

VARIACION DE LA INTENSIDAD DE LA RADIACION IONIZANTE
ATMOSFERICA CON LA ALTURA SOBRE COSTA RICA

H. MARENCO*
W. FERNANDEZ**

RESUMEN

En este estudio se hace una evaluación de la radiación ionizante atmosférica en Costa Rica. Se discute la variación del campo de radiación ionizante con la altura en la atmósfera inferior y se determinan las contribuciones telúrica y cósmica. Una evaluación de la dosis absorbida en aire (energía liberada en el aire por unidad de masa), a la cual se encuentra expuesta la población de Costa Rica, se hace tomando en cuenta las contribuciones de las diferentes fuentes y su variación con la altitud.

ABSTRACT

In this study an evaluation of the atmospheric ionizing radiation in Costa Rica is made. The variation of the ionizing radiation field with height in the lower atmosphere is discussed and the teluric and cosmic contributions are determined. The results obtained in Costa Rica are compared with similar studies carried out by other authors in middle-latitudes. An evaluation of the absorbed doses in air (energy released in the air per unit mass), to which the Costa Rican population is exposed, is made taking into account the contributions of the different sources and their variation with altitude.

* Departamento de Física, Universidad Nacional, Heredia y Unidad de Radioterapia, Hospital México, CCSS, San José.

** Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, San José.

1. INTRODUCCION

En la atmósfera se encuentra presente una variedad de nucleídos radioactivos procedentes de diversas fuentes que se pueden dividir en dos campos: terrestre y extraterrestre.

La radiación ionizante de origen extraterrestre (rayos cósmicos) está constituida por partículas y cuantos que poseen energías muy elevadas, abarcando desde 10^9 hasta 10^{21} eV. Los rayos cósmicos primarios al interactuar con la atmósfera terrestre dan origen a los rayos cósmicos secundarios, produciendo en esta interacción nucleídos radioactivos que quedan en la atmósfera y que a su vez producen también una cantidad significativa de radiaciones importantes. La mayor parte de los radioisótopos producidos por la radiación cósmica provienen de la interacción de neutrones secundarios de baja energía con los componentes de la atmósfera. Su velocidad de producción es proporcional al flujo de neutrones secundarios que es cerca de cuatro veces mayor en los polos geomagnéticos que en el Ecuador, debido a que los rayos cósmicos primarios están constituidos en su mayor parte por partículas cargadas (Junge, 1963). Existe una capa de máxima producción de radioisótopos que es el producto de la combinación de la disminución en la producción del flujo de neutrones lentos al disminuir la altura y la distribución vertical de la densidad atmosférica. Esta zona de alto flujo neutrónico está entre 12 y 15 Km dependiendo de la latitud. La intensidad de la radiación de origen cósmico en la atmósfera inferior (troposfera) prácticamente no varía con el tiempo; las modulaciones por el período de rotación solar en la radiación cósmica producen variaciones del 1% al nivel del mar y del 10% a 50 km de altitud. Las modulaciones por el ciclo solar de 11 años son efectivas sólo sobre la radiación cósmica de baja energía, menor de 30 GeV (Mejía, 1973).

La radioactividad natural en la troposfera es producida principalmente por sustancias

radioactivas provenientes de la masa sólida del globo terrestre, la cual contiene Uranio 238, Uranio 235 y Torio 232. El Rn²²² (de la serie del Uranio 238) y el Th²²⁰ (de la serie del Torio 232) son los nucleidos radioactivos más importantes por ser gases que emanan del suelo y sub-suelo con vida media relativamente larga y productos de desintegración que también son radioactivos. En general se adhieren a los aerosoles y caen con la lluvia.

Las pruebas de armas nucleares han alterado en forma significativa, y en algunos casos radicalmente, la abundancia relativa de nucleidos radioactivos en la atmósfera. La energía nuclear liberada hasta el acuerdo internacional de suspensión de explosiones nucleares en la atmósfera en 1958 era aproximadamente de 174 megatones (MT) de los cuales 92 MT fueron por fisión y 82 MT por fusión. Como subproductos radioactivos de estas pruebas quedaron en la atmósfera cerca de 4.5 toneladas de productos de fisión (cerca de 49 Kg por megatón). Por otra parte, la producción de Tritio como consecuencia de la fusión se estima en 50 Kg, que es cerca de 5 veces la cantidad de Tritio natural. El carbono 14 es el segundo en importancia y ha alterado el 1% de la abundancia del Carbono 12 natural existente. Debido a esto, en los organismos vivientes la abundancia de Carbono 14 ha aumentado sobre el contenido normal (Arnold y Martell, 1959), lo cual altera significativamente la precisión de la medición de edades por el conocido método del Carbono 14.

La radiación que proviene de la radioactividad atmosférica interactúa con la materia ionizándola en varias formas; para las radiaciones alfa y beta por absorción, y para radiaciones X y gamma hay tres formas de interacción: dispersión Compton (o efecto Compton), efecto fotoeléctrico y producción de pares.

En cualquiera de los casos anteriores, el efecto medible más significativo sobre la materia es la ionización, por lo cual se le denomina radiación ionizante.

La ionización es el fenómeno que sirve como medida de la exposición a la radiación y es la que altera la estructura de los tejidos vivos produciendo diversos efectos que van desde imperceptibles hasta la destrucción total dependiendo de la cantidad de iones producidos.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la variación del campo de radiación ionizante con la altitud en Costa Rica y determinar las contribuciones de origen terrestre y extraterrestre. También tiene como objetivo hacer una evaluación de la dosis (energía depositada por unidad de masa) a que se encuentra expuesta la población de Costa Rica. Un estudio sobre el mismo tema fue realizado por Marengo (1978) quien midió la radiación ionizante ambiental en varias zonas pobladas de Costa Rica, con el objetivo de determinar el grado de exposición a que se encuentra sometida la población. En su estudio, sin embargo, no fue posible determinar las contribuciones de origen cósmico y telúrico al campo de radiación ionizante, lo cual constituye un aspecto importante del presente trabajo. Por otro lado el presente estudio tiene como objetivo principal determinar la variación de la intensidad de la radiación ionizante con la altura mientras que Marengo (1978) consideró principalmente su variación espacial en superficie y los posibles efectos en la población.

2. PROCEDIMIENTO

Los datos fueron obtenidos con un único instrumento tipo Geiger-Mueller, modelo 491, de la compañía Victoreen, con el detector 491-30. La respuesta del detector al espectro energético y la precisión del instrumento han sido discutidas por Marengo (1978).

Las medidas en superficie se hicieron a 1 m sobre el suelo y fueron tomadas para intervalos de 5 minutos. Se comprobó, sin embargo, que pequeñas variaciones en la altura sobre el suelo no producen diferencias significativas, sino solamente la variación aleato

ria esperada.

Se escogieron varios lugares a diferentes altitudes, en los cuales se hicieron mediciones en superficie para determinar la variación de la intensidad del campo de radiación ionizante con la altitud. Con este objetivo se tomaron datos en varios lugares sobre la carretera hacia el Volcán Irazú. También, para complementar el estudio de Marengo (1978), se tomaron datos en algunos lugares que no difieren mucho en altitud. Esto se hizo en las provincias de Heredia y Limón.

Para evaluar las dos componentes principales de la radiación ionizante en la atmósfera, la de origen telúrico y la de origen cósmico, se tomaron datos en dos vuelos en avioneta que se hicieron sobre el Océano Pacífico.

En el primer vuelo, la avioneta se elevó hasta alcanzar una altitud de 12000 pies (3658m), la cual fue la altitud máxima a que se pudo ascender. A partir de esa altitud se empezó a tomar mediciones conforme la avioneta descendía escalonadamente hasta 100 pies (30.5 m) sobre el nivel del mar. Las lecturas fueron hechas para intervalos de 5 minutos. El segundo vuelo se realizó en forma similar, excepto que en este caso se pudo alcanzar una altura máxima de 25000 pies (7622 m) y se tomaron medidas conforme la avioneta descendía hasta aproximadamente 1200 pies (3658 m).

Con los datos obtenidos, se calcularon dos cantidades importantes en relación a las radiaciones ionizantes. Estas son la exposición y la dosis absorbida.

La exposición se define como la carga total de un signo por unidad de masa que es producida en el aire cuando todos los electrones (o positrones) liberados por fotones en un elemento de volumen de aire son completamente recolectados. La unidad de exposición es el Roentgen (R).

La dosis absorbida se define como la energía por unidad de masa depositada por la radiación ionizante en un elemento de volumen de la sustancia irradiada. La unidad de dosis absorbida es el rad (r).

3. RESULTADOS

Los datos tomados en vuelo sobre el Océano Pacífico, a aproximadamente 9° N, se muestran en la Tabla 1 y se encuentran graficados en la Fig. 1. En esta figura también se incluyen, para fines de comparación, los datos tomados por Lowder y Beck (1966) a 50°N. Se observa que sobre 2.8 Km aproximadamente la dosis absorbida en aire a 9°N es ligeramente menor que la obtenida a aproximadamente 50°N, lo cual es consistente con la disminución producida por el campo magnético terrestre. Para alturas menores de 2.8 Km, los valores a 9° N son ligeramente mayores que los valores correspondientes a 50°N. Esto podría, sin embargo, estar relacionado con la retrodispersión en la superficie terrestre y el mar, la cual no ha sido considerada en este trabajo debido a limitaciones técnicas.

En la Fig. 2 se comparan los valores de la dosis absorbida obtenidos con los datos tomados en superficie en lugares que difieren en altitud (perfil 3) con los valores correspondientes obtenidos con los datos tomados en vuelo (perfil 1). Al trazar el perfil 3 se han incluido los datos tomados por los autores sobre la carretera al Volcán Irazú así como otros datos obtenidos por Marengo (1978) en diferentes partes de Costa Rica. Debido a que los datos en vuelo fueron tomados sobre el Océano Pacífico, ellos representan la contribución de origen cósmico, ya que la contribución del océano es insignificante. La diferencia a una misma altitud entre los perfiles 3 y 1 es la contribución de origen telúrico (perfil 2). Esta radiación ionizante telúrica mantiene una relación prácticamente lineal con la altura para el rango de alturas considerado en la Fig. 2. Esta relación se puede expresar como

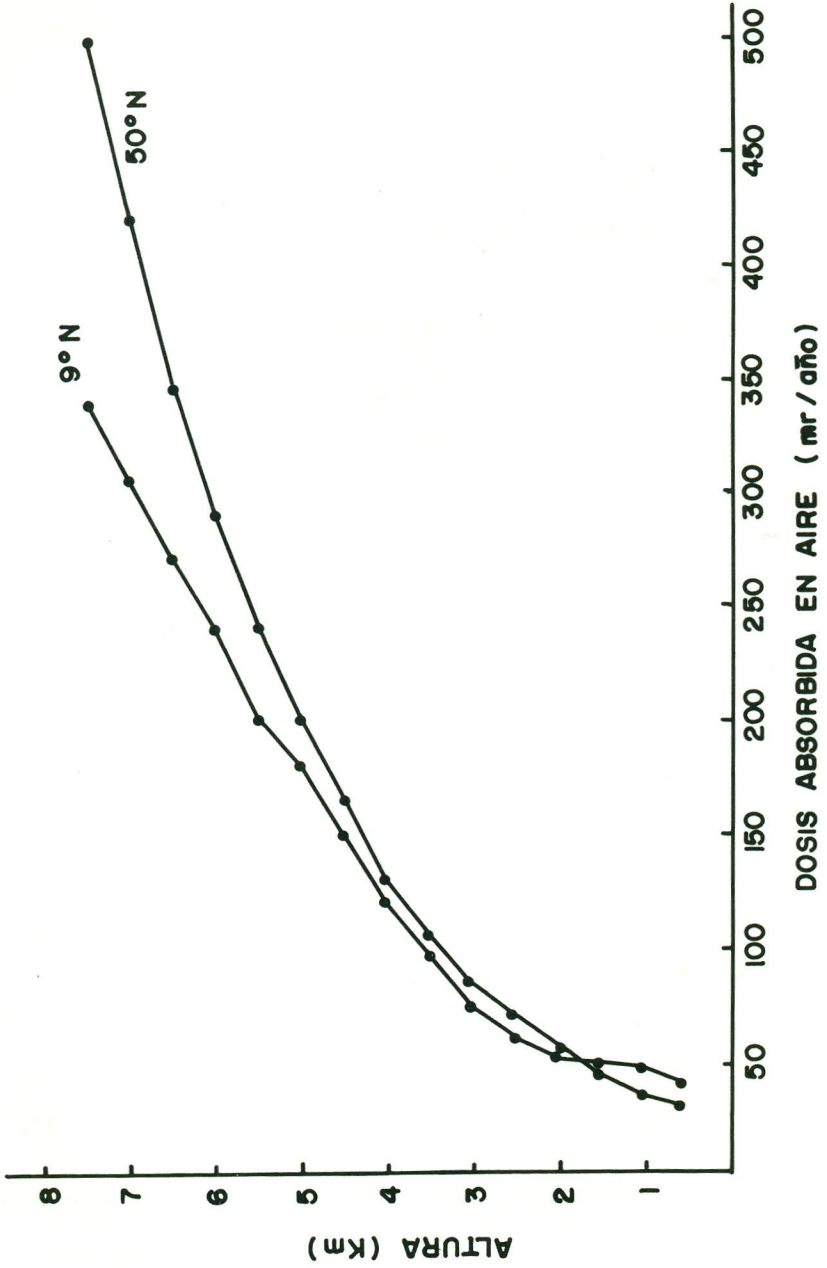
$$DAAT = 22.5 \left(\frac{\text{mr/año}}{\text{Km}} \right) \times h (\text{Km}) + 27.5 (\text{mr/año})$$

TABLA 1

Intensidad del campo de radiación ionizante (cpm), exposición (mR/año) y dosis absorbida en aire (mr/año) contra altura sobre el Océano Pacífico, Costa Rica. En la última columna se incluyen los datos obtenidos por Lowder y Beck (1966) a 50°N

ALTURA (Km)	INTENSIDAD cpm	EXPOSICION mR/año	DOSIS mr/año	DOSIS 50°N mr/año
0.3	6.5	37.5	33	28
0.5	7.5	43.2	38	30
1.0	9.2	53.4	47	35
1.5	9.6	55.7	49	44
2.0	10.2	59.1	52	56
2.5	11.8	68.2	60	68
3.0	14.3	82.9	73	84
3.5	18.6	108.0	95	104
4.0	23.4	136.3	120	130
4.5	29.3	170.0	150	165
5.0	35.2	204.0	180	200
5.5	39.1	227.0	200	240
6.0	47.0	272.7	240	290
6.5	52.9	306.8	270	345
7.0	59.8	347.0	306	420
7.5	66.6	386.0	340	500

NOTA: En el vuelo 1 se tomaron datos desde 3.5 Km hasta 0.3 Km. En el vuelo 2 los datos se tomaron desde 7.5 Km hasta 3.5 Km.



donde DAAT es la dosis absorbida en aire debido a la radiación de origen telúrico y h es la altitud.

El incremento con la altura de la radiación telúrica se podría explicar por el hecho de que conforme incrementa la altitud el grosor de la corteza terrestre (y en general la cantidad de material radioactivo) incrementa. Por otra parte el espesor de los sedimentos de materia orgánica es mayor a menores altitudes; este material es de un contenido de radioactividad menor que la corteza rocosa de la tierra.

En la provincia de Heredia se tomaron mediciones en varios poblados que no difieren mayormente en altitud (Ver Tabla 2). En uno de los casos (Universidad Nacional) se tomaron medidas adentro y afuera de un edificio. Se puede notar que hay una pequeña diferencia en el interior de un edificio y fuera del mismo como lo demuestra el dato de la Universidad Nacional (ver tabla 2). La exposición interior es un poco mayor debido a los materiales de construcción que contienen trozos de elementos radioactivos que producen variaciones detectables del nivel normal de radiación de fondo, y que en ciertos casos deben tomarse en cuenta en el campo de la Protección Radiológica. La variación de los datos en los diferentes poblados de Heredia posiblemente se deba a la pequeña variación en la altitud.

Las mediciones realizadas en la parte costera de la provincia de Limón se muestran en la Tabla 3. Estos valores son similares a aquellos obtenidos por Marengo (1978) en las costas del Pacífico de Costa Rica.

4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este estudio son:

- a. La variación del campo de radiación ionizante atmosférica local depende de la altitud, de tal forma que la exposición en el Valle Central (altitud aproximada de 1000 m) es aproximadamente el doble de la exposición en las playas (ver el perfil 3 de la Fig. 2).

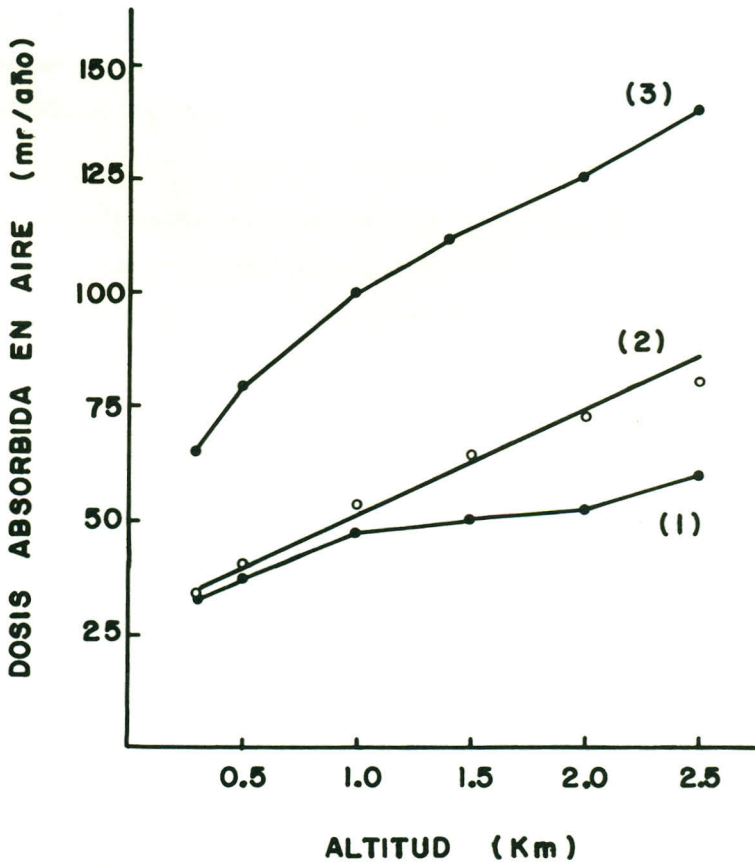


TABLA 2

Intensidad del campo de radiación ionizante en Heredia

LUGAR		LECTURA (c.p.m.)
Heredia - Universidad Nacional:	Interior	20.0
	Exterior	17.7
Heredia	Ciudad	18.2
	San Joaquín	19.0
	Bárbara y Sta. Bárbara	20.8
	San Rafael	19.7
	Concepción y San Isidro	17.5
	Barreal y San Antonio	18.9
	San Pablo, San Francisco	19.6
	San Luis, San Miguel	17.7
	San Josecito, Sta. Elena	17.8
Promedio general en Heredia		18.7
Desviación media cuadrática: 0.96		

TABLA 3

Intensidad del campo de radiación ionizante en Limón

LUGAR	Cuentas en 5 minutos
Parque de Limón	47.6
Moín	47.2
Boca del Río Matina	47.0
Boca del Parismina	44.2
Boca del Estrella	43.0
Cahuíta	43.2

- b. La diferencia entre las componentes de origen cósmico y telúrico es relativamente pequeña a altitudes inferiores de 2.5 Km (ver perfiles 1 y 2 de la Fig. 2).
- c. La dosis debida a la radiación telúrica varía aproximadamente en forma lineal con la altitud, al menos en el rango de 0 a 2.5 Km. La magnitud de la dosis absorbida en aire a diferentes altitudes obedece la relación lineal descrita anteriormente en este trabajo.

Los datos sobre la intensidad total de la radiación ionizante obtenidos en este estudio, así como la determinación que se hizo de la magnitud de las componentes de origen cósmico y telúrico, proveen datos de referencia valiosos para estudios futuros sobre posibles anomalías de origen natural o artificial. La determinación de la proporción relativa de los radionucleidos que producen la radiación ionizante atmosférica en Costa Rica y la razón de las actividades entre ellos debe ser un aspecto importante de otros estudios sobre el mismo tema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dar las gracias al Ministerio de Seguridad Pública por haber facilitado la avioneta para la toma de datos sobre el Océano Pacífico. También están agradecidos con el Instituto Meteorológico Nacional por haber solicitado al Ministerio de Seguridad Pública la ayuda para obtener los datos en vuelo.

REFERENCIAS

- Arnold, J. R. y E.A. Martell, 1959: La circulación de los isótopos radioactivos. En Química y Ecosfera, Selecciones de Scientific American, Ediciones Blume, Madrid, pp.318-329.
- Junge, C., 1963: Air Chemistry and Radioactivity, Academic Press, New York, pp. 208-286.
- Lowder, W.M. y H.L. Beck, 1966: Cosmic ray ionization in the lower atmosphere. J. Geophys Res., 71, 4661-4668.
- Marengo, H., 1978: La radioactividad ambiental en Costa Rica: Exposición de la población a radiaciones ionizantes. Ciencia y Tecnología, 2. 181-195.
- Mejía, G. y C. Aguirre, 1973: La Radiación Cósmica. Monografía No. 9, Serie de Física, O.E.A., Washington, D.C.