

## LA REFRACTIVIDAD DE LA TROPOSFERA Y EL RADIO FICTICIO DE LA TIERRA EN CUBA

José Rafael Sandianes Gálvez<sup>1</sup>, Lányer Pérez Garlobo<sup>2</sup>, Rafael Galindo Mier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Ave 114 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba, <sup>2</sup>Instituto Técnico Militar José Martí, ITM, calle 66-A y 45, Marianao, La Habana, Cuba, <sup>3</sup>Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones. LACETEL, Ave. 1ro de Mayo esquina a Ave. Boyeros. La Habana, Cuba.

[sandianes@tele.cujae.edu.cu](mailto:sandianes@tele.cujae.edu.cu),

[Yamarisangola@gmail.com](mailto:Yamarisangola@gmail.com),

[galindo@lacetel.cu](mailto:galindo@lacetel.cu)

### RESUMEN

Los cambios del índice de refracción en la troposfera debido a las variaciones con la altura de la temperatura, humedad y presión del vapor de agua, dan lugar a la refracción de las ondas de radio. Para tener en cuenta en las expresiones de cálculo del campo eléctrico la curvatura del rayo refractado, es tradicional emplear un radio ficticio de la Tierra  $a_e$  en vez de su radio real, en las bandas del espectro radioeléctrico. En Cuba es común tomar como radio ficticio de la Tierra 8500 km (4/3 de su radio promedio real) al determinar los cálculos de diferentes servicios de radio: coberturas del servicio móvil terrestre, en las líneas de radio enlace y en el alcance de las estaciones de radar. El objetivo del artículo es mostrar, sobre la base de los datos y mediciones existentes, la importancia de emplear el valor real necesario de  $a_e$  en nuestro país. Se concluye que, debido a las condiciones meteorológicas específicas de Cuba y del Caribe, se debe emplear un valor que en promedio es mayor que 8500 km, tanto en los trayectos sobre tierra, como sobre el mar. Como parte del objetivo planteado se proponen otros valores de  $a_e$  medio mensual y anual, pero diferenciados, en lo posible, según la región del país o del mar. Como resultado, la distancia máxima de visibilidad directa, la intensidad del campo eléctrico recibido y otros parámetros radiotécnicos se incrementan, lo cual es de interés en los proyectos que se encuentren en análisis.

**PALABRAS CLAVES:** radio ficticio de la Tierra, coíndice de refracción, gradiente del coíndice de refracción

### TROPOSPHERE REFRACTIVITY AND FICTITIOUS EARTH RADIO IN CUBA

#### ABSTRACT

The variation in refraction index in the troposphere as a consequence of variation in temperature, humidity and pressure with height, determines radio waves refraction. For taking on account this effect, traditionally, has been employed a fictitious radio term of the Earth  $a_e$  instead of the real radio during calculation of electric field in the frequency bands of the radio electric spectrum. In Cuba is a usual practice use  $a_e$  of 8500 km (4/3 of the real radius of the Earth) during determination of calculations of different radio services: in the case of coverage, in radio relay links and in the range of radar stations. The objective of this article is to show, on the basis of existing data and measurements, the importance of using the necessary real value of  $a_e$  in our country. In this way, it is concluded that, due to the specific meteorological conditions of Cuba and of the Caribbean, an average value should be used, which in general is greater than 4/3, both in the routes over land and over the sea. As part of the proposed objective, other fictitious values of radii of monthly and annual average of  $a_e$  are proposed, but differentiated, as far as possible, according to the region of the country or the sea. As a result of the proposal, the maximum line-of-sight distance, the intensity of the electric field received and other radio technical parameters are increased, which is of interest in the projects which are being analyzed.

**INDEX TERMS:** Earth fictitious radio, refraction index, refraction index gradient

#### 1. INTRODUCCIÓN

Durante muchos años ha sido práctica frecuente en nuestro país realizar el cálculo de la intensidad del campo eléctrico con un radio ficticio (equivalente) de la Tierra  $a_e$  de 8500 km en: los radio enlaces punto a punto (RE), en las

radiolíneas del servicio móvil terrestre (SMT) o de otros servicios. El uso de este valor de  $a_e$  es tradicional en los países de clima templado continental debido a que las características meteorológicas de esos climas son semejantes a las de la *Atmósfera Normalizada Internacional* (estándar) definida en 1925 por la Comisión Internacional de Aeronavegación [1, 2]. Esta atmósfera es definida para ciertos niveles de temperatura absoluta  $T$  (288 °K), de presión  $p$  del aire seco (1013 hPA) y del vapor de agua  $e$  (presión de vapor absoluta con 60% de humedad relativa) al nivel del mar, así como para valores específicos del gradiente vertical de estos parámetros meteorológicos. La atmósfera normalizada ha sido adoptada como referencia por el antiguo Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR) y, en la actualidad, por la Unión Internacional de Comunicaciones (UIT) para todos los países.

Existen múltiples evidencias de que el valor de 8500 km, en nuestro país y en el área del Caribe, no es el más adecuado. Lo expresado se debe a las condiciones meteorológicas particulares de esta región, en la que se obtienen gradientes ( $dn_r/dh$ ) muchos mayores del *índice de refracción*  $n_r$ , medidos en el primer kilómetro o en los primeros cientos de metros de altura (generalmente 100 m), respecto a los que se obtienen regularmente en los países de clima templado.

En el presente artículo se propone emplear en nuestro país valores medios de  $a_e$  superiores al indicado anteriormente y, más aún, diferenciar esos valores medios para diferentes regiones del país y para el mar. La propuesta tiene antecedentes publicados por Gray en 1961 [3], para todo el Caribe, en enlaces transhorizonte sobre el mar y sobre tierra firme, pero con valores que no coinciden con los determinados en el país, los cuales constituyen, junto con la proposición, un aspecto novedoso.

En lo que sigue se trata, en el apartado 2 y de forma sintética, los principales aspectos que afectan la refractividad en la troposfera junto con las principales expresiones del índice de refracción en ella. Posteriormente, en el apartado 3, y para relacionarlo con los parámetros de la refractividad, se recuerda el sentido del concepto de radio ficticio de la Tierra  $a_e$  de acuerdo con la definición aceptada por la UIT y gran cantidad de autores. Especial importancia en ello adquiere la expresión (14). Finalmente, en el apartado 4, se ha intentado hacer un resumen de lo conocido de las principales investigaciones realizadas en Cuba y en el Caribe, y se hacen propuestas del radio ficticio medio en diferentes regiones del país en localizaciones sobre tierra y sobre el mar.

## 2. PRINCIPALES PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA TROPOSFERA

La troposfera es la capa inferior de la atmósfera y puede considerarse un dieléctrico de permitividad  $\epsilon_t$  formada por la mezcla del aire seco y del vapor de agua presente en la misma. En ella los rayos son curvos, lo cual se debe a la refracción sucesiva que experimentan las ondas de radio. Esto ocurre porque el índice de refracción es una función de: la presión  $p$  (en hectoPascuales, hPA), la temperatura absoluta  $T$  (en K) y la humedad absoluta  $e$  (hPA), factores estos que a la vez cambian con la altura  $h$ . A veces la humedad relativa se expresa en por ciento.

Sobre la superficie terrestre ( $h = 0$ ), el índice de refracción  $n_t$  es prácticamente igual a la unidad, por ejemplo, en una atmósfera normalizada:  $n_t = 1.000325$ , por lo que es más conveniente referirse al coíndice de refracción  $N$ , el cual se define como:

$$N = (n_t - 1) \cdot 10^6 \quad \text{unidades } N \quad (1)$$

y este se relaciona con los parámetros meteorológicos por:

$$N = \frac{77.6}{T} \left( p + 4810 \frac{e}{T} \right) \quad \text{unidades } N \quad (2)$$

donde  $p$ ,  $e$  y  $T$  han sido definidos anteriormente. La expresión (2) es una aproximación, según la UIT [4], que tiene solo un error de 0.02% respecto a la fórmula más exacta.

Referida a la altura  $h$ , la dependencia del valor medio de  $n_t$  puede ser expresada por [4,5]:

$$n_t(h) = 1 + N_o \cdot 10^{-6} \cdot \exp\left(-h/h_o\right) \quad (3)$$

siendo:  $N_o$  es el valor promedio de la refractividad al nivel del mar ( $h = 0$ ), y  $h_o$ — factor de escala de alturas (km).

Los valores  $N_0$  y  $h_0$  pueden ser determinados estadísticamente para cada altura, pero, como valores de referencia, se pueden tomar los valores medio de:  $n_t$ ,  $N_0$  y  $h_0$  dados por:  $N_0 = 315$  y  $h_0 = 7.35$  km. A partir de (1) y (3) se puede deducir el perfil de referencia con la altura para  $N$ :

$$N = N_0 \exp\left(-h/h_0\right) \tag{4}$$

En la superficie de la tierra se identifica a  $N$  como  $N_s$ . Para el valor de  $n_t$  dado en los párrafos anteriores el valor de  $N_s$  es de 325 unidades.

El perfil de referencia de  $N_s$  a partir de  $N_0$  se describe por una ley exponencial [4-6]:

$$N_s = N_0 \cdot \exp\left(-h_s/h_0\right) \tag{5}$$

siendo  $h_s$  el valor de la altura del terreno sobre el nivel del mar y,  $N_0 = N_s(0)$ . La UIT, en su Recomendación 453 [4], proporciona mapas mundiales de  $N_0$  para diferentes meses. Ejemplo de ello se muestra en la Fig.1. para el mes de Agosto.

Valores medio mensuales de  $N_0$ : Agosto

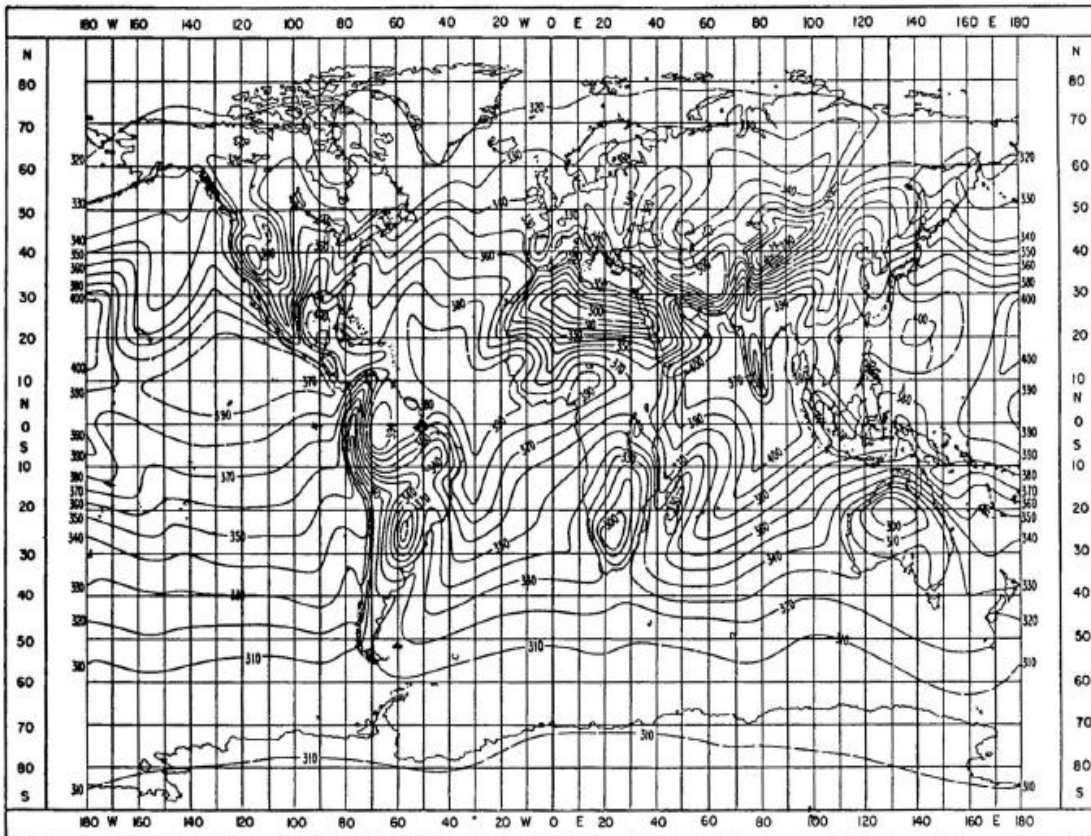


Figura 1: Valores medio mensuales de  $N_0$  para el mes de Agosto [4]

Para la refracción estándar, el índice y el cóndice  $N_s$  se expresan, al tomar  $h_0 = 7.35$  km por:

$$n_t = 1 + 315 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-0.136 h) \tag{6}$$

Y

$$N_s = 315 \exp(-0.136 h) \quad (7)$$

En la práctica, para alturas de hasta unos 2 km, se aproxima la atmósfera de referencia mediante una ley lineal como [7]:

$$N = N_s(1 - 0.136 h) ; \quad \Delta N = -0.136 N_s \quad (8)$$

N y  $N_s$  experimentan variaciones regulares y aleatorias [8]. Las regulares están determinadas por los cambios de los parámetros meteorológicos con: la altura, la estación del año y la región geográfica. Los procesos aleatorios, no regulares, se deben a los movimientos turbulentos de las capas de aire que dan lugar a otros modos de propagación y a ciertos tipos de desvanecimientos. De esta forma, las características temporales y espaciales de  $n_t$  o de N, pueden obtenerse sólo como resultado de promediar múltiples mediciones de los gradientes de temperatura, presión y humedad en períodos anuales, mensuales u otros. Es precisamente la determinación de estos gradientes lo que ha sido objeto de investigación en diferentes localidades, épocas del año, días y horas en diferentes regiones. Otro caso, en la región del Caribe, es el nuestro donde es muy importante diferenciar entre la tierra y el mar, con una gran cantidad de mediciones de estos gradientes en los intervalos señalados y para diferentes alturas.

La estadística del gradiente vertical de N en las capas inferiores de la atmósfera es un parámetro importante para la estimación de una serie de efectos como: el sector de espacio liberado de las zonas de Fresnel en los trayectos de radio por visibilidad directa, por ejemplo, en las estaciones de radio enlace; la determinación de los “ductos” en trayectos transhorizonte; la reflexión en la superficie del terreno, en particular el mar; el desvanecimiento por multitrayectos y otros que ocurren en los radares y las radiocomunicaciones.

Precisamente, la relación (8) nos da la posibilidad de una determinación clara de las estadísticas o del cambio de refractividad en las capas inferiores de la troposfera. Esto se expresa para [4]:

- El primer kilómetro de la atmósfera por:  $\Delta N_1 = N_s - N_1$ , donde  $N_1$  es el valor del índice a la altura de 1 km sobre la superficie de la Tierra.
- Los primeros 100 m por:  $dN = N_s - dN_1$ , donde  $dN_1$  es el valor de N hallado dentro de los primeros 100m, cuando  $dN$  es empleado para estimar la probabilidad de ocurrencia de “ductos” por presencia de guías de ondas atmosféricas y las condiciones de multitrayectos.

Generalmente,  $N(h)$  tiene una ley que se aproxima a la exponencial, pero a causa del pequeño valor del exponente en las capas inferiores de la atmósfera [7], hasta 1-2 km de altura, la función puede aproximarse a una ley lineal, como la expresión referida en (8). Para la atmósfera “estándar” o normalizada, se obtiene que:  $\Delta N = (-4.3 \times 10^{-2}) \text{ m}^{-1}$ , valor que en la práctica se asume como:  $(\Delta N = -4 \times 10^2 = -0.04) \text{ m}^{-1}$ , o  $\Delta N = -40$  unidades por km (N/km). Observe que en el último caso la referencia es por kilómetro -lo que facilita algunas operaciones aritméticas-, cuestión que debe siempre tenerse en cuenta al operar considerando las distancias en km y no metros. Para este caso:  $N = 315$  pues  $n_t = 1.000315$ .

La UIT-R, en base a los datos obtenidos en las estaciones de la red meteorológica mundial, ha confeccionado cartas de curvas de isolíneas del valor medio mensual de  $N_0$  (ver Fig. 1.), en las que se reportan para Cuba un valor mínimo de 360 unidades en el mes de Febrero y de 380 en Agosto [4]. En la misma referencia se muestran curvas de  $\Delta N$ , para las que podemos observar que, sobre Cuba y en el Caribe, la variación anual de este parámetro es:  $\Delta N = -(50 - 60)$  (N/km). Estos datos son ya indicativos que la situación atmosférica y radiotécnica en nuestro país se diferencia notablemente de la situación de los países templados [9].

### 3. RADIO FICTICIO DE LA TIERRA

Un haz radioeléctrico que atraviesa la porción inferior (no ionizada) de la atmósfera experimenta una curvatura debida al gradiente del índice de refracción. Como el índice de refracción varía principalmente con la altitud, por lo general sólo se considera su gradiente vertical. Por ello, la curvatura en un punto está contenida en el plano vertical, y se expresa por:

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{\cos(\phi)}{n_t} \frac{dn_t}{dh} \quad (9)$$

donde -  $\rho$ : radio de curvatura del trayecto del rayo,  
 $n_t$ : índice de refracción de la atmósfera,  
 $dn_t/dh$ : gradiente vertical del índice de refracción,  
 $h$ : altitud del punto por encima de la superficie terrestre,  
 $\phi$ : ángulo del trayecto del rayo con la horizontal en el punto considerado.

La curvatura del rayo se considera positiva cuando se dirige hacia la superficie de la Tierra. El fenómeno es prácticamente independiente de la frecuencia cuando el gradiente no varía significativamente en una distancia igual a la longitud de onda.

Si el trayecto es casi horizontal,  $\phi$  se aproxima a cero y como  $n_t$  es próximo a 1, la expresión (9) puede simplificarse:

$$\frac{1}{\rho} = -\frac{dn_t}{dh} = -\frac{dN}{dh} \cdot 10^{-6} = -\Delta N \cdot 10^{-6} \quad (10)$$

Como se ve, si el gradiente vertical es constante, las trayectorias serán arcos de círculo. Si el perfil de altura de  $N$  es lineal, es decir, si el gradiente del coíndice es constante a lo largo del trayecto del rayo, es posible efectuar una transformación que permita considerar que la propagación es rectilínea. Supóngase que la atmósfera no estuviese presente, los rayos de las ondas de radio viajan en línea recta. Entonces, el radio  $\rho$  de los rayos es infinito y su curvatura relativa, respecto a la terrestre, es  $(1/a)$ , donde:  $a = 6370$  km, es el radio promedio de la Tierra.

Las expresiones del campo de interferencia (entre la onda incidente y la reflejada en el terreno) han sido halladas para rayos rectilíneos, por lo que, para corregir el efecto de la refracción en las mismas, se considera, tradicionalmente, que la Tierra tiene un radio ficticio  $a_e$  en vez de su valor real  $a$ . Con este radio ficticio se debe absorber la curvatura del rayo sin alterar la curvatura relativa entre la Tierra y el rayo:

$$\frac{1}{a_e} = \frac{1}{a} - \frac{1}{\rho} \quad (11)$$

De este modo, la transformación consiste en considerar una Tierra ficticia de un radio efectivo:  $a_e = k_e a$ , siendo  $k_e$ , un factor del radio ficticio de la Tierra, por lo que a partir de (11), se obtiene que:

$$a_e = \frac{a}{1 - a/\rho} \quad (12)$$

Para pequeñas alturas, al suponer una variación lineal de  $N$  y a partir de (10), se obtiene que [1, 7, 8]:

$$a_e = \frac{a}{1 + a\Delta N \cdot 10^{-6}} \quad (13)$$

Al tomar el radio  $a$  en kilómetros, y  $\Delta N$  en (N/km), la expresión (13) se simplifica y se puede determinar  $k_e$  por:

$$k_e = \frac{157}{157 + \Delta N} \quad (14)$$

Por ejemplo, para la refracción estándar:  $\Delta N = -40$  N/km,  $k_e = 1.34 \cong 4/3$ ,  $a_e = 8547 \cong 8500$  km.

#### 4. RADIO FICTICIO DE LA TIERRA EN LA ATMÓSFERA DE CUBA Y EL CARIBE

Por definición de la UIT-R [10,11], nuestro país se encuentra en la región cerca de la frontera del clima tropical, (20° de latitud) y es típica de tierras bajas, por lo que este se puede clasificar como *marítimo subtropical*, el que presenta un valor medio anual de:  $N_s = 370$  unidades. Ya se ha expresado que los mapas de  $N_s$  muestran un valor medio mensual entre 360 y 380 unidades y para:  $\Delta N = -(50 - 60)$  (N/km). Por tanto, se obtiene para este un valor medio anual de:  $a_e = 9825$  km ( $k_e = 1.54$ ) y una variación mensual de  $k_e$  desde 1.467 hasta 1.618, o sea,  $a_e$  se encuentra entre: 9340 a 10306 km. Sin embargo, se debe observar esta cuestión más de cerca con los datos con que se cuenta en nuestro país. Así se tiene que:

- Esta cuestión fue estudiada por Gray [3] y publicada en un artículo en 1961, referido a la propagación por dispersión troposférica a través del mar en la banda de UHF y las condiciones meteorológicas del Caribe. Con varios años de mediciones en 18 líneas transhorizonte en esta región, Gray afirma que las mediciones realizadas *en tierra firme* dan valor de  $k_e$ , aproximado, entre 1.45 y 1.65, lo que confirma lo publicado por la UIT. Por ejemplo, los valores medios mensuales medidos sobre tierra para San Juan, Puerto Rico, están comprendidos entre 1.48 y 1.61. Valores similares se obtienen para la Isla Swan, 640 km al oeste de Jamaica. En Miami, La Florida, se obtienen valores que varían, aproximadamente, entre 1.41 y 1.65.

Sin embargo, en las conclusiones de su artículo Gray afirma que se puede considerar en el Caribe un valor de:  $k_e = 1.7$ , en los trayectos sobre tierra, y de 2.4 sobre el mar, pero en este caso se observan los mayores gradientes de  $N$  en los primeros cientos de metros, respecto a los que se logran cuando se miden en el primer km de altura. Es interesante destacar que este hecho da lugar a que las pérdidas de transmisión en los enlaces troposféricos en la región sean muy inferiores a las que se obtienen en los países templados, hasta, en promedio, 14 dB, con lo que se reducen los niveles necesarios de potencia de transmisión. Esto ha sido confirmado en ciertos ejemplos prácticos como el enlace entre Guanabo (Cuba) y La Florida, actualmente en desuso. Es de señalar que los datos *sobre tierra* de las mediciones obtenidas por Gray y los datos brindados por la UIT concuerdan satisfactoriamente, pero los últimos se apartan un tanto del valor planteado:  $k_e = 1.7$ . El nivel de incertidumbre en esos datos ha requerido que diferentes investigadores hallen el valor de  $k_e$  en nuestro país por vías experimentales.

- Investigadores del Instituto de Geofísica y Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC) publicaron en 1984 un trabajo estadístico [12] de valores experimentales de  $N$  determinados a partir de los perfiles de:  $p$ ,  $e$  y  $T$ , obtenidos de sondeos meteorológicos en La Habana por el Instituto de Meteorología (INSMET) de la ACC, en el primer km de altura. Los datos asequibles abarcan el período: marzo de 1971 hasta diciembre de 1974 (algo más de 3 años), y se agrupan a la misma hora. Del análisis de un histograma de  $\Delta N$  se ha comprobado que la distribución no puede considerarse normal y los valores se encuentran en el intervalo de: (-40 a -80) (N/km). Su valor medio:  $(\overline{\Delta N}_1 = -59.1 \text{ N/km})$ ; el valor mediano  $\Delta N_{1m} = -58.3 \text{ (N/km)}$ ; su dispersión,  $\sigma = 16.0 \text{ (N/km)}$ . De igual modo, para el valor medio de  $a_e = 10215$  ( $k_e = 1.6$ ), y para el valor mediano:  $a_e = 10128$  ( $k_e = 1.59$ ). Ambos valores de  $\Delta N$  son inferiores, -aproximadamente en 15 unidades-, al valor señalado para la atmósfera internacional de referencia o sea ( $\overline{\Delta N}_1 = -40 \text{ N/km}$ ).

Los autores muestran, además, los valores medios mensuales de (N/km) que son: enero, -56.6; febrero, -53.8; marzo, -57.9; abril, -56.6; mayo, -58.3; junio, -62.8; julio, -63.8; agosto, -64.7; septiembre, -63.7; octubre, -56.4; noviembre, -57.4; diciembre, -53.6. Los valores medios mensuales de  $a_e$  oscilan desde: 9690 ( $k_e = 1.52$ ) hasta 10835 ( $k_e = 1.7$ ), incrementándose  $k_e$  en el verano. Los valores tomados de la Recomendación 453-12, pags. 9-11, (-50 para febrero y noviembre; -60 para mayo y agosto) se aproximan a los medidos por estos autores.

En el artículo se valora brevemente, además, a  $\Delta N$  en los primeros 100 m de altura (generalmente se toman los datos entre -50 y -70 como representativos). El valor mediano es de -60 (N/km), ( $k_e = 1.62$ ,  $a_e = 10320$ ), con lo que se obtiene un valor mediano de  $a_e$  ligeramente superior al obtenido para los datos de un km. En conclusión, en los resultados obtenidos por los autores, los valores medios anuales y mensuales se aproximan a los 10000 km para el radio ficticio medio anual y están más alejados del mismo en los meses de verano (agosto).

- En 1985, fueron publicados los datos de una investigación basada en las mediciones de los siguientes datos meteorológicos [13]:

- De superficie, promediados durante 11 años en el Aeropuerto Internacional "José Martí", La Habana;
- En la superficie, promediados durante 1 año en el Aeropuerto de Varadero, Matanzas;
- Obtenidos por los globos sonda en Camagüey en el transcurso de un año.

A partir de estos datos se obtuvo un valor medio anual de:  $(\overline{\Delta N}_1 = -57.9 \text{ N/km})$ , al que le corresponde un radio ficticio:  $a_e = 10090 \text{ km}$  ( $k_e = 1.584$ ). Debe señalarse que en el promedio el mayor peso lo tienen los datos de La Habana y para un período de tiempo superior al señalado en el apartado anterior para este territorio (tres años y medio). Además, la región es una zona cercana a la costa norte de Cuba. No obstante, en los datos hay poca incidencia de la región interior central. A pesar de eso, se propone extender a todo el territorio el valor de 10090 km, inferior al valor medio obtenido.

- Una continuación de los anteriores trabajos fue descrita en 2009 con la defensa de una tesis de doctorado [15]. En la misma se incluye, entre otras cosas, un análisis de la refractividad y del radio ficticio en diferentes épocas del año en nuestro país. Las fuentes de datos empleadas, el lugar y el período fueron:

- Camagüey, en el período 1981 – 1996 (15 años), zona interior de la isla,
- La Habana, en el período 1993-2001 (8 años), zona costa Norte,
- Cienfuegos, en el período 1977-1979 (2 años), zona costa Sur.

Los sondeos se realizan en las horas locales: 19:00, 01:00, 07:00 y 13:00, de las cuales la más común es las 07:00. Sin embargo, la interpolación espacial de los datos no era posible por la escasa cantidad de puntos -los más caracterizados por el INSMET-, por lo que se ha hecho la identificación, por regiones características, basada en la clasificación planteada por la UIT en su Recomendación P452-16 [14], la cual se ha denominado *regionalización*.

A partir de la expresión para hallar  $\Delta N$  y con los gradientes de temperatura, presión y humedad [1, pag. 155], se fundamenta en [15, pag. 56] la conveniencia de definir valores de  $a_e$  medio anuales diferentes en tres regiones escogidas del país: costa Norte, interior y costa Sur (Tabla 1).

Tabla 1: Valores medios de  $\Delta N1$  y  $dN1$ . Valores medios y medianos anuales de  $a_e$  (regiones)

Valores medios del radio ficticio $a_e$ (km) por regiones						
	La Habana (Costa Norte)		Camagüey (interior)		Cienfuegos (Costa. Sur)	
<b>Gradiente medio [15]</b>	$\Delta N1 = -$ <b>60.83</b>	$dN1 = -$ <b>96.93*</b>	$\Delta N1 = -$ <b>54.6</b>	$dN1 = -$ <b>44.8</b>	$\Delta N1 = -$ <b>51.7</b>	$dN1 = -$ <b>40.8</b>
<b><math>a_e</math> mediano</b>	<b>10330</b>	<b>17210</b>	<b>9716</b>	<b>9058</b>	<b>9508</b>	<b>8345</b>
<b><math>a_e</math> medio</b>	<b>10383</b>	<b>16639</b>	<b>9736</b>	<b>8947</b>	<b>9515</b>	<b>8722</b>

\*este dato debe verse con reserva para todas las horas del día y solo es representativo de la data general

Obsérvese en la Tabla 1 (Lányer), en todos los casos, la cercanía entre los valores medios y medianos anuales, lo que ocurre en menor medida para Cienfuegos y La Habana para el gradiente  $dN1$ .

De los resultados presentados por los diferentes autores, se puede realizar un breve resumen comparativo del valor medio del radio ficticio obtenido en tierra para el gradiente a 1 km de altura (Tabla 2):

Tabla 2: Resumen del valor medio de  $a_e$  para  $\Delta N1$

Regiones	La Habana		Camagüey		Cienfuegos	
	$a_e$ (km)	$k_e$	$a_e$ (km)	$k_e$	$a_e$ (km)	$k_e$
<b>Brunet [12]</b>	<b>10215</b>	<b>1.6</b>	-	-	-	-
<b>Stincer [13]</b>	<b>10090</b>	<b>1.584</b>	**	**	-	-
<b>Lányer [15]</b>	<b>10383</b>	<b>1.63</b>	<b>9736</b>	<b>1.5284</b>	<b>9515</b>	<b>1.493</b>

\*\* no se presentan los datos promediados para Camagüey

Se observa en la tabla resumen que hay cierta similitud del radio ficticio medio obtenido por los tres investigadores para La Habana, los que se diferencian sólo en las tres últimas cifras. Por tal motivo se propone provisionalmente para La Habana [9], y más aún para el occidente y costa Norte del país, un valor conservador de:  $a_e = 10000$  km ( $k_e \cong 1.57 \cong 14/9$ ). Este valor, no obstante, es muy superior al de 8500 km ( $k_e \cong 4/3 = 12/9$ ) que por costumbre se emplea en el país. La propuesta permite realizar cálculos de cobertura y de RE más precisos que los actuales. Para las regiones del interior y la costa Sur se proponen los valores de la tabla para Camagüey y Cienfuegos, respectivamente. Estos valores también se alejan del tradicional, pero se ajustan mejor a la región, aunque se puede tomar por defecto para todo el país 10000 km.

Debe señalarse que, el valor medio se aproxima notablemente al valor mediano en casi todos los casos estudiados, lo cual se considera una fortaleza de los resultados; lo mismo ocurre, prácticamente, al evaluar el gradiente tanto para el primer kilómetro de altura como los primeros 100m. No obstante, en este último caso (100m) quedan ciertas cosas no suficientemente explicadas como es el hecho de que los radios ficticios en la costa Norte (Tabla 1) son superiores a los obtenidos para 1 km; sin embargo, ocurre lo contrario cuando se trata de la costa Sur.

Lányer presenta, también, tablas de valores *medios mensuales* en La Habana que se diferencian respecto a los presentados por Brunet en rangos de: 1- 4 (N/km), excepto en los meses de julio y septiembre que es mayor. El rango de  $a_e$  medio que se obtiene es:  $a_e = (9412-12478)$  km, pero se mantiene oscilando alrededor del valor de 10000 km.

- Una situación algo diferente se presenta al valorar los resultados obtenidos sobre el mar. Como se ha expresado en el apartado 1, Gray ha estimado el factor de radio ficticio:  $k_e = 2.4$  sobre el mar (ver en [3], Tabla I),  $a_e = 15288$  km, valor muy significativo. La estimación adecuada de  $k_e$  para nuestro país tiene una gran importancia práctica por su efecto en los RE, las coberturas del SMT y el radar, a través de tierra y más aún sobre el mar. Un ejemplo del último es el caso del RE: Gerona (Isla de la Juventud) - Salón (Pinar del Rio), o los RE con los cayos adyacentes y la Isla. El valor práctico se extiende al alcance de los radares y, en especial los costeros, sobre todo de pequeños objetivos, o los que se disponen a muy bajas alturas. Los alcances en ambos casos se incrementan significativamente, en más de un 21%, respecto a la condición de refracción normal. Sin embargo, los datos existentes muestran incertidumbre sobre el problema, pues, realmente, en cuánto se afecta en nuestras condiciones. El problema ha comenzado a ser abordado por algunos de nuestros investigadores.

- En el año 2012 fue presentado un trabajo [16] sobre el comportamiento de: N,  $k_e$  y  $a_e$ , cerca del mar en base a los datos brindados por la estación meteorológica situada en Cayo Hueso y que son publicados digitalmente por la Universidad de Winsconsin, EUA [17]. Los datos procesados abarcan un período de 38 años de mediciones en dos horarios que se corresponden a las 07:00 y 19:00 hora local y de Cuba. Los datos procesados brindan los valores medianos mensuales de  $a_e$ , los que oscilan entre: 9329 a 10271 km para  $\Delta N1$  durante los 12 meses del año, en ambos horarios, y entre: 7945 a 10042 para  $dN1$ , en los mismos horarios. En los resultados no se aprecia que los radios ficticios alcancen el nivel estimado por Gray, incluso, los valores son prácticamente inferiores a los obtenidos para La Habana por Lányer con  $dN1$  ( $a_e = 16639$  km,  $k_e = 2.61$ ). Estos datos refuerzan la idea que se emplee para el mar, mientras no se obtengan nuevos resultados, el mismo valor ( $a_e = 16639$  km) por defecto. Se destaca que  $k_e$  es cercano al de 2.4 propuesto por Gray, en base a datos en los 100m de altura.

En los diferentes ejemplos presentados se evidencia el valor práctico de emplear en Cuba un radio ficticio superior a los 8500 km, lo cual se fundamenta en las siguientes relaciones:

- La distancia máxima de visibilidad directa  $R_o$  se amplía, lo que se demuestra con (15):

$$R_o = 3.57\sqrt{k_e} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ km} \quad (15)$$

donde:  $h_1$  y  $h_2$ , son las alturas de las antenas respecto al mar del punto transmisor y receptor expresadas en metros.

Para una atmósfera normalizada el primer factor del producto en (15) es igual a 4.12, pero en el caso propuesto es de 4.47, sobre tierra o mar. Por tanto,  $R_o$  se incrementa un 8%, lo que es significativo para la radiolocalización de objetivos a muy bajas alturas o las posibilidades de las líneas de RE. En la actualidad se estudian nuevos métodos de determinación del alcance del radar, la propagación transhorizonte y del SMT basados en nuevos modelos de análisis [6], métodos híbridos [18-20] y determinísticos [21], y que consideran medios refractivos no homogéneos. No obstante, las investigaciones sobre la refractividad en la actualidad es objeto de estudio en todo el mundo [22-26] por lo que se mantiene en vigencia la consideración de esta en la troposfera.

- Otro resultado de interés es el cálculo del campo de interferencia entre antenas. Por ejemplo, al alejarnos más allá de una tierra plana, es muy común emplear la conocida fórmula cuadrática de Vvedenski [1]:

$$E = E_o \cdot \frac{4\pi h_{1p} h_{2p}}{\lambda R} \text{ V/m} \quad (16)$$

donde:  $E_o$  es el campo en el espacio libre;

$h_{1p}$ ,  $h_{2p}$  - son las alturas reducidas (AR), que surgen al considerar la influencia de la esfericidad



de la Tierra en el cálculo del campo, por ejemplo, obtenido en los móviles del SMT.

Como ilustración suponga valores de alturas sobre el nivel del mar de 50 m ( $h_1 = h_2 = 50$  m),  $R_0$  alcanza un valor de 58.3 km cuando  $k_e = 1.333$  y 63.2 km cuando el radio ficticio es 10000 km ( $k_e = 14/9$ ), es decir, se incrementa casi 5 km (cerca de un 8.5%).

Cuando la distancia hasta el punto receptor es  $R < 0.3 R_0$  (Tierra plana) [27], las AR pueden calcularse por:

$$h_{(1,2)p} = h_{1,2} - \frac{R^2}{2a_e} \frac{(h_{1,2})^2}{h_s^2} \quad (17)$$

aquí:  $h_s = h_1 + h_2$ .

Se ha empleado la expresión (17) para ilustrar que al crecer  $a_e$  se incrementan las alturas reducidas (AR):  $h_{(1,2)p}$  y, por tanto, crece el campo por efecto de la refracción. En el ejemplo anterior, con iguales alturas de 50 m y dentro de los límites de tierra plana,  $h_{1p} = 36.7$  m y  $h_{2p} = 38.75$  m, el campo crece cerca de 0.95 dB, lo cual ilustra lo expresado. No obstante, en la profundidad de la región de interferencia, el campo se reduce paulatinamente con la distancia y la reducción de las AR. Por tal motivo, la mayor contribución a ese incremento se manifiesta en los modos de propagación por difracción esférica y por dispersión troposférica. En el último caso, debido a las particularidades del Caribe, las mediciones [3, 9, 16] y los cálculos, muestran un incremento medio de 14 dB para E, respecto al nivel que se obtiene en los países templados.

## 5. CONCLUSIONES

Las condiciones meteorológicas en el área del Caribe, y por consiguiente en Cuba, dan lugar a mayores gradientes en el índice de refracción, particularmente en los primeros cientos de metros de altura respecto a los de 1 km. La consecuencia directa de ello es la ocurrencia de radios ficticios mayores, tanto sobre la tierra como sobre el mar. Se ha mostrado que el empleo del dato: factor de radio ficticio,  $k_e = 4/3$  en nuestro país, en general, no es adecuado, a no ser en condiciones atmosféricas específicas obtenidas para cierta región en tiempo real. Los datos aportados aconsejan tomar sobre tierra los datos mostrados por regiones: en La Habana 10000 km; en la Costa Sur 9515 km y en el interior 9736 km [15]. Por defecto de datos radiotécnicos o meteorológicos, se propone emplear un radio -algo conservador- de 10000 km ( $k_e = 1.57$ ); no obstante, sobre el mar, emplear el valor propuesto por Lányer para la costa Norte ( $a_e = 16639$  km,  $k_e = 2.61$ ), en vez del valor de 8500 km tradicionalmente utilizado.

Las diferencias notables entre los radios ficticios propuestos para el mar y la tierra, tal como fue explicado arriba, se deben a que en el primero ocurren mayores gradientes -sobre todo de humedad- en los primeros 100m de altura. Aunque los datos empleados en Cuba son de posiciones cercanas a las costas, el valor propuesto de  $k_e$  se aproxima bien al hallado por Gray ( $k_e = 2.4$ ) para enlaces que atraviesan el mar, aproximación que se considera una fortaleza más de la propuesta.

Es conveniente continuar las mediciones y los estudios al respecto para precisar más los valores medios mensuales de las diferentes provincias o regiones, y el valor medio anual. En los estudios sobre el mar, son necesarios análisis más puntuales a partir de datos cercanos a nuestras costas, norte y sur. Es de interés científico-técnico realizar investigaciones que implicarían un gran complejo de mediciones meteorológicas y del índice N, que permitan hallar los algoritmos de interpolación de N en objetos situados sobre el mar, en el Estrecho de la Florida, a partir de los datos hallados para nuestras costas y los de Cayo Hueso.

## RECONOCIMIENTOS

Los autores desean reconocer a todos los investigadores que con su trabajo abnegado durante muchos años han realizado los trabajos experimentales que han permitido realizar este análisis sobre la importancia de tomar, en las decisiones de nuestros técnicos e ingenieros, un radio ficticio o niveles de refractividad más acordes a nuestras realidades climatológicas.

## REFERENCIAS

- [1] M. Dolukhanov, Propagation of Radio Waves, MIR Publishers, Moscow, pp.140-150, 1971.
- [2] D. Kerr, Propagation of Short Radio Waves, Massachusetts Technological Institute, Mc.Graw Hill Co., New York, pp.14, 53, 1951.
- [3] R.E. Gray, «Tropospheric scatter propagation and meteorological conditions in the Caribbean», IRE

- Transactions on Antennas and Propagation, pp. 492-496, September 1961.
- [4] UIT-R, Recomendación P453-12. «El índice de refractividad de radio: su fórmula y datos de refractividad», Publicaciones Electrónicas UIT, pp.2-5, 9-11, Génova, Suiza, Sept. 2016.
- [5] P. Holm, «On Geometric Optics Over a Spherical Earth With an Exponential Refraction Index», IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 66, n°. 12, pp. 6580 – 6587, December 2018.
- [6] M. Eslami, M. Nazari y A Ghorbani, «Predicting a Three-Dimensional Radar Coverage Area: Introducing a new method based on propagation of radio waves», IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 58, n°. 1, pp. 28-34, February 2016.
- [7] José M. Hernando Rábanos, Transmisión por Radio, Editora Universitaria Ramón Aceres, pp. 125 - 130, 2008, ISBN-13:978-84-8004-856-9.
- [8] A.I. Kalinin, E.L Cherenkova, Propagación de Ondas y Operación de la Líneas de Radio (en ruso), Edit. Svias, Moscú, pp.108-113, 1971.
- [9] J. R. Sandianes, «Elaboración de un Modelo Estadístico para el Análisis de la Compatibilidad Electromagnética entre Dos Estaciones de Radiolocalización», Tesis Dr C, Instituto Técnico Militar “José Martí”, La Habana, 1985.
- [10] UIT-R, Recomendación P 834-6, «Efectos de la refracción sobre la propagación de las ondas radioeléctricas», Publicaciones Electrónicas UIT, pp.7-8, Génova, Suiza, Sept. 2009.
- [11] UIT-R, Recomendación P 617-3, «Datos de propagación y técnicas de predicción necesarios para el diseño de sistemas de radioenlaces transhorizonte», Publicaciones Electrónicas UIT, pp. 3, Génova, Suiza, 2014.
- [12] M. Martínez Brunet, R. Martín, R. Hourruitiner, «Caracterización preliminar de la refractividad de la troposfera inferior en Cuba», Revista Ciencias de la Tierra y del Espacio, Academia de Ciencias de Cuba, n°. 8, pp. 3-8, 1984.
- [13] A. Castañón, E. A. Pérez Stincer, « La Atmósfera Normalizada Internacional y su diferencia con las condiciones reales de Cuba», Boletín Científico Técnico de la Escuela de Comunicaciones y Tropas Químicas de las FAR (ya desaparecida), año 1, n°. 1, pp. 16-20, 1985.
- [14] UIT-R, Recommendation P 452-16. «Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz”, UIT publications, Geneva, Switzerland, pp. 7, 2015.
- [15] L.Pérez Garlobo, «Caracterización de los parámetros radiometeorológicos de la troposfera que influyen en la propagación de las ondas de radio en Cuba», Tesis Dr C, Instituto Técnico Militar “José Martí”, La Habana, pp.: 53-59; 85-90, 2009.
- [16] A. Ruiz, «Análisis del comportamiento de la refractividad y el campo transhorizonte en el Estrecho de La Florida», Tesis M. Cs, ISPJAE, La Habana, 2012.
- [17] «Sounding Maps», Universidad de Wisconsin, Disponible en Web referencia 2020. [http:// www. .weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html) (accedido 2009, 2020).
- [18] A. V. P. Luiz, M.S. Assis, «A Hybrid Prediction Model for Propagation over Irregular Terrain in the VHF and UHF Bands», IEEE Latin America Transactions, vol. 13, n°. 9, pp. 2830 – 2836, Dec. 2015, ISSN: 1548-0992.
- [19] F. Akleman, Z. El Ahdab, « An efficient 3D FDTD- PE, Hybrid model for radio wave propagation with near sources obstacles», IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, n°.1, pp. 346 - 357, 2019.
- [20] A. L' Hour, V. Fabro, A. Chebory, J. Sokoloff. «2D Propagation Modeling in Inhomogeneous Refractive Atmosphere Based on Gaussian Beams Part I. Propagation Modeling», IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 67, n°.8, pp. 5477- 5486, 2019.
- [21] L. Azpillicueta, L. C. Vargas, P. López-Iturri, R. Aguirre, F. Falcone, « Characterization of radio wave propagation in vehicular environments through deterministic methods», in IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, San Diego Ca., July 2017, ISSN 1947-1491.
- [22] U. Karabaş, Y. Diouane , R. Douvenot. «On the Use of Adjoint Methods for Refractivity Estimation in the Troposphere», en 2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Copenhagen, Denmark, 2020, pp. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP48036. 2020.9135287.
- [23] M. Abdullah, H. E. Ullah, H. Rasheed ,N. Mufti, «An investigation of the radio refractive conditions in lowest portions of the troposphere near Margalla Hills, Pakistan» 2016 IEEE- APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), Cairns, QLD, 2016, pp. 225-228, doi: 10.1109/APWC,2016.7738162.
- [24] A. Ullah, S. Rehman and N. Mufti. «A survey of different techniques of determining the refractive

- parameters», 2016 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), Cairns, QLD, 2016, pp. 274-277, doi: 10.1109/APWC.2016.7738176.
- [25] M. Dembelov, Y. Bashkuev and V. Melchinov. «Radio Wave Tropospheric Refraction on Different Latitudes of Siberia» 2019 Russian Open Conference on Radio Wave Propagation (RWP), Kazan, Russia, 2019, pp. 376-379, doi: 10.1109/RWP.2019.8810159.
- [26] X. Dong, L. Yang, Q. Zhu, C. Guo, Z. Zhao and L. Lin. "A Method of Retrieving Tropospheric Refractivity Above Ocean Surface using GNSS," 2018 12th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE), Hangzhou, China, 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISAPE.2018.8634353.
- [27] J. Sandianes. «Algoritmos de la Propagación de las Ondas de Radio para Calcular el Alcance de un radar Costero», Monografía-Reporte, Departamento de Telecomunicaciones y Telemática, UTH, 53pp., Julio 2020.

## SOBRE LOS AUTORES

### • José R. Sandianes Gálvez:

Graduado de Ingeniero Eléctrico en Telecomunicaciones en la CUJAE en 1969 y de Doctor en Ciencias Técnicas en el Instituto Técnico Militar “Jose Martí” (ITM) en 1985. Profesor Titular en el ITM desde 1982 y en la actualidad en la Universidad Tecnológica de La Habana (UTH). Se desenvuelve en el campo de la Electrodinámica, la Propagación de las Ondas de Radio y las Antenas. Ha contribuido con diferentes trabajos en proyectos y análisis en estas ramas, en diferentes instituciones ramales y nacionales del país. Ha sido miembro de: los Consejos Científicos del ITM y del MINFAR en diferentes períodos y de la Comisión de Grados Científicos y los Tribunales de Categorías Docente Principales en el ITM. En el año 2000 se le confirió la “Distinción Especial del Ministro de Educación Superior a los Profesores Destacados en las Investigaciones Científicas”. Ha participado y expuesto trabajos en varios eventos nacionales e internacionales como: Fóruns de Ciencia y Técnica Nacionales y Ramales, donde ha obtenido diversos premios; Informática 2005 y varias ediciones de CITTEL. Obtuvo el Premio Anual de la Academia de Ciencias de Cuba en 1999. ORCID: 0000-0003-1391-1236.

### • Lányer Pérez Garlobo:

Graduado como Ingeniero Radioelectrónico en Comunicaciones en el año 2002, y de Doctor en Ciencias Técnicas (ITM) en el 2010. En la actualidad es Profesor Titular desde el 2015 y Profesor e Investigador del ITM, Miembro de su Consejo Científico y de la Comisión de Grados Científicos. Se desenvuelve en el campo de la Electrodinámica y la Propagación de las Ondas de Radio. Ha presentado trabajos en eventos nacionales e internacionales, participando en varias ediciones de CITTEL. Ha alcanzado premios a nivel nacional y ramal por resultados de investigaciones aplicadas a la rama de la Radiopropagación. ORCID: 0000-0001-7911-7807.

### • Rafael Galindo Mier:

Graduado como Ingeniero Eléctrico en la CUJAE en 1968 y de Maestría en Ciencias en 1977, en la especialidad de Telecomunicaciones, en las Universidades CUJAE y Toronto. Evaluador del Proyecto de la Estación Terrena Caribe del Sistema Intersputnik y uno de los proyectistas de la Cadena Nacional de Microondas en 1976. En 1980 fue nombrado Director de Ciencia y Técnica del MINCOM y Constructor Principal por la República de Cuba del Sistema Único de Medios Digitales de Conmutación y Transmisión del COMECOM. Investigador Titular desde 1982. En 1985 fue nombrado Director de Desarrollo del MINCOM. Entre 1982 y 1990 ha sido tutor de múltiples tesis de ingeniería o maestría en ciencias y ha publicado numerosos artículos en telecomunicaciones, estudios empresariales o macroeconomía. Entre 1990 y 2003 fue Director General de la primera compañía celular cubana: CUBACEL. En 1998 fue honrado con la Distinción de Cuadro Destacado del Estado y el Gobierno de la República de Cuba. Entre 2003 y 2011 fue Asesor de los Ministros de Comunicaciones de la República de Cuba. Entre 2010 y 2011, Secretario del Consejo de Dirección del MINCOM. Ha participado como orador en múltiples eventos científicos internacionales y nacionales, relacionados con la UIT, las Naciones Unidas, el Banco Mundial y el COMECOM. Ha obtenido múltiples premios nacionales e internacionales. Actualmente es Investigador Titular del Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones “LACETEL “. ORCID: 0000-0002-5546-3497.

## CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores, ni con ninguna institución a la que cada uno está afiliado, ni con ninguna otra institución. Las opiniones expresadas aquí son únicamente responsabilidad de los autores.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

**José R. Sandianes Gálvez:** Su principal contribución consiste en la conceptualización e idea del artículo, su preparación, escritura y desarrollo, así como la revisión crítica de cada una de las versiones del borrador y la conformación de la versión final a publicar después de su análisis con los otros autores.

**Lányer Pérez Garlobo:** Su principal contribución radica en los programas y datos empírico-experimentales más actualizados que sirvieron de base para la elaboración del artículo. Además, ha contribuido al mismo con su experiencia en la Propagación de Ondas de Radio lo que influyó en la revisión crítica de su primera versión y la aprobación de la versión final.

**Rafael Galindo Mier:** Sus contribuciones principales consisten en el aporte de ideas para la conceptualización del artículo en base a su experiencia en el campo de las Radiocomunicaciones. Contribuyó a la redacción del borrador del artículo con la revisión crítica de la primera versión, así como la aprobación de la versión final.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

