

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R P.1144-10**  
(08/2019)

**Guía para la aplicación de los métodos de  
propagación de la Comisión de Estudio 3  
de Radiocomunicaciones**

**Serie P**  
**Propagación de las ondas radioeléctricas**



Unión  
Internacional de  
Telecomunicaciones

## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión (sonora)
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	<b>Propagación de las ondas radioeléctricas</b>
<b>RA</b>	Radioastronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2020

© UIT 2020

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.1144-10

**Guía para la aplicación de los métodos de propagación de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones**

(1995-1999-2001-2007-2009-2012-2015-06/2017-12/2017-2019)

**Cometido**

Esta Recomendación sirve de guía para las Recomendaciones de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones que contienen métodos de predicción de la propagación. Además, orienta a los usuarios sobre los métodos más adecuados para determinadas aplicaciones, así como sobre los límites, la información necesaria y los resultados de cada uno de ellos.

**Palabras clave**

Propagación de las ondas radioeléctricas, métodos de predicción, productos digitales, interpolación espacial, sistema de referencia de altura.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

que es necesario ayudar a los usuarios de las Recomendaciones UIT-R de la Serie P (elaboradas por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones),

*recomienda*

**1** que se utilice la información del Cuadro 1 como orientación para aplicar los diversos métodos de propagación que se exponen en las Recomendaciones UIT-R de la Serie P (elaboradas por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones);

**2** que se utilice la información del Cuadro 2 y del Anexo 1 como orientación sobre la utilización de los diversos mapas digitales de parámetros geofísicos que se necesitan para la aplicación de los métodos de propagación del *recomienda* 1.

NOTA – Para cada una de las Recomendaciones UIT-R que figuran en el Cuadro 1 hay columnas de información correspondientes que indican:

*Aplicación:* el servicio o servicios o la aplicación a que se refiere la Recomendación.

*Tipo:* la situación a la que se aplica la Recomendación, por ejemplo, punto a punto, punto a zona, visibilidad directa, etc.

*Resultado:* el valor del parámetro resultante de la aplicación del método de la Recomendación, por ejemplo, las pérdidas del trayecto.

*Frecuencia:* la gama de frecuencias para la que se aplica la Recomendación.

*Distancia:* la gama de distancias para la que se aplica la Recomendación.

*Porcentaje de tiempo:* valores, o gama de valores de porcentajes de tiempo para los que se aplica la Recomendación; es decir, cada porcentaje de tiempo en que se excede la señal prevista durante un año promedio.

*Porcentaje de emplazamientos:* gama porcentual de emplazamientos para la que se aplica la Recomendación; se trata de cada porcentaje de emplazamientos dentro de un cuadrado, por ejemplo, de 100-200 m de lado en el que se excede la señal prevista.

*Altura del terminal:* gama de alturas de la antena del terminal a que se refiere la Recomendación.

*Datos de partida:* lista de parámetros utilizada en el método de la Recomendación; la lista se ordena según la importancia del parámetro y, en algunos casos, pueden utilizarse valores por defecto.

La información indicada en el Cuadro 1 figura ya en las propias Recomendaciones; no obstante, dicho Cuadro permite a los usuarios examinar rápidamente la capacidad (y limitaciones) de las Recomendaciones sin necesidad de buscar en el texto.

CUADRO 1

Métodos de predicción de la propagación de ondas radioeléctricas del UIT-R

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.368	Curvas de propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz	Todos los servicios	Punto a punto	Intensidad de campo	10 kHz a 30 MHz	1 a 10 000 km	No aplicable	No aplicable	Con base en el suelo	Frecuencia Conductividad del suelo
Rec. UIT-R P.452	Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,1 GHz	Servicios que emplean estaciones situadas en la superficie de la Tierra; interferencia	Punto a punto	Pérdidas del trayecto	100 MHz a 50 GHz	No especificada, pero llega hasta el horizonte radioeléctrico y más allá de él	0,001 a 50 Año medio y mes más desfavorable	No aplicable	No se especifican límites, dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas)	Datos del perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de transmisión Altura de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Datos meteorológicos Polarización
Rec. UIT-R P.528	Curvas de propagación para los servicios móvil aeronáutico y de radionavegación aeronáutica que utilizan las bandas de ondas métricas, decimétricas y centimétricas	Móvil aeronáutico	Punto a zona	Pérdidas del trayecto	125 MHz a 15,5 GHz	0 a 1 800 km (para aplicaciones aeronáuticas, la distancia 0 km en horizontal no implica longitud del trayecto de 0 km)	1 a 99	No aplicable	H1: mínimo de 1,5 m H2: mínimo de 1,5 m	Distancia Altura del transmisor Frecuencia Altura del receptor Porcentaje de tiempo

CUADRO 1 (continuación)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.530	Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa	Enlaces fijos con visibilidad directa	Punto a punto con visibilidad directa	Pérdidas del trayecto Mejora por diversidad (condiciones de cielo despejado) XPD <sup>(2)</sup> Interrupción Característica de error	Aproximadamente 150 MHz a 100 GHz	Hasta 200 km con visibilidad directa	Todos los porcentajes de tiempo en condiciones de cielo despejado; 1 a 0,001 en condiciones de precipitación <sup>(1)</sup> ; y el mes más desfavorable para la atenuación	No aplicable	Altura suficiente para asegurar el despejamiento especificado del trayecto	Distancia Altura del transmisor Frecuencia Altura del receptor Porcentaje de tiempo Datos de obstrucción del terreno Datos climáticos Información del terreno
Rec. UIT-R P.533	Método de predicción de la calidad de funcionamiento de circuitos que funcionan en ondas decamétricas	Radiodifusión Fijo Móvil	Punto a punto	MUF básica Intensidad de campo de la onda ionosférica Potencia disponible en el receptor Relación señal/ruido LUF Fiabilidad del circuito	2 a 30 MHz	0 a 40 000 km	Todos los porcentajes	No aplicable	No aplicable	Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Número de manchas solares Mes Horas Frecuencias Potencia del transmisor Tipo de antena del transmisor Tipo de antena del receptor
Rec. UIT-R P.534	Método para calcular la intensidad de campo en presencia de la capa E esporádica	Fijo Móvil Radiodifusión	Punto a punto a través de la capa E esporádica	Intensidad de campo	30 a 100 MHz	0 a 4 000 km	0,1 a 50	No aplicable	No aplicable	Distancia Frecuencia
Rec. UIT-R P.617	Datos de propagación y técnicas de predicción necesarios para el diseño de sistemas de radioenlaces tranzhorizonte	Enlaces fijos tranzhorizonte	Punto a punto	Pérdidas del trayecto	>30 MHz	100 a 1 000 km	0,001 a 99,999	No aplicable	No se especifican límites dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas)	Frecuencia Ganancia de la antena transmisora Ganancia de la antena receptora Geometría del trayecto

CUADRO 1 (continuación)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.618	Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio	Satélite	Punto a punto	Pérdidas del trayecto Ganancia de diversidad y XPD <sup>(2)</sup> (en condiciones de precipitación)	1 a 55 GHz	Cualquier altura de órbita práctica	0,001-5 para la atenuación debida a la lluvia; 0,001-50 para la atenuación total 0,001-1 para XPD <sup>(2)</sup> ; también el mes más desfavorable para la atenuación	No aplicable	No hay límite	Datos meteorológicos Frecuencia Ángulo de elevación Altura de la estación terrena Separación y ángulo entre emplazamientos de estación terrena (para ganancia de diversidad) Diámetro y eficacia de la antena (para el centelleo) Ángulo de polarización (para XPD <sup>(2)</sup> )
Rec. UIT-R P.619	Datos de propagación necesarios para evaluar la interferencia entre estaciones en el espacio y estaciones sobre la superficie de la Tierra	Satélite	Punto a punto	Pérdida básica de transmisión para interferencia de una sola fuente Pérdida básica de transmisión con cielo despejado para una interferencia de fuentes múltiples	0,1 a 100 GHz	Cualquier altura de órbita práctica	0,001 a 50	No aplicable	No hay límite	Frecuencia Ángulo de elevación de la estación terrena Separación angular del trayecto Longitud del trayecto. Atenuación gaseosa Ganancia de centelleo Atenuación máxima permitida de la señal deseada
Rec. UIT-R P.620	Datos de propagación necesarios para evaluar las distancias de coordinación en la banda de frecuencias de 100 MHz a 105 GHz	Coordinación de frecuencia de la estación terrena	Distancia de coordinación	Distancia a la que se logran las pérdidas de propagación requeridas	100 MHz a 105 GHz	Hasta 1 200 km	0,001 a 50	No aplicable	No se especifican límites dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas)	Pérdida de transmisión básica mínima Frecuencia Porcentaje de tiempo Ángulo de elevación de la estación terrena

CUADRO 1 (continuación)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.678	Caracterización de la variabilidad de los fenómenos de propagación y estimación del riesgo asociado al margen de propagación	Modelos de intensidad de lluvia Satélite	Punto a punto	Variabilidad de los fenómenos de propagación	12 a 50 GHz	Cualquier altura orbital práctica	0,01-2 para índice de pluviosidad y atenuación debida a la lluvia a lo largo de trayectos oblicuos	No aplicable	No hay límite	Probabilidad de rebasamiento
Rec. UIT-R P.679	Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de radiodifusión por satélite	Satélite de radiodifusión	Punto a zona	Pérdidas del trayecto Efecto del entorno local	0,5 a 5,1 GHz	Cualquier altura orbital práctica	No aplicable	No se especifican límites	No se especifican límites	Frecuencia Ángulo de elevación Características del entorno local
Rec. UIT-R P.680	Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación móviles marítimos tierra-espacio	Móvil marítimo por satélite	Punto a punto	Desvanecimiento o causado por la superficie del mar Duraciones de los desvanecimientos Interferencia (satélite adyacente)	0,8 a 8 GHz	Cualquier altura orbital práctica	Hasta 0,001% mediante una distribución Rice-Nakagami Límite del 0,01% para la interferencia <sup>(1)</sup>	No aplicable	No hay límite	Frecuencia Ángulo de elevación Ganancia máxima en el eje de puntería de la antena
Rec. UIT-R P.681	Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicaciones móviles terrestres Tierra-espacio	Móvil terrestre por satélite	Punto a punto	Desvanecimiento en el trayecto Duraciones de los desvanecimientos Duraciones de los intervalos sin desvanecimientos	0,8 a 20 GHz	Cualquier altura orbital práctica	No aplicable Porcentaje de distancia recorrida de 1 a 80% <sup>(1)</sup>	No aplicable	No hay límite	Frecuencia Ángulo de elevación Porcentaje de la distancia recorrida Nivel aproximado del enmascaramiento óptico
Rec. UIT-R P.682	Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación móviles aeronáuticos Tierra-espacio	Móvil aeronáutico por satélite	Punto a punto	Desvanecimiento causado por la superficie del mar Trayectos múltiples a partir del suelo y la aeronave durante el aterrizaje	1 a 2 GHz (desvanecimiento causado por la superficie del mar) 1 a 3 GHz (trayecto múltiple a partir del suelo)	Cualquier altura orbital práctica	Hasta 0,001% mediante una distribución Rice-Nakagami <sup>(1)</sup>	No aplicable	No hay límite para el desvanecimiento causado por la superficie del mar Hasta 1 km para la reflexión en el suelo durante el aterrizaje	Frecuencia Ángulo de elevación Polarización Ganancia máxima en el eje de puntería de la antena Altura de la antena

CUADRO 1 (continuación)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.684	Predicción de la intensidad de campo en frecuencias por debajo de unos 150 kHz	Fijo Móvil	Punto a punto Punto a zona	Intensidad de campo de la onda ionosférica	30 a 150 kHz	0 a 16 000 km	50	No aplicable	No aplicable	Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Distancia Potencia del transmisor Frecuencia Constantes del suelo Estación Número de manchas solares Hora del día
Rec. UIT-R P.843	Comunicaciones mediante la propagación por impulsos meteóricos	Fijo Móvil Radiodifusión	Punto a punto por ráfagas de meteoritos	Potencia recibida Tasa de ráfagas	30 a 100 MHz	100 a 1 000 km	0 a 5	No aplicable	No aplicable	Frecuencia Distancia Potencia del transmisor Ganancias de antena
Rec. UIT-R P.1147	Predicción de la intensidad de campo de la onda ionosférica en frecuencias comprendidas entre 150 y 1 700 kHz aproximadamente	Radiodifusión	Punto a zona	Intensidad de campo de la onda ionosférica	0,15 a 1,7 MHz	50 a 12 000 km	1, 10, 50	No aplicable	No aplicable	Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Distancia Número de manchas solares Potencia del transmisor Frecuencia
Rec. UIT-R P.1238	Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones en interiores y redes radioeléctricas de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz	Móvil Red radioeléctrica de área local (RLAN)	Métodos de propagación en el interior de edificios	Pérdida en el trayecto Dispersión del retardo de propagación	300 MHz a 450 GHz	Dentro de edificios	No aplicable	No aplicable	Base: aproximadamente 2-3 m Móvil: aproximadamente 0,5-3 m	Frecuencia Distancia Factores relacionados con el suelo y las paredes

CUADRO 1 (continuación)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.1410	Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales de acceso radioeléctrico de banda ancha que funcionan en una gama de frecuencias de 3 a 60 GHz aproximadamente	Acceso radioeléctrico en banda ancha	Punto a zona	Cobertura Reducción temporal de la cobertura debida a la lluvia	3 a 60 GHz	0-5 km	0,001 a 1 (para calcular la reducción de la cobertura debida a la lluvia)	Hasta 100	Sin límites: 0-300 m (típica)	Frecuencia Tamaño de la célula Altura del terminal Parámetros estadísticos de la altura de los edificios
Rec. UIT-R P.1411	Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de los sistemas de radiocomunicaciones de exteriores de corto alcance y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 300 MHz a 100 GHz	Móvil	Métodos de propagación en trayecto corto	Pérdida en el trayecto Dispersión del retardo de propagación	300 MHz a 100 GHz	< 1 km	No aplicable	No aplicable	Base: aproximadamente 4-50 m Móvil: aproximadamente 0,5-3 m	Frecuencia Distancia Dimensiones de la calle Altura de las estructuras

CUADRO 1 (continuación)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.1546	Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz	Servicio terrenales	Punto a zona	Intensidad de campo	30 a 4 000 MHz	1 a 1 000 km	1 a 50	1 a 99	<i>Transmisor/base:</i> altura efectiva desde menos de 0 m hasta 3 000 m <i>Receptor/móvil:</i> ≥1 m	Altura y cobertura del terreno (opcional) Clasificación del trayecto Distancia Altura de la antena de transmisión Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de recepción Ángulo de despejamiento del terminal Porcentaje de emplazamientos Gradiente de refractividad
Rec. UIT-R P.1622	Métodos de predicción requeridos para el diseño de sistemas Tierra-espacio que funcionan entre 20 THz y 375 THz	Enlaces ópticos de satélite	Punto a punto	Atenuación debida a la absorción Atenuación debida a la dispersión Ruido de fondo Centelleo de amplitud Ángulo de llegada Fluctuación lenta del haz Ensanchamiento del haz	20 a 375 THz	Enlaces ópticos Tierra-espacio de campo lejano	No aplicable	No aplicable	No hay límite	Longitud de onda Altura del terminal Ángulo de elevación Parámetro de la estructura de la turbulencia
Rec. UIT-R P.1623	Método de predicción de la dinámica de los desvanecimientos en los trayectos Tierra-espacio	Satélite	Punto a punto	Duración de los desvanecimientos, pendiente de los desvanecimientos	10 a 50 GHz	Cualquier altura orbital práctica	No aplicable	No aplicable	No hay límite	Frecuencia Ángulo de elevación Umbral de atenuación Anchura de banda del filtro

CUADRO 1 (continuación)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.1812	Método de predicción de la propagación específico del trayecto para servicios terrenales punto a zona en las bandas de ondas métricas y decimétricas	Servicios terrenales	Punto a zona	Intensidad de campo	30 a 3 000 MHz	No se especifica pero hasta el horizonte radioeléctrico y más allá	1 a 50	1 a 99	No se especifican límites dentro de la capa de superficie de la atmósfera (No es adecuado para aplicaciones aeronáuticas)	Datos de perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura de la antena de transmisión Altura de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Datos meteorológicos Polarización
Rec. UIT-R P.1814	Métodos de predicción necesarios para diseñar enlaces ópticos terrenales en espacio libre	Enlaces ópticos terrenales	Punto a punto	Atenuación debida a la absorción Atenuación debida a la dispersión Ruido de fondo Centelleo de amplitud Ensanchamiento del haz	20 a 375 THz	No hay límite	No aplicable	No aplicable	No hay límite	Longitud de onda (visibilidad en la niebla) Longitud del trayecto Parámetro de la estructura de la turbulencia
Rec. UIT-R P.1853	Síntesis de las series temporales de atenuación troposférica	Terrenal por satélite	Punto a punto	Atenuación debida a la lluvia para trayectos terrenales Atenuación total y centelleo troposférico para los trayectos Tierra-espacio	4 a 40 GHz para trayectos terrenales 4 a 55 GHz para trayectos Tierra-espacio	Entre 2 y 60 km para trayectos terrenales Satélite geoestacionario	No aplicable	No aplicable	No hay límite	Datos meteorológicos Frecuencia Ángulo de elevación Altura de la estación terrena Separación y ángulo entre emplazamientos de estación terrena (para ganancia de diversidad) Diámetro y eficacia de la antena (para el centelleo)

CUADRO 1 (fin)

Método	Título	Aplicación	Tipo	Resultado	Frecuencia	Distancia	Porcentaje de tiempo	Porcentaje de emplazamientos	Altura del terminal	Datos de partida
Rec. UIT-R P.2001	Modelo de propagación terrenal de gran alcance polivalente en la gama de frecuencias de 30 MHz a 50 GHz	Servicios terrenales	Punto a punto	Pérdidas de trayecto	30 MHz a 50 GHz	3 a 1 000 km	0.001 a 99.999	No aplicable	8000 m por encima del nivel medio del mar, pero cerca del suelo, dentro de la troposfera.	Datos del perfil del trayecto Frecuencia Porcentaje de tiempo Altura, ganancia y dirección acimutal de la antena de transmisión Altura, ganancia y dirección acimutal de la antena de recepción Latitud y longitud del transmisor Latitud y longitud del receptor Polarización
Rec. UIT-R P.2041	Predicción de la atenuación del trayecto por enlaces entre una plataforma aerotransportada y el espacio y entre una plataforma aerotransportada y la superficie de la Tierra	A bordo de aeronave	Punto a punto	Pérdida de trayecto	1 a 55 GHz	Cualquier altura	0,001 a 50	No aplicable	Entre la superficie de la Tierra y el espacio	Datos meteorológicos Frecuencia Ángulo de elevación Disponibilidad Altura de la plataforma a bordo de aeronave Diámetro y eficacia de la antena (para el centelleo)

<sup>(1)</sup> Porcentaje de tiempo de interrupción; para la disponibilidad del servicio, se subtrae de 100 el valor.

<sup>(2)</sup> XPD: Discriminación por polarización cruzada.

CUADRO 2

## Productos digitales del UIT-R sobre métodos de predicción de la propagación de ondas radioeléctricas

Recomendación UIT-R	Descripción	Resolución de rejilla	Interpolación espacial requerida (véase el Anexo 1)	Interpolación en probabilidad	Interpolación de la variable	Observaciones
P.452	$\Delta N$ medio anual $N_0$ medio anual	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.453	Distribuciones de probabilidad anuales y mensuales del término de humedad de la refractividad en la superficie (Nwet)	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilineal	Logarítmica	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gradiente de refractividad en los 65 m más bajos de la atmósfera (unidades-N/km)</li> <li>Gradiente de refractividad en el kilómetro más bajo de la atmósfera (unidades-N/km)</li> <li>Porcentaje de tiempo para el que el gradiente de refractividad en los 100 m más bajos es inferior a <math>-100</math> unidades-N/km</li> </ul>	$0,75^\circ \times 0,75^\circ$	Bilineal	No definido	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
	Datos del conducto de superficie	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No definido	No aplicable	Consúltense el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico
	Datos del conducto elevado	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No definido	No aplicable	Consúltense el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico
P.617	$\Delta N$ medio anual $N_0$ medio anual	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.678	Mapa de la relación climática	$0,5^\circ \times 0,5^\circ$	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.834	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coefficientes armónicos del exceso de longitud de trayecto a lo largo de los trayectos Tierra-espacio</li> <li>Coefficientes armónicos de las funciones de correspondencia hidrostática y de humedad</li> </ul>	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No definido	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
		$5^\circ \times 5^\circ$	No requerido			

CUADRO 2 (continuación)

Recomendación UIT-R	Descripción	Resolución de rejilla	Interpolación espacial requerida (véase el Anexo 1)	Interpolación en probabilidad	Interpolación de la variable	Observaciones
P.835	Datos experimentales de perfiles verticales atmosféricos (Anexo 2)	353 emplazamientos	No requerido	No aplicable	No aplicable	Consúltense el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico
	Datos de previsiones meteorológicas de perfiles verticales atmosféricos (Anexo 3)	1,5° × 1,5°	No especificado	No aplicable	No aplicable	Consúltense el software sobre propagación ionosférica y troposférica y la página web sobre ruido radioeléctrico
P.836	Probabilidad de rebasar el contenido de vapor de agua integrado de una columna de aire (%) (IWVC)	1,125° × 1,125°	Bilineal <sup>(1)</sup>	Logarítmica	Lineal	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
	Probabilidad de rebasar la densidad de vapor de agua en la superficie (%) (Rho)	1,125° × 1,125°	Bilineal <sup>(1)</sup>	Logarítmica	Lineal	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
	Altura de escala de vapor de agua	1,125° × 1,125°	Bilineal <sup>(1)</sup>	Logarítmica	Lineal	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
	Altitud topográfica (a.m.s.l.) (km)	0,5° × 0,5 <sup>a</sup>	Bicúbica	No aplicable	No aplicable	Consúltense la Recomendación
P.837	Lluvia media total mensual (mm) R <sub>0,01</sub> (mm/h)	0,25° × 0,25° 0,125° × 0,125°	Bilineal Bilineal	No aplicable No aplicable	No aplicable No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
	Conversión de los datos estadísticos sobre intensidad de lluvia con arreglo a diversos tiempos de integración (Anexo 3)	No aplicable	No requerido	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.839	Altura media anual de la isoterma de 0° C (km)	1,5° × 1,5°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.840	Estadísticas anuales del contenido de la columna de agua líquida de nube reducida Estadísticas mensuales del contenido de la columna de agua líquida de nube reducida Aproximación del contenido de agua líquida de nube reducida mediante distribución logarítmica normal	1,125° × 1,125°	Bilineal	Logarítmica	Lineal	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.1510	Temperatura media mensual y anual en la superficie	0,75° × 0,75°	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>

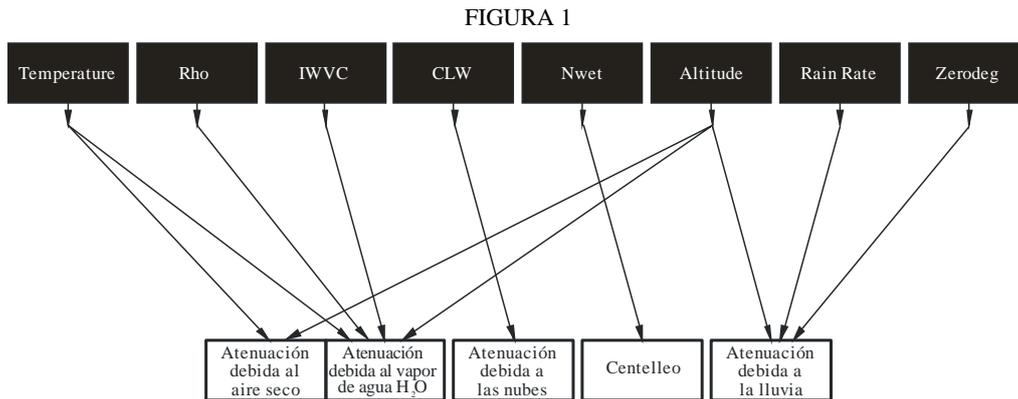
CUADRO 2 (fin)

Recomendación UIT-R	Descripción	Resolución de rejilla	Interpolación espacial requerida (véase el Anexo 1)	Interpolación en probabilidad	Interpolación de la variable	Observaciones
P.1511	Altitud topográfica (a.m.s.l.) (km)	$0,08333^\circ \times 0,08333^\circ$	Bicúbica	No aplicable	No aplicable	Esta Recomendación contiene definiciones de latitud, longitud y altura en las Recomendaciones de la serie P. Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
	Modelo gravitacional de la Tierra 2008 (EGM2008) (m)	$0,08333^\circ \times 0,08333^\circ$	Bicúbica	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.1812	$\Delta N$ medio anual $N_0$ medio anual	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	No aplicable	No aplicable	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.2001	Refractividad a nivel de superficie y gradiente en el kilómetro más bajo de la atmósfera	Múltiple	Bilineal	No aplicable	Lineal	Consúltense en el documento de referencia conexo los nombres de archivo aplicables <sup>(2)</sup>
P.2001 y P.534	Frecuencia crítica para la capa <i>E</i> esporádica ( $F_oE_s$ )	$1,5^\circ \times 1,5^\circ$	Bilineal	Lineal	Lineal	FoEs50.txt FoEs10.txt FoEs01.txt FoEs0.1.txt

<sup>(1)</sup> Las variables en los puntos de la cuadrícula circundantes se han referido a la altitud deseada antes de la interpolación espacial por el procedimiento de escalamiento en la Recomendación.

<sup>(2)</sup> El documento de referencia se incluye en el archivo Zip (Componentes) que figura en la página web relativa a la Recomendación

Para facilitar la referencia, la Fig. 1 muestra la relación entre los mapas geofísicos (casillas negras) y los efectos de la propagación (casillas blancas).



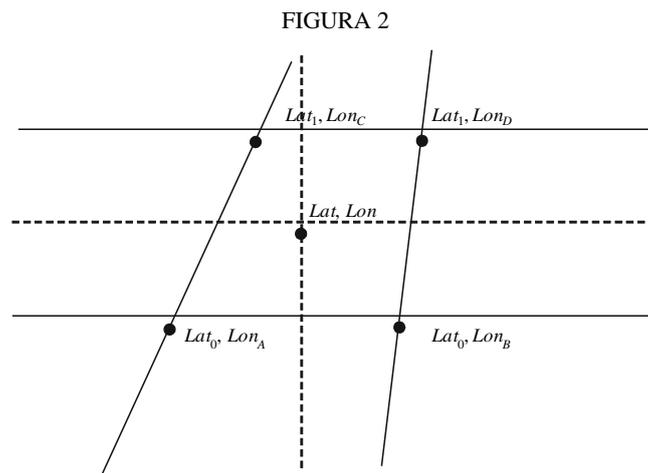
P.1144-01

## Anexo 1

### 1a Interpolación bilineal en una retícula trapezoidal

*Datos:* Valores de  $X$  en cuatro puntos circundantes:  $(Lat_1, Lon_C)$ ,  $(Lat_1, Lon_D)$ ,  $(Lat_0, Lon_A)$ , y  $(Lat_0, Lon_B)$ ; es decir  $X(Lat_1, Lon_C)$ ,  $X(Lat_1, Lon_D)$ ,  $X(Lat_0, Lon_A)$ , y  $X(Lat_0, Lon_B)$ .

*Problema:* Determinar el valor  $X(Lat, Lon)$  en un punto  $(Lat, Lon)$  mediante interpolación bilineal.



P.1144-02

*Solución:* Definir dos variables auxiliares,  $t$  y  $s$ :

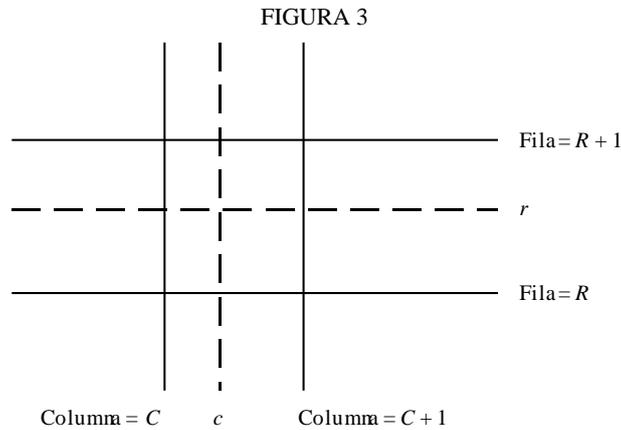
$$t = \frac{Lat - Lat_0}{Lat_1 - Lat_0}$$

$$s = \frac{Lon - Lon_A + t(Lon_A - Lon_C)}{Lon_B - Lon_A + t(Lon_A - Lon_C + Lon_D - Lon_B)}$$

y calcular:

$$\begin{aligned} X(Lat, Lon) &= (1 - s) (1 - t) X(Lat_0, Lon_A) \\ &+ (1 - s) t X(Lat_1, Lon_C) \\ &+ s (1 - t) X(Lat_0, Lon_B) \\ &+ t s X(Lat_1, Lon_B) \end{aligned}$$

### 1b Interpolación bilineal en una cuadrícula cuadrada



P.1144-03

*Datos:* Valores de  $I$  en cuatro puntos que rodean a los puntos de la cuadrícula:  $I(R, C)$ ,  $I(R, C + 1)$ ,  $I(R + 1, C)$ , e  $I(R + 1, C + 1)$ , donde  $R$ ,  $R + 1$ ,  $C$ , y  $C + 1$  números enteros relativos a la fila y la columna.

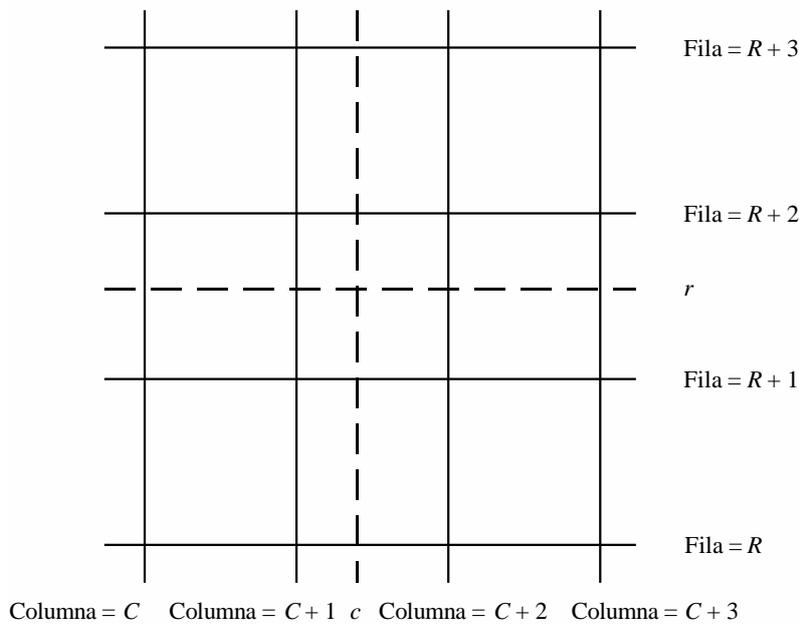
*Problema:* Determinar  $I(r, c)$ , donde  $r$  es un número de fila fraccional comprendido entre  $R$  y  $R + 1$  y  $c$  es un número de columna fraccional comprendido entre  $C$  y  $C + 1$ , utilizando interpolación bilineal.

*Solución:* Calcular:

$$\begin{aligned} I(r, c) &= I(R, C) [(R + 1 - r)(C + 1 - c)] \\ &+ I(R + 1, C) [(r - R)(C + 1 - c)] \\ &+ I(R, C + 1) [(R + 1 - r)(c - C)] \\ &+ I(R + 1, C + 1) [(r - R)(c - C)] \end{aligned}$$

2 Interpolación bicúbica

FIGURA 4



P.1144-04

Datos: Valores de  $I$  en 16 puntos de la cuadrícula circundantes:

- $I(R,C), I(R,C + 1), I(R,C + 2), I(R,C + 3),$
- $I(R + 1,C), I(R + 1,C + 1), I(R + 1,C + 2), I(R + 1,C + 3),$
- $I(R + 2,C), I(R + 2,C + 1), I(R + 2,C + 2), I(R + 2,C + 3),$
- $I(R + 3,C), I(R + 3,C + 1), I(R + 3,C + 2), I(R + 3,C + 3)$

donde  $R, R + 1, \text{etc.};$  y  $C, C + 1, \text{etc.}$  son enteros.

Problema: Calcular  $I(r,c)$ , donde  $r$  es un número de fila fracción comprendido entre  $R + 1$  y  $R + 2$  y  $c$  es un número de columna fraccional comprendido entre  $C + 1$  y  $C + 2$ , utilizando interpolación bicúbica.

Solución:

Etapa 1: Para cada fila,  $X$ , donde  $X = \{R, R + 1, R + 2, R + 3\}$ , calcular el valor interpolado en la columna fraccional  $c$  deseada como sigue:

$$RI(X, c) = \sum_{j=C}^{C+3} I(X, j) K(c - j)$$

donde:

$$K(\delta) = \begin{cases} (a + 2)|\delta|^3 - (a + 3)|\delta|^2 + 1 & \text{para } 0 \leq |\delta| \leq 1 \\ a|\delta|^3 - 5a|\delta|^2 + 8a|\delta| - 4a & \text{para } 1 \leq |\delta| \leq 2 \\ 0 & \text{para } 2 \leq |\delta| \end{cases}$$

y

$$a = -0,5$$

Etapa 2: Calcular  $I(r,c)$ , interpolando las interpolaciones unidimensionales  $RI(R,c)$ ,  $RI(R+1,c)$ ,  $RI(R+2,c)$ , y  $RI(R+3,c)$  de la misma manera que las interpolaciones de fila.

### 3 Integración por cuadratura gaussiana

La integración por cuadratura gaussiana es una aproximación precisa a una integral definida si el integrando,  $f(x)$ , se aproxima adecuadamente por un polinomio de grado  $2n-1$  o menos en un intervalo de integración. El valor de  $n$  debe seleccionarse sobre la base de la precisión deseada.

Los valores de  $X_i$ , los puntos de cuadratura gaussiana, y  $W_i$ , los factores de ponderación de la cuadratura gaussiana, son parte integrante de esta Recomendación y se facilitan en los archivos GaussQuadrature\_n.txt files donde  $n = 16, 32, 64, 128, \text{ y } 256$  en el archivo Gaussian Quadrature Weights.zip.

#### 3.1 Integral simple

Puede aproximarse adecuadamente una integral simple por integración de cuadratura gaussiana observando que:

$$\int_a^b f(x) dx = \int_{-1}^1 \left(\frac{b-a}{2}\right) f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2}t\right) dt$$

$$\approx \sum_{i=1}^n W_i' f(X_i')$$

donde:

$$W_i' = \left(\frac{b-a}{2}\right) W_i$$

$$X_i' = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} X_i$$

#### 3.2 Integral doble

Puede aproximarse adecuadamente una integral doble por integración de cuadratura gaussiana observando que:

$$\int_a^b \int_c^d f(x,y) dx dy = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \left(\frac{b-a}{2}\right) \left(\frac{d-c}{2}\right) f\left(\frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2}s, \frac{c+d}{2} + \frac{d-c}{2}t\right) ds dt$$

$$\approx \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_i' Y_j' f(X_i', Z_j')$$

donde:

$$W_i' = \left(\frac{b-a}{2}\right) W_i$$

$$X_i' = \frac{a+b}{2} + \frac{b-a}{2} X_i$$

$$Y_j' = \left(\frac{d-c}{2}\right) W_j$$

$$Z'_i = \frac{c+d}{2} + \frac{d-c}{2}X_i$$

---