

Comportamiento de la banda E como transmisión de redes 5G en La Habana, Cuba

E Band Performance as a transmission for 5G networks in Havana, Cuba

Ing. Abdel Izaguirre Calvo^{1*}, Dr.C. Francisco Marante Rizo²

Recibido: 06/2021 | Aceptado: 09/2021

Palabras clave

Promedio de lluvia
Modelo ITU-R
Microonda
Atenuación por lluvia
5G

Resumen

La lluvia es una causa importante del deterioro de las comunicaciones en los sistemas de radio enlaces. En el caso de la banda milimétrica o banda E, el efecto de la atenuación por causa de la lluvia en los enlaces de microondas en Cuba, hasta ahora ha sido poco estudiado. Teniendo esto en cuenta, en este artículo se pretende predecir el comportamiento de dichos enlaces en las condiciones meteorológicas específicas de Cuba. Dicha predicción se basa en el cálculo de las atenuaciones a partir de la tasa de distribución de lluvia obtenida mediante los datos basados en diez años de medición de intensidad de lluvia del Instituto de Meteorología (INSMET) de La Habana, Cuba. La tasa de precipitación para un minuto de tiempo de integración no excedido 0.01% del tiempo, utilizando la recomendación UIT-R PN.837-1, se encuentra que todas las ciudades del país cumplen con la zona N. El modelo del UIT-R PN.837-7 se aplica luego para estimar y analizar la atenuación de la lluvia en radio enlaces terrestres. La atenuación se predice para frecuencias de 80 GHz, para distancias entre uno y cinco kilómetros. Los resultados muestran los valores de la modelación en PATHLOSS en la capital del país, La Habana, siendo una herramienta para el diseño y la predicción de la operación de sistemas de microondas futuros.

Keywords

Average rainfall
ITU-R model
Microwave
Rain attenuation
5G

Abstract

Rain is an important cause of the deterioration of communications in radio link systems. In the case of the millimeter band or E band, the effect of attenuation due to rain on microwave links in Cuba has so far been little studied. Therefore, this paper is intended to predict the behavior of these links in the specific meteorological conditions in Cuba. This prediction is based on the calculation of the rain attenuation distribution rate obtained by means of data based on ten years of measurement of rain intensity from the Havana Institute of Meteorology (INSMET) Cuba. The precipitation rate for one minute of integration time not exceeding 0.01% of the time,

1* Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A. Departamento de Inversiones. abdel.izaguirre@etecsa.cu

2 Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría". marante@tele.cujae.edu.cu

by using the recommendation ITU-R PN.837-1, it appeared that all country's cities comply with zone N. The ITU-R PN.837-7 model is then applied to estimate and analyze rain attenuation on terrestrial radio links. Attenuation is predicted for 80 GHz frequencies, for distances between one and five kilometers. The results show the modulation values in PATHLOSS in the country's capital, Havana, being a tool to design and predict the operation of future microwave systems.

Introducción

La propagación de microondas en la banda milimétrica a bajas latitudes es un tema de interés para las investigaciones en materia de telecomunicaciones. Debido a la alta precipitación, humedad y temperatura en dichas latitudes pueden ser graves los efectos de propagación en enlaces de radio. De todos los efectos atmosféricos sobre microondas y bandas de ondas milimétricas, la atenuación de la lluvia es uno de los más importantes.

Cuando la señal viaja a través de un medio lluvioso, la intensidad de la señal se va debilitando producto de la absorción y dispersión de su amplitud y componentes de fase debido a las gotas de lluvia. Además, estas alteran la polarización de la señal transmitida que resulta en despolarización y efectos indeseables en el receptor. En la práctica, parámetros notables de la tasa de lluvia y el tamaño de la gota de lluvia se aplican para reducir los efectos de esta sobre comunicaciones inalámbricas (Han et al., 2018). El estudio de la propagación de ondas de radio en microondas y las bandas milimétricas son de gran interés para la Unión Internacional de Telecomunicaciones, especialmente para el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) y la International Union of Radio Science (URSI). El UIT-R, a través de La Recomendación P 530-15 (Recomendación UIT-R P.530-17 (12/2017), proporciona suposiciones básicas de diseño de enlace de línea de visión (LOS) basadas en métodos de predicción de propagación, que no son adecuados para regiones tropicales. Por lo tanto, es imperativo, para estas regiones, obtener parámetros determinados experimentalmente para modificar o refinar estos métodos de predicción de propagación.

La investigación de la atenuación por lluvia en la banda milimétrica en la capital del país basada en datos locales es una motivación para este trabajo. En este artículo, las tasas de lluvia y el porcentaje de tiempo de superación se calculan en función de los datos ob-

tenidos del Instituto de Meteorología (INSMET) de la República de Cuba, con un tiempo de conversión de lluvia a un minuto desarrollado en 0.01%, usando el modelo ITU-R, Atenuación de Lluvia para Sistemas de Microondas Terrestres. Este trabajo permitirá la predicción del comportamiento de los enlaces en banda E en La Habana.

La Banda E o banda milimétrica emerge como una nueva tecnología madura de radio, pero las experiencias de explotación están en altas latitudes, siendo aún poco estudiado el comportamiento de estas altas frecuencias a bajas latitudes donde la lluvia tendrá una alta influencia en los rendimientos y la calidad de servicio de estos enlaces. En este sentido, se hace necesario el estudio del comportamiento del canal de radio de los sistemas de radio enlace en la banda E en las condiciones de propagación a bajas latitudes, en el ambiente meteorológico de La Habana.

Si la predicción de los sistemas de microondas de quinta generación, tiene un desempeño adecuado en el medio de propagación cubano, pudiera ser una solución que permita la transmisión de grandes anchos de banda y el diseño de enlaces para conectar las radio bases LTE y superiores a las redes de agregación.

El objeto de estudio serán los radios de banda milimétrica, Banda E, como medio de transporte del *backhaul* LTE, así como la evaluación del canal de radio, su alcance y la calidad de servicio. Se predice el comportamiento del canal de radio de la banda milimétrica como medio de transporte en las condiciones climáticas de La Habana, que sirva como datos o referencias para los diseños e implementación de los futuros enlaces en la banda E.

Materiales y métodos

Este tipo de ondas, también denominadas —*millimetre band o millimetre wave* (mmW)—, son aquellas que van de los 30 a los 300 GHz, y que se corresponden a la parte del espectro radioeléctrico llamada

Extremely High Frequency (EHF). Dichas ondas recibieron este nombre por parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, y se encuentran entre la banda de súper alta frecuencia y la banda de infrarrojo lejano que también se denomina como la brecha Tera hercio —*terahertz gap*—. Las ondas de radio en esta banda tienen longitudes de onda de diez milímetros a un milímetro.

Sin embargo, en el contexto de la comunicación inalámbrica, el término generalmente corresponde a unas pocas bandas de espectro cerca de 38, 60 y 94 GHz, y más recientemente a una banda entre 70 GHz y 90 GHz (también denominada *E-Band*), que han sido asignadas para la comunicación inalámbrica en el dominio público.

La atenuación por lluvia de los enlaces de radio terrestre depende de diferentes factores como las tasas de lluvia, la polarización de la señal transmitida, la frecuencia y la longitud del trayecto. Por lo tanto, la atenuación por lluvia de microondas y bandas milimétricas será estudiada desde estas perspectivas. El primer paso en esta investigación es determinar la atenuación específica de la lluvia, es decir, atenuación de lluvia por kilómetro en un medio lluvioso. Para ello se implementarán las recomendaciones de UIT Recomendación UIT-R PN.837-17 “Características de la precipitación para establecer modelos de propagación” a partir de datos meteorológicos solicitados al Instituto de Meteorología.

El cálculo preciso de α (atenuación específica) requiere como paso previo obtener la atenuación específica γ_r (dB/km) producida por una precipitación, que se calcula de manera exacta mediante (1), y multiplicar por su espesor, h , en (km). Esta aproximación microscópica al cálculo de α es posible a partir de la obtención de medidas experimentales de $n(D)$ —Diámetro de la gota de lluvia— (García-Rubia et al., s. f.), aun cuando esta tarea requiere de instrumentos de medición especializados, como disdrómetros láser. En Cuba se estima que el diámetro de la gota es de 5 mm.

A partir de mediciones y de forma empírica se encontró que la atenuación A_p no depende de la cantidad de lluvia (lluvia acumulada), sino de la tasa de lluvia: cantidad de agua que cae por unidad de tiempo. A partir de los trabajos realizados por Crane y otros autores se ha determinado que la atenuación sigue una forma

matemática descrita por la ecuación (2.1), donde es la atenuación, k y α son constantes y R es la tasa de lluvia dada en mm/h. La ecuación (2.1) representa el modelo básico de atenuación específica (dB/km),

La atenuación específica (dB / km) de la tasa de lluvia viene dada por (1)

$$\gamma_R = K R_{0.01}^\alpha \quad (1)$$

donde γ_R es atenuación específica, K y α son coeficiente de regresión que se determinan en función de la frecuencia y se obtienen de (2) y (3), puede ser para polarización horizontal y vertical respectivamente.

(2)

$$\log_{10} k = \sum_{j=1}^4 \left\{ a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{b_j} \right)^2 \right] \right\} + m_k \log_{10} f + c_k$$

(3)

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 \left\{ a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] \right\} + m_\alpha \log_{10} f + c_\alpha$$

Donde: f : Frecuencia (GHz)

k : Puede ser k_h o k_v

α : Puede ser α_h o α_v

Las constantes se han a_j , m_k , c_k obtenido mediante el ajuste de curvas a los coeficientes de la ley potencial derivados de cálculos de dispersión. Dichas constantes están definidas para ambas polarizaciones.

Como método de investigación también se utilizó el programa Pathloss Versión 5.1. Este programa está destinado a diseñadores de redes de telecomunicaciones con experiencia y conocimiento sobre la propagación de ondas de radio. Solo está disponible como descarga de Internet. Se requiere un número de serie para descargar e inicializar el programa una vez que se ha instalado. El programa se puede inicializar en línea o mediante la obtención de un código de clave de CTE.

Resultados y discusión

Las tecnologías de las ondas milimétricas (MMW) aparecen como la solución para el futuro diseño de redes LTE y 5G, que exige la disponibilidad de un gran ancho de banda y alta velocidad de datos. Como contrapartida, la pequeña longitud de onda incurre en una limitante en propagación de la señal

que disminuye el alcance de la transmisión (Cedeño y Armando, 2018).

Las ondas milimétricas se propagan únicamente a través de trayectorias de visión directa (LOS). No son reflejadas por la ionosfera ni viajan a lo largo de la Tierra como ondas terrestres de menor frecuencia. A densidades de potencia típicas, son bloqueadas por las paredes de los edificios y sufren una atenuación significativa pasando a través de la vegetación.

Cuba se encuentra en el golfo de México, forma parte del arco de las Antillas delimitando el Atlántico y el mar Caribe entre los 20 y los 23 grados latitud norte y los 75 y los 83 grados longitud oeste. (Tabla 1)

CIUDAD	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)
La Habana	23°08'12"	82°21'32"

Tabla 1. Localización

El clima de Cuba es subtropical húmedo, con dos estaciones climáticas definidas la seca (invierno) de Noviembre a abril y la húmeda (verano) de mayo a octubre. La temperatura media anual es de 24 grados Celsius, la media de invierno es de 20 grados Celsius y en verano 27 grados Celsius (*Centro del Clima Instituto de Meteorología*). En la figura 1 se muestra la distribución de lluvia mensual según los valores medidos por el Instituto de Meteorología.

La primera versión de la Recomendación UIT-R P.837 fue publicada el año 1994 y sigue el concepto desarrollado por Crane (Crane, 1980), que consiste en trazar isogramas que dividen la Tierra en zonas

climatológicas con características diferentes de intensidad de lluvia.

El análisis estadístico para la provincia es realizado teniendo en cuenta la función de distribución acumulativa (CDF) por un periodo de diez años en los datos recopilados por el INSMET. De especial interés es el parámetro R0.01 o intensidad de lluvia que se excede el 0.01% de un año, a partir del cual es posible calcular $g_{0.01}$ en radio enlaces terrestres o satelitales (Recomendación UIT-R P.618-13 (12/2017). A partir de $g_{A0.01}$, es posible estimar g_p para cualquier porcentaje de tiempo $p\%$ y obtener distribuciones estadísticas de atenuación por lluvia.

La tabla 2 muestra la diferencia entre los valores de referencia tomados de la recomendación UIT-R (R-REC-P.837-1) donde se definen las zonas Hidrometeorológicas y los valores resultados de los cálculos de la recomendación de la UIT-R. El fundamento de este modelo se basa en la necesidad de investigar el impacto de realizar predicciones mensuales de R_p (intensidad de lluvia global con un tiempo de integración 1-min) para el diseño de sistemas de radiocomunicaciones y tiene en cuenta 3 suposiciones (Luini et al., 2017):

- Las estadísticas mensuales de R_p , condicionadas a la presencia de lluvia, siguen una ley de distribución del tipo log-normal.
- El parámetro de forma σ_i de la distribución log-normal es independiente del punto geográfico.

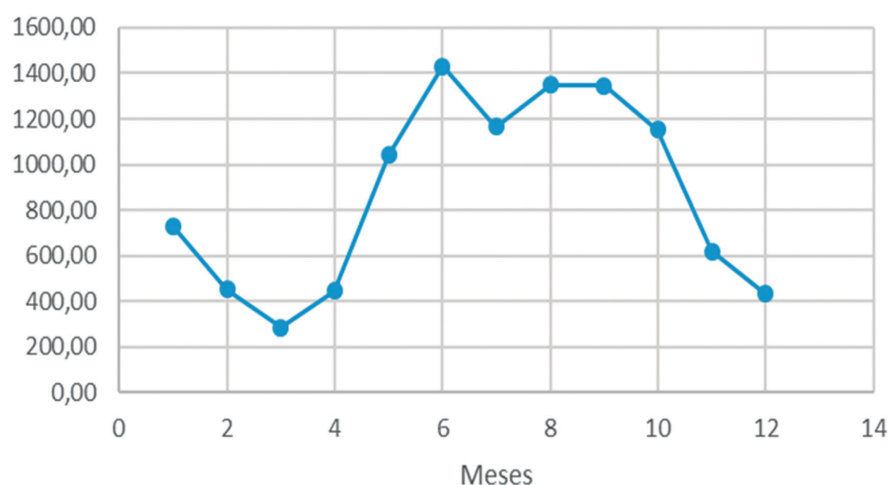


Figura 1. Tasa de distribución de lluvia mensual

- La intensidad media de lluvia condicionada a la presencia de lluvia, (mm/h) depende únicamente de la temperatura media mensual medida a 2 m por encima del nivel de suelo. Esta altura es el estándar recomendado por la WMO —*World Meteorological Organization*— para medidas de temperatura de aire.

Provincia	Zona	R ref (mm/h)	Po (%)	R0.01 (mm/h)
La Habana	N	95	32.41	98.98

Tabla 2. Valores de lluvia según la recomendación de la UIT-R

Este modelo de la UIT-R propone una división en zonas climatológicas y fue desarrollado en base a datos de registros pluviométricos a nivel mundial; sin embargo, su exactitud está limitada por el número de estaciones que utilizó, su ubicación (generalmente se encontraban en el hemisferio norte), la cantidad de años de medida disponibles, y la homogeneidad en la resolución temporal utilizada en la adquisición de las medidas.

La figura 2 muestra las atenuaciones en las diferentes frecuencias para un km para la polarización en las dos polarizaciones.

Se puede observar que la atenuación de lluvia específica para la polarización horizontal es mayor que la polarización vertical por el hecho de que las gotas de lluvia tienen un efecto no esférico con forma aplana en la base; por lo tanto, las ondas polarizadas horizontalmente se atenuaron más que las polarizadas verticalmente.

Se observa un aumento importante de las atenuaciones en la medida que aumentan las frecuencias. Siendo notablemente la banda E la más afectada.

A partir de la ecuación:

$$FSI = 92.44 + \text{Log}10(\text{Distancia (Km)} \times \text{Frecuencia (GHz)})$$

Se pueden obtener los valores de atenuación por espacio libre en este caso específico para la banda E (80 GHz). Los valores están reflejados en las tablas 3 a y b junto con el valor promedio de la atenuación por lluvia tanto en polarización vertical como horizontal.

Atenuaciones	Distancia			
	0.5 KM	1 KM	5 KM	10 Km
Por espacio libre	124.48	130.50	144.48	150.50
Promedio por Lluvia (V)	17.92	35.83	179.15	358.30

Tabla 3 a. Valores de atenuaciones para polarización Vertical

Atenuaciones	Distancia			
	0.5 KM	1 KM	5 KM	10 Km
Por espacio libre	124.48	130.50	144.48	150.50
Promedio por Lluvia (H)	18.82	37.64	188.22	376.44

Tabla 3 b. Valores de atenuaciones para polarización Horizontal

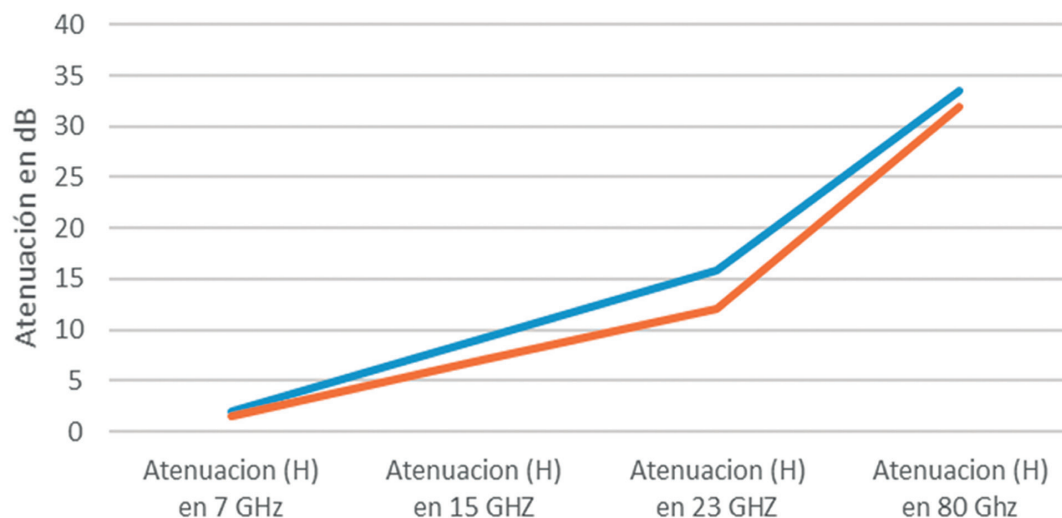


Figura 2. Atenuación en las diferentes frecuencias

En las figuras 4 a y b se observa la relación entre las atenuaciones por espacio libre y por la lluvia según la distancia.

Como se puede observar en las gráficas, la atenuación por lluvia va tomando importancia en la medida que aumenta la distancia.

Modelaje del canal de radio mediante PATHLOSS

Utilizando el software de modelaje del canal de radio PATHLOSS se simuló en cada territorio con el valor de R0.01 obtenido del cálculo y el recomendado por la UIT.

En la tabla 4 se muestran los valores del modelaje en las dos polarizaciones, al igual en la figura 5 se representan dichos valores.

Conclusiones

En este estudio, a partir de los datos obtenidos por las mediciones realizadas por el INSMET se ha podido determinar la distribución acumulada de lluvia por provincia y utilizando la recomendación de la UIT se determinó el valor de la integración de lluvia en un minuto R0.01, con ello se demuestra que La Habana tiene características de zona subtropical.

A partir del valor de integración de lluvia se determinó la disponibilidad de los enlaces obteniéndose que al ser una zona diferente la disponibilidad de los mismos va a ser sustancialmente menor.

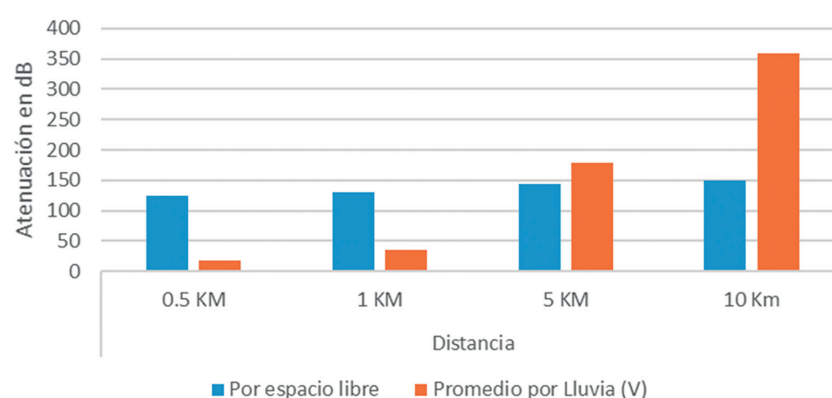


Figura 4 a. Relación entre la atenuación por lluvia y espacio libre para polarización vertical

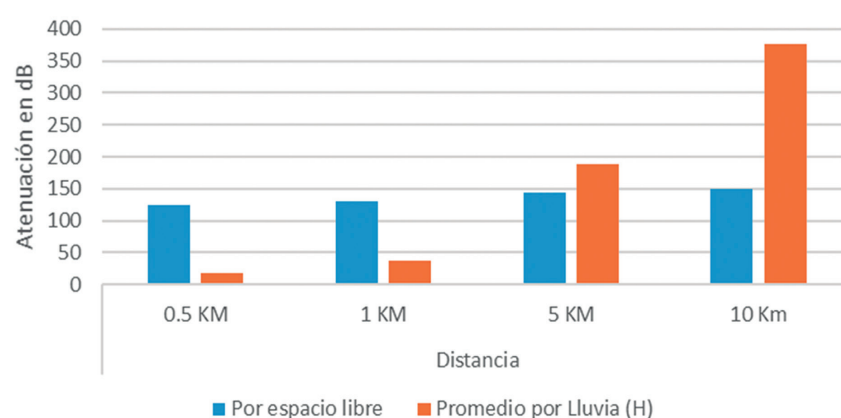


Figura 4 b. Relación entre la atenuación por lluvia y espacio libre para polarización horizontal

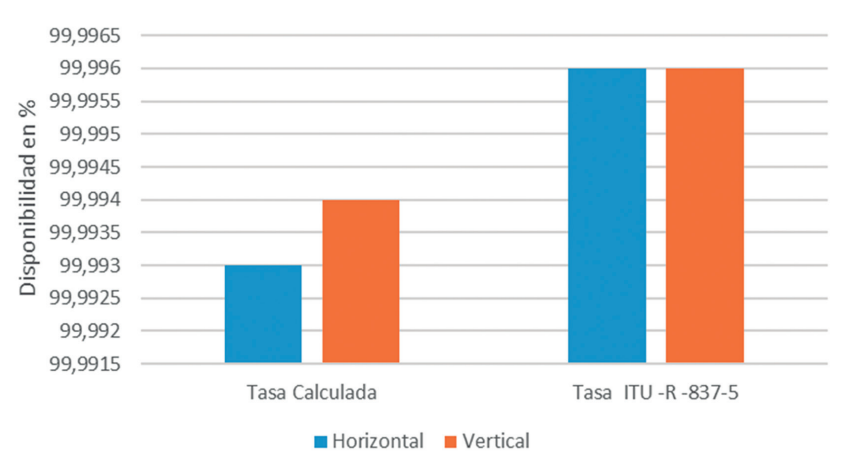


Figura 5. Relación entre la disponibilidad con R0.01 calculada y la recomendada

Polarización	Tasa Calculada	Tasa ITU -R -837-5
Horizontal	99.993	99.996
Vertical	99.994	99.996

Tabla 4. Valores de Disponibilidad

Esto puede ser de utilidad para el diseño de nuevos enlaces en Cuba, permitiendo que sean más óptimos y eficientes.

En la actualidad, para el cálculo y diseño de los enlaces de radio se tienen en cuenta las pérdidas que generan los elementos de la instalación tales como los

cables coaxiales, conectores y protectores y las pérdidas por espacio libre. Al observar los valores de atenuación que provoca la lluvia se vuelve importante tenerla en cuenta a la hora del diseño para definir con mayor precisión el alcance, la estabilidad y la calidad de servicio de los enlaces en las bandas más altas.

Referencias bibliográficas

- Cedeño, M. Z. y Armando, N. (2018) *Caracterización de las ondas milimétricas para determinar su posible aplicación en la Quinta generación de comunicaciones inalámbricas*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Centro del Clima Instituto de Meteorología (s.f.) *El Clima de Cuba. Características generales*. Obtenido de: <http://www.insmet.cu/asp/genesis.asp?TB0=PLANTILLAS&TB1=-CLIMAC&TB2=/clima/ClimaCuba.htm>
- Crane, R. (1980). Prediction of Attenuation by Rain. *IEEE Transactions on Communications*, 28(9), 1717-1733. <https://doi.org/10.1109/TCOM.1980.1094844>
- García-Rubia, J. M., Riera, J. M. y García del Pino, P. (s. f.). Estimation of rain attenuation at millimetre waves from experimental drop size distributions. *IEEE Conference Publication | IEEE Xplore*. Recuperado 26 de agosto de 2021, de <https://ieeexplore.ieee.org/document/5781893>
- Han, C., Duan, S., y Bi, Y. (2018). Rain Rate Retrieval from Millimeter-Wave Propagation Measurements in China. *2018 2nd URSI Atlantic Radio Science Meeting (AT-RASC)*, 1-1. <https://doi.org/10.23919/URSI-AT-RASC.2018.8471362>
- Luini, L., Emiliani, L., Boulanger, X., Riva, C., y Jeannin, N. (2017). Rainfall Rate Prediction for Propagation Applications: Model Performance at Regional Level Over Ireland. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 65(11), 6185-6189. <https://doi.org/10.1109/TAP.2017.2754448>
- Pathloss 5(s.f.) *Where to begin*. PathlossWiki.htm.
- UIT-R-REC-P.837-1, Recomendación. *Características de la precipitación para establecer Modelos de propagación*.
- UIT-R-REC-P.618-11, Recomendación (2013) *Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio*.
- UIT-R P.530-17, Recomendación (12/2017). *Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrestres con visibilidad directa*. UIT, 65.
- UIT-R P.618-13, Recomendación (12/2017). *Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio*. 31.

