pueden funcionar sin causar interferencia de un nivel especificado al sistema del SFS no OSG (en función del ángulo de elevación de la estación terrena OSG)



Los porcentajes de tiempo indicados en la Fig. 17 (o en la Fig. 18) son el promedio con respecto a las 48 estaciones terrenas; posteriormente, se promediaron para las mismas estaciones terrenas y se ponderaron teniendo en cuenta primero la población y luego el PIB. Estos tres promedios de porcentajes de tiempo diferentes figuran en el Cuadro 18 para cada uno de los tres sistemas del SFS no OSG considerados.

CUADRO 18

Promedio de porcentajes de tiempos durante los cuales los enlaces OSG de las estaciones terrenas repartidas en la zona de servicio OSG pueden funcionar sin causar interferencia de un nivel especificado al sistema del SFS no OSG

	LEOSAT-1	LEO-XX	LEO-YY
Promedio (%)	98,3	99,3	99,3
Promedio (ponderado teniendo en cuenta la población) (%)	97,7	98,9	99,1
Promedio (teniendo en cuenta el PIB) (%)	98,5	98,9	99,4

También se realizaron simulaciones similares suponiendo que no se usaban ángulos de evitación para proteger el enlace descendente del SFS OSG. La disponibilidad resultante del enlace descendente OSG en presencia tanto de interferencia como de lluvia, se indica como un porcentaje de tiempo para cada una de las estaciones terrenas OSG, en función del número de identificación de la estación terrena, en la Fig. 19, y en función del ángulo de elevación en la estación terrena OSG considerada con respecto al satélite OSG, en la Fig. 20.

FIGURA 19
Porcentaje de tiempo para la disponibilidad del enlace descendente OSG en presencia de lluvia y de interferencia producida por el sistema del SFS no OSG (en función del número de identificación de la estación terrena OSG)

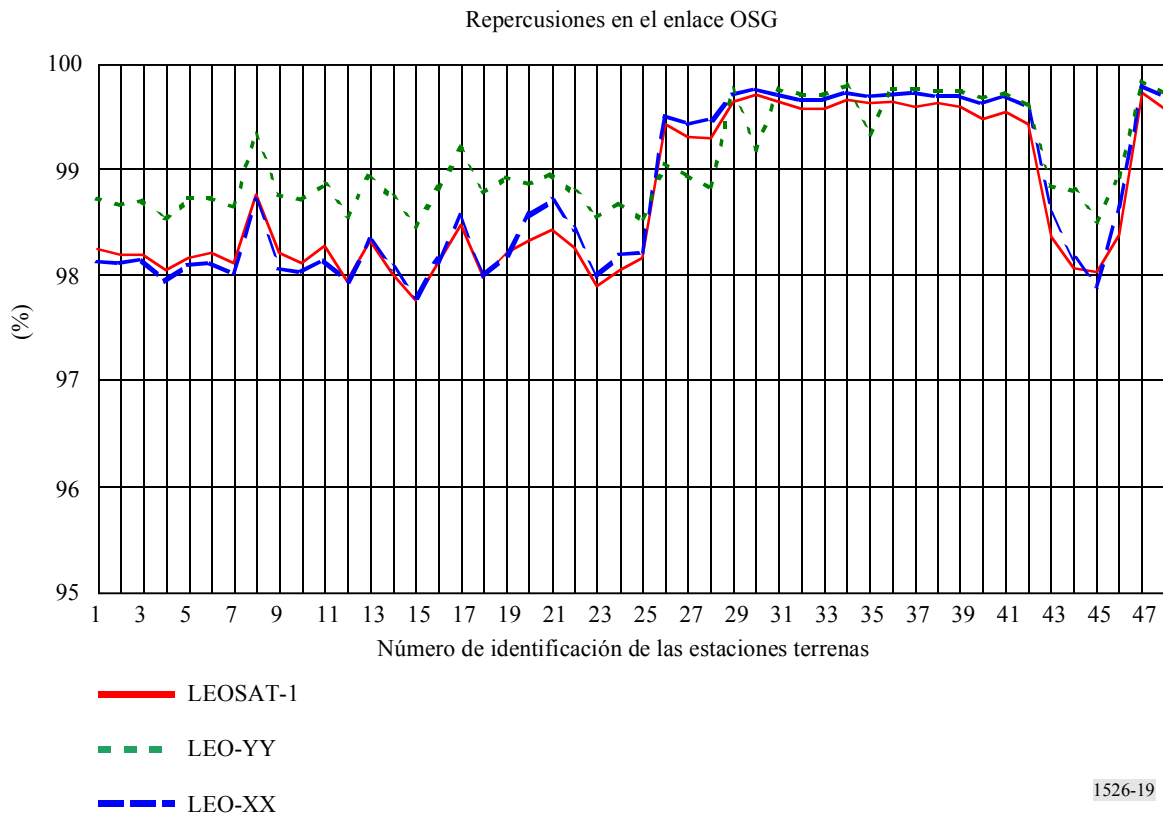
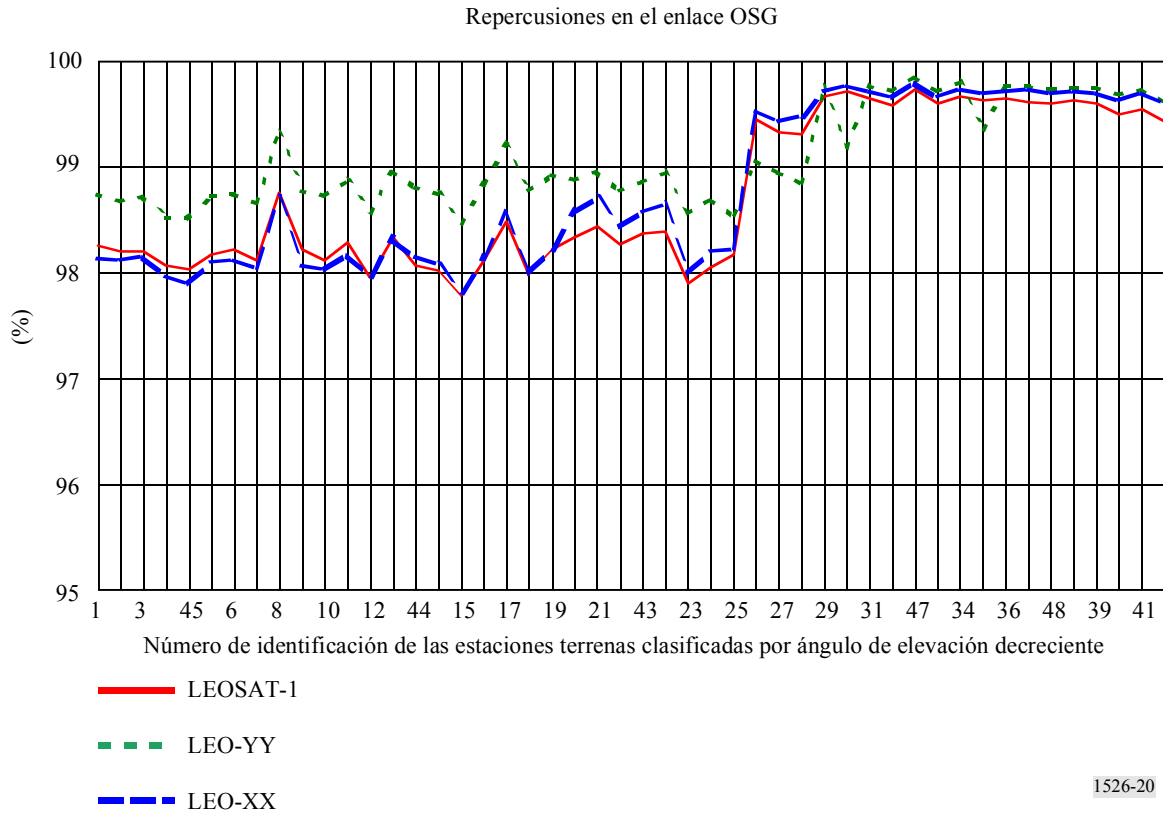


FIGURA 20
Porcentaje de tiempo para la disponibilidad del enlace descendente OSG en presencia de lluvia y de interferencia producida por el sistema del SFS no OSG (en función del ángulo de elevación de la estación terrena OSG)



1526-20

Los porcentajes de tiempo indicados en la Fig. 19 (o en la Fig. 20) son el promedio con respecto a las 48 estaciones terrenas; posteriormente, se promediaron para las mismas estaciones terrenas y se ponderaron teniendo en cuenta primero la población y luego el PIB. Estos tres promedios de porcentajes de tiempo diferentes figuran en el Cuadro 19 para cada uno de los tres sistemas del SFS no OSG considerados.

CUADRO 19

Promedio de porcentajes de tiempo para la disponibilidad del enlace descendente OSG de las estaciones terrenas repartidas en la zona de servicio OSG que funcionan durante todos los sucesos en línea de interferencia con el sistema del SFS no OSG

	LEOSAT-1	LEO-XX	LEO-YY
Promedio (%)	98,7	99,1	98,8
Promedio (ponderado teniendo en cuenta la población) (%)	98,4	98,9	98,5
Promedio (teniendo en cuenta el PIB) (%)	98,6	99,0	98,8

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

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

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

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

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

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 δ , fracción de I sin desvanecimiento, en función de los valores de la relación C/I determinada en condiciones de desvanecimiento y sin desvanecimiento:

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

y por lo tanto:

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

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,

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

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