

RECOMENDACIÓN UIT-R P.311-9

**RECOPIACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS
MEDIANTE ESTUDIOS RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA**

(1953-1956-1959-1970-1974-1978-1982-1990-1992-1994-1997-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que para el diseño de los sistemas de comunicación es necesario contar con modelos de predicción de la propagación que tengan validez global;
- b) que los datos sobre propagación y radiometeorológicos revisten una importancia fundamental en la elaboración y comprobación de dichos modelos de predicción;
- c) que para facilitar la comparación de datos y resultados conviene recopilar y presentar de manera uniforme los datos relativos a la propagación y radiometeorológicos,

recomienda

1 que los datos sobre propagación troposférica presentados a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones sigan los principios y formatos que figuran en el Anexo 1.

ANEXO 1

Bancos de datos que dan soporte a la evaluación de métodos de predicción

- 1 Introducción
- 2 Responsabilidades y actualizaciones
- 3 Criterios de aceptación
- 4 Criterios de prueba para comparar los métodos de predicción
 - 4.1 Consideraciones generales
 - 4.2 Variable de prueba para comparar las predicciones sobre la atenuación debida a la lluvia
- 5 Lista de bancos de datos de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones relativos a la propagación troposférica
 - 5.1 Parte I: Datos relativos a trayectos terrenales con visibilidad directa
 - 5.2 Parte II: Datos relativos a trayectos Tierra-espacio
 - 5.3 Parte III: Datos relativos a trayectos terrenales transhorizonte y a la dispersión por la lluvia
 - 5.4 Parte IV: Datos relativos a la radiometeorología
 - 5.5 Parte V: Datos relativos al servicio móvil terrestre terrenal
 - 5.6 Parte VI: Datos relativos a la radiodifusión terrenal
 - 5.7 Parte VII: Datos relativos a los servicios móviles por satélite
 - 5.8 Parte VIII: Datos relativos a la vegetación y la edificación

1 Introducción

Uno de los requisitos esenciales para obtener métodos fiables de predicción de los efectos de la propagación radioeléctrica es el establecimiento de bancos de datos adecuados por computador. Estos bancos de datos deben:

- contener todos los datos disponibles en un formato adecuado,
- tener aceptación general como fuente de información con la cual realizar pruebas,
- estar fácilmente disponibles.

Por principio, los bancos de datos contendrán únicamente datos que pueden utilizarse para:

- probar métodos de predicción recomendados por la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones (y, naturalmente, que puedan utilizarse para probar otros métodos), y
- la creación y actualización de mapas radiometeorológicos relativos a la predicción de los efectos en la propagación radioeléctrica.

Para los casos especiales en que la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones no ha adoptado ningún método de predicción, en el Anexo de la Recomendación correspondiente figura un Cuadro con datos para orientar al lector respecto a los mejores datos medidos actualmente disponibles.

Los actuales bancos de datos se refieren a:

- la evaluación de métodos de predicción de la propagación terrenal con visibilidad directa,
- la evaluación de métodos de predicción de la propagación Tierra-espacio,
- la evaluación de métodos de predicción de la interferencia en los trayectos transhorizonte, o fiabilidad de la propagación en dichos trayectos,
- los datos radiometeorológicos,
- la evaluación de métodos de predicción para el servicio móvil terrestre terrenal,
- la evaluación de métodos de predicción para la radiodifusión terrenal,
- la evaluación de métodos de predicción para servicios móviles por satélite,
- los datos relativos a la vegetación y la edificación.

Se insta a las administraciones a que presenten sus datos a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones y/o al Grupo de Trabajo (GT) pertinente conforme a los requisitos señalados en el presente Anexo. En el § 2 se indica, en líneas generales, los aspectos de carácter más administrativo relacionados con los bancos de datos y el procedimiento para la inscripción de nuevos datos en dichos bancos. El § 3 señala los criterios que deben cumplir los datos facilitados para su aceptación. En el § 4 se indica el criterio de prueba utilizado. El § 5 presenta todos los Cuadros de los bancos de datos.

En las páginas de World Wide Web relativas a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones (<http://www.itu.int/brsg/sg3/databanks/index.html>) pueden obtenerse, sin restricciones, los formularios vacíos para incluir en ellos dichos datos, con una descripción detallada del carácter y el formato de los datos requeridos/disponibles. Por otra parte, esas mismas páginas de Web contienen todos los bancos de datos disponibles, en forma de hoja de cálculo. La Oficina de Radiocomunicaciones (BR) facilitará a quien lo solicite, copias impresas o en disco flexible de las hojas de formato, así como el registro en disco flexible del banco total de datos.

El Cuadro III-1a «Datos de mediciones puntuales en condiciones de cielo despejado» es una base de datos independiente que contiene, hasta la fecha, 100 000 mediciones realizadas en 1 326 trayectos. Los datos se obtuvieron con mediciones de una duración comprendida entre 10 min y 1 h. El banco de datos puede también encontrarse en el sitio Web de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones, o bien solicitarse a la BR, que lo facilita en discos de 3,5 pulgadas (ficheros dBASEIII para DOS), con una rutina que permite al usuario leer, imprimir y corregir los datos.

2 Responsabilidades y actualizaciones

Los bancos de datos están bajo la responsabilidad de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones, que debe aprovechar plenamente tanto las actividades de los GT para las aportaciones técnicas y la gestión como los servicios de la BR para la publicación y distribución. La responsabilidad en cuanto a la precisión y significado de los datos recae en los autores indicados en las referencias y/o en las administraciones que los han suministrado. Sin embargo, para facilitar la transformación de los datos suministrados en datos manejables por computador y garantizar la calidad de los bancos de datos, los datos deberán ser examinados primeramente por el GT correspondiente conforme a los criterios indicados en el § 3. Los datos que no cumplan los requisitos pueden aceptarse tras recabar y recibir la correspondiente información adicional y/o explicaciones adecuadas de la administración que los haya suministrado.

Es necesario examinar constantemente los procedimientos adecuados para el mantenimiento técnico y la producción de los bancos de datos. Se propone asignar cada Cuadro del banco de datos a un GT para que lo examine y que los GT pertinentes nombren, para cada Cuadro del que son responsables, una persona que coordine las actualizaciones.

3 Criterios de aceptación

Deben examinarse los datos facilitados para su inclusión en los bancos de datos a fin de determinar su idoneidad de acuerdo con los siguientes criterios:

- Ajuste de la información dada a los formatos descritos en el formulario en blanco. En particular, las unidades de medida deben ser coherentes con las indicadas en el Cuadro de los formularios de descripción. Se basan, con pocas excepciones, en el Sistema Internacional de Unidades (sistema SI). Para la definición de los términos, véase la Recomendación UIT-R P.310. Se recomienda utilizar copias de los Cuadros que figuran en el formulario tanto para el suministro de datos como para añadir información adicional importante en calidad de «Comentarios».
- Para los Cuadros que exijan estadísticas acumulativas de los fenómenos de propagación y de la precipitación, se requieren datos concurrentes, lo que significa que ambas estadísticas deben obtenerse en el mismo periodo de observación. Si los datos obtenidos se hicieron concurrentes suprimiendo el resto de las medidas en este intervalo de tiempo, hay que hacer constar esta circunstancia en los «Comentarios».
- En el caso de estadísticas acumulativas a largo plazo y anuales, el periodo de observación será un múltiplo entero de 12 meses y el equipo estará en funcionamiento el 90% por lo menos del tiempo total consignado.
- Las estadísticas acumulativas del mes más desfavorable (véase la Recomendación UIT-R P.581) deben proceder de todas las estadísticas mensuales del año correspondiente. El equipo estará en funcionamiento por lo menos el 75% de cada mes.
- Exactitud de la interpolación: cuando se conviertan las estadísticas acumulativas medidas al formato pedido (para varios porcentajes fijos), puede ser necesaria la interpolación. Para ello, debe elegirse un número suficientemente elevado de niveles de referencia de tal forma que, para los niveles de referencia interpolados, su probabilidad sea superior a 0,8 e inferior a 1,25. No deben suministrarse los valores extrapolados.
- Para datos de ancho de banda en sistemas terrenales, el margen dinámico del receptor debe ser al menos de 18 dB para tener una relación señal/ruido mínima de 15 dB.

Los supervisores del examen de los datos suministrados aplicarán los criterios indicados. Sin embargo, en casos especiales pueden aplicarse criterios menos estrictos (por ejemplo, en los fenómenos de multitrayecto, las estadísticas sobre desvanecimiento de la señal muestran una clara tendencia lineal en la cola de la distribución al representarse en forma semilogarítmica, de modo que la interpolación resulta así menos problemática). También conviene aplicar criterios de aceptación menos estrictos cuando los datos estadísticos procedan de una región cuya representación en el correspondiente Cuadro de datos resulta difícil. El responsable de la coordinación del Cuadro deberá marcar con una señal distintiva los datos aceptados a pesar de no cumplir los criterios de aceptación (debido a las razones indicadas anteriormente); dichos datos pueden suprimirse cuando se haya registrado un número suficiente de datos que cumplan plenamente los requisitos necesarios.

4 Criterios de prueba para comparar los métodos de predicción

4.1 Consideraciones generales

Para evaluar la calidad de un método de predicción es preciso definir un conjunto de criterios objetivos. Por regla general, los datos utilizados en la comparación deben ser adecuados a los fines de la aplicación (véase el texto sobre criterios de aceptación de datos, § 3). Si bien la base de datos normalmente incluye todos los datos idóneos para, al menos, un tipo de prueba, puede que algunos datos no sean adecuados para ciertos tipos de predicciones y, por consiguiente, deben excluirse de dichas pruebas. (Ejemplo: algunos datos del Cuadro III-1 no son adecuados para probar la fiabilidad transhorizonte; en consecuencia, aparecen marcados con señal distintiva). También es importante suprimir todo dato dependiente (cuando un registro es un subconjunto de otro registro). Sin embargo, los datos procedentes de medidas efectuadas en la misma estación durante el mismo periodo de tiempo, pero con distinta polarización o ángulo de elevación, pueden tratarse como datos independientes.

Además, en la mayoría de los casos, la duración de las medidas (en múltiplos de años) debe utilizarse como una función de ponderación. (Cabe señalar que la duración se define como el número real de días en los que se ha obtenido el conjunto completo de datos válidos, que normalmente es inferior al tiempo transcurrido entre la fecha de comienzo y la fecha de finalización; la diferencia es el «tiempo de inactividad» del experimento.)

Los requisitos generales de los modelos son (en orden decreciente de importancia):

4.1.1 Comportamiento óptimo en términos de variable de prueba

El GT responsable debe llegar a un acuerdo sobre dicha variable de prueba (entendiendo por tal el valor mínimo medio de la diferencia entre los valores previstos y medidos o la desviación típica mínima de la diferencia). Obsérvese que la prueba debe realizarse sobre el conjunto completo de datos actualmente aplicable y sobre los subconjuntos de datos acordados.

4.1.2 «Bases físicas» del método elegido

La mayoría de los métodos de predicción de la propagación utilizados son de naturaleza semiempírica debido a que los detalles del proceso físico no se conocen con exactitud o a que, simplemente, no pueden obtenerse los valores de todos los parámetros de entrada. Cuanto mejor se hallen representados en un modelo los principios físicos subyacentes, mayores serán las posibilidades de que dicho modelo pueda aplicarse también en dominios no explorados hasta el presente (nuevas frecuencias, nuevas zonas climáticas, etc.). Normalmente un método puramente empírico que se obtenga de curvas elaboradas a partir de los datos medidos, no será adecuado para una aplicación fuera del dominio en el que se realizaron dichas mediciones y, por consiguiente, no debe emplearse.

4.1.3 «Simplicidad»

Este criterio, que puede considerarse en cierta medida como contradictorio al requisito de «Bases físicas», debe aplicarse únicamente para reducir al mínimo el número de parámetros de entrada necesarios y asegurar que la descripción del algoritmo da lugar a una realización clara e inequívoca mediante un programa de computador. Los nomogramas constituyen representaciones simplificadas de los métodos de predicción muy útiles, pero no pueden aceptarse como un método per se.

4.2 Variable de prueba para comparar las predicciones sobre la atenuación debida a la lluvia

Las predicciones de la atenuación se realizan normalmente para un cierto número de trayectos de transmisión y para un conjunto fijo de niveles de probabilidad. Los datos a comparar implicados en métodos de predicción, se tabulan para niveles de probabilidad fijos, por ejemplo, 0,001%, 0,01% y 0,1% del año. Para cada trayecto se calcula la relación entre la atenuación prevista y la medida. El logaritmo neperiano de dichas relaciones se utiliza como variable de prueba. A fin de compensar los efectos producidos por otras fuentes de atenuación distintas de la lluvia así como las imprecisiones en las medidas, que afectan principalmente a los valores de atenuación más bajos, el logaritmo debe multiplicarse por un factor de escala para los valores de atenuación medidos que sean inferiores a 10 dB. Este factor de escala es una función exponencial de la atenuación medida. La variable de prueba modificada de esa forma se aproxima en gran medida a una distribución normal. A continuación se calcula la media y la desviación típica de la variable de prueba (modificada) a fin de obtener las estadísticas para la comparación de métodos de predicción.

4.2.1 Procedimiento

- Para cada porcentaje de tiempo, se calcula la relación entre la atenuación prevista A_p (dB), y la atenuación medida, A_m (dB), en cada enlace radioeléctrico:

$$S_i = A_{p,i} / A_{m,i} \quad (1)$$

siendo S_i la relación en el enlace radioeléctrico i -ésimo.

- Se calcula la variable de prueba:

$$\begin{aligned} V_i &= \ln S_i (A_{m,i} / 10)^{0,2} && \text{para } A_{m,i} < 10 \text{ dB} \\ &= \ln S_i && \text{para } A_{m,i} \geq 10 \text{ dB} \end{aligned} \quad (2)$$

- Se repite este procedimiento para cada porcentaje de tiempo.
- Se calcula la media, μ_V , la desviación típica, σ_V , y el valor cuadrático medio, ρ_V , de los valores V_i , para cada porcentaje de tiempo:

$$\rho_V = (\mu_V^2 + \sigma_V^2)^{0,5} \quad (3)$$

NOTA 1 – (Función de ponderación). Cuando algunas de las distribuciones medidas constituyen datos a lo largo de varios años (n años), se calculará la media μ_V , la desviación típica σ_V y el valor cuadrático medio ρ_V de los valores de n V_i (por ejemplo, si se han evaluado los datos promedios anuales de tres años de observación, se aplicará tres veces el mismo valor V_i para cada porcentaje de tiempo).

NOTA 2 – (Evaluación de niveles de probabilidad por décadas). Para evaluar los métodos de predicción por décadas de los niveles de probabilidad (por ejemplo de 0,001% a 0,1% de tiempo), se calculan los valores de la variable de prueba V_i para cada porcentaje de tiempo (de preferencia, los valores son 0,001, 0,002, 0,003, 0,005, 0,01, 0,02, 0,03, 0,05, y 0,1), se toma en cuenta la función de ponderación y se calcula la media $\bar{\mu}_V$, la desviación típica $\bar{\sigma}_V$, y el valor cuadrático medio $\bar{\rho}_V$ de todos estos valores de V_i según las décadas requeridas de niveles de probabilidad.

Al comparar los métodos de predicción, el método óptimo es el que da los valores mínimos de los parámetros estadísticos. Hay que señalar que los parámetros logarítmicos pueden convertirse posteriormente en parámetros porcentuales equivalentes. Por ejemplo, a partir de la desviación típica se obtienen las desviaciones porcentuales superior e inferior equivalentes:

$$D_{u,l} = \left[\exp(\pm \sigma_V)^{-1} \right] \times 100$$

que son una medida de la dispersión de los valores previstos con respecto a los valores medidos, normalizados para un valor de la atenuación de 10 dB.

Este procedimiento es útil no sólo para evaluar el comportamiento de los diversos métodos de predicción sino también como orientación para mejorarlos. La inspección gráfica de las dispersiones de los valores de A_p y A_m ofrece igualmente información útil sobre las ventajas relativas de los datos experimentales y los métodos de predicción.

Además, estos parámetros estadísticos pueden dar alguna información sobre la dispersión que cabe esperar de los valores de atenuación reales respecto a los previstos. A tal efecto, el procedimiento de transformación mencionado más arriba puede aplicarse en sentido inverso; es decir, la desviación típica normalizada para un nivel de atenuación de 10 dB puede transformarse en la desviación típica que cabe esperar para otro nivel de atenuación previsto, A_p (dB), mediante el factor $(10/A_p)^{0,2}$.

Debe tenerse en cuenta que la precisión de cualquier método de predicción viene limitada por la precisión con que puedan caracterizarse las condiciones hidrometeorológicas en un emplazamiento determinado mediante una distribución acumulativa supuesta de la intensidad de la lluvia en un punto determinado.

5 Lista de bancos de datos de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones relativos a la propagación troposférica

5.1 Parte I: Datos relativos a trayectos terrenales con visibilidad directa

- Cuadro I-1: Estadísticas de atenuación debida a la lluvia en trayectos con visibilidad directa
- Cuadro I-2: Desvanecimiento debido a la propagación multitrayecto y su intensificación en condiciones de visibilidad directa durante el mes medio más desfavorable y con poca anchura de banda
- Cuadro I-3: Datos de diversidad en trayectos con visibilidad directa
- Cuadro I-4: Estadística de XPD y CPA en trayectos con visibilidad directa en condiciones de cielo despejado
- Cuadro I-5: Estadísticas de XPD y CPA debidas a la precipitación en trayectos con visibilidad directa
- Cuadro I-6: Características del canal multitrayecto y duración de las interrupciones dentro del mes más desfavorable en trayectos con visibilidad directa
- Cuadro I-7: Desvanecimiento debido a la propagación multitrayecto y su intensificación en condiciones de visibilidad directa con múltiples saltos durante el mes más desfavorable
- Cuadro I-8: Estadísticas de la duración del desvanecimiento en trayectos con visibilidad directa

5.2 Parte II: Datos relativos a trayectos Tierra-espacio

- Cuadro II-1: Estadísticas de atenuación debida a la lluvia e intensidad de la lluvia por año en trayectos oblicuos
- Cuadro II-2: Estadísticas de atenuación debida a la lluvia dentro del mes más desfavorable en trayectos oblicuos
- Cuadro II-3: Estadísticas de duración del desvanecimiento en trayectos oblicuos
- Cuadro II-4: Estadísticas de diversidad de emplazamiento en trayectos oblicuos

- Cuadro II-5a: Estadísticas anuales de XPD en trayectos oblicuos
- Cuadro II-5b: Estadísticas anuales de XPD condicionadas por la CPA en trayectos oblicuos
- Cuadro II-6: Estadísticas del centelleo de amplitud en trayectos oblicuos
- Cuadro II-7: Desviación típica del centelleo en trayectos oblicuos

5.3 Parte III: Datos relativos a trayectos terrenales transhorizonte y a la dispersión por la lluvia

- Cuadro III-1: Estadísticas de pérdida básica de transmisión en trayectos transhorizonte con cielo despejado
- Cuadro III-1a: Datos de mediciones puntuales en condiciones de cielo despejado. (Este Cuadro es un banco de datos independiente (véase el § 1))
- Cuadro III-2: Dispersión por lluvia en trayectos terrenales

5.4 Parte IV: Datos relativos a la radiometeorología

- Cuadro IV-1: Estadística de intensidad de la lluvia
- Cuadro IV-2: Factor de conversión del tiempo de integración de la lluvia
- Cuadro IV-3: Estadísticas anuales de temperatura del ruido celeste
- Cuadro IV-4: Estadísticas de la media del coíndice de refracción en la superficie
- Cuadro IV-5: Estadísticas de duración de episodios de lluvia
- Cuadro IV-6: Estadísticas de conductos de evaporación

5.5 Parte V: Datos relativos al servicio móvil terrestre terrenal

- Cuadro V-1: Estadísticas de banda ancha en el servicio móvil terrestre terrenal
- Cuadro V-2: Estadísticas de banda estrecha en el servicio móvil terrestre terrenal

5.6 Parte VI: Datos relativos a la radiodifusión terrenal

- Cuadro VI-1: Variación del nivel de la señal con el tiempo en la radiodifusión terrenal
- Cuadro VI-2: Variación del nivel de la señal con el emplazamiento en la radiodifusión terrenal

5.7 Parte VII: Datos relativos a los servicios móviles por satélite

- Cuadro VII-1: Estadísticas de banda ancha en los enlaces por satélite
- Cuadro VII-2: Estadísticas de banda estrecha en enlaces del servicio móvil marítimo por satélite
- Cuadro VII-3: Estadísticas de banda estrecha en enlaces del servicio móvil terrestre por satélite
- Cuadro VII-4: Estadísticas de banda estrecha en enlaces del servicio móvil aeronáutico por satélite
- Cuadro VII-5: Estadísticas de banda estrecha del desvanecimiento y las duraciones del desvanecimiento en el servicio de radiodifusión por satélite

5.8 Parte VIII: Datos relativos a la vegetación y la edificación

- Cuadro VIII-1: Atenuación debida a la vegetación.
- Cuadro VIII-2: Pérdida debida a la entrada en edificios
- Cuadro VIII-3: Características de pérdida de los materiales
-