

DOSIS DEBIDO AL CONTENIDO DE POLONIO-210 EN PRODUCTOS DEL TABACO

Brígido-Flores, O.¹, Montalván-Estrada,¹ A., Barreras-Caballero, A.² y Fabelo-Bonet, O.¹

¹ Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey,
² Hospital Provincial Docente de Oncología "Marie Curie"

RESUMEN

El consumo de cigarrillos es una de las vías que contribuye significativamente al aumento de la dosis que recibe el hombre, debido a las elevadas concentraciones de polonio-210 (²¹⁰Po) que se encuentran en las hojas de tabaco. Se presentan y discuten los resultados de la determinación del ²¹⁰Po en 11 marcas de cigarrillos y tabacos, que constituyen más del 75% del consumo total de cigarrillos en Cuba. Por otra parte, el contenido de polonio en el humo del cigarrillo, se estimó sobre la base de su actividad en los cigarrillos, filtros, cenizas y en las colillas de los mismos. El ²¹⁰Po se determinó con un detector proporcional de flujo de gas constante después de la deposición espontánea del ²¹⁰Po en un disco de cobre de alta pureza. La dosis equivalente comprometida anual para los pulmones y la dosis efectiva anual para los fumadores de edades comprendidas entre 12-17 años y para adultos se calcularon sobre la base del contenido del ²¹⁰Po inhalado a través del humo de los cigarrillos. Los resultados mostraron concentraciones que oscilan entre 9.3 y 14.4 mBq por cigarrillo con un valor medio de 11.8 ± 0.6 mBq/cigarrillo. Los resultados de este trabajo indican que los fumadores cubanos que consumen una cajetilla (20 cigarrillos) por día inhalan $62-98$ mBq.d⁻¹ de ²¹⁰Po y los fumadores entre 12-17 años que consumen 10 cigarrillos diarios inhalan $30-50$ mBq.d⁻¹ de ²¹⁰Po. La dosis equivalente comprometida promedio a los pulmones se estima en 466 ± 36 y 780 ± 60 μSv.año⁻¹ para los fumadores jóvenes y adultos, respectivamente y la dosis efectiva comprometida anual se calcula en 60 ± 5 y 100 ± 8 μSv para estos dos grupos de fumadores, respectivamente.

1. INTRODUCCIÓN

Casi el 90% de los casos de muerte de cáncer pulmonar se pueden atribuir al acto de fumar, efecto carcinogénico del humo del tabaco que es bien conocido. Cuba tiene una elevada prevalencia de fumadores, aunque el descenso en las últimas dos décadas ha sido notable. Se estimó que en Cuba, en el año 2003 existían 2 263 586 fumadores de 15 años y más. En este año el consumo per cápita en la población cubana de 15 años y más fue de 4745 cigarrillos, o sea 13 cigarrillos diarios [1], cifra que nos califica como un país de fumadores.

El humo del tabaco contiene varios componentes carcinogénicos; una considerable cantidad de componentes químicos tóxicos [2] y diferentes radionúclidos de origen natural [3,4]. De estos, el Polonio-210 (²¹⁰Po) que es un emisor alfa altamente radiotóxico y su precursor Plomo-210 (²¹⁰Pb) se pueden encontrar en concentraciones elevadas [5].

¹ E-mail del Autor. O.Brigido@ciac.cu

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestreo y preparación de las muestras.

En este estudio, las concentraciones de ^{210}Po se determinan para las 11 marcas de cigarrillos y tabacos más comprados, que constituyen más del 75% del total de productos del tabaco consumidos en Cuba. Todos los productos del tabaco fueron colectados durante 1996-2003 en fábricas pertenecientes a la Empresa CUBATABACO y comprados en la red de tiendas minoristas para ventas a la población. Para evitar el uso comercial de nuestros resultados se omiten los nombres comerciales de las marcas analizadas.

Se prepararon muestras de aproximadamente 5 gramos por marca de cigarrillos (tabaco + papel de envoltura) y en el caso de los tabacos se tomaron media unidad. Las muestras fueron secadas a 90 °C, pulverizadas y homogenizadas. En los cigarrillos con filtro se prepararon dos muestras: una formada por el tabaco + el papel de envoltura y otra por el filtro. De igual forma por cada marca de cigarrillo y tabaco se analizó la ceniza y la colilla con la finalidad de estimar el contenido de ^{210}Po en el humo de los productos del tabaco.

2.2 Determinación del ^{210}Po .

El procedimiento empleado para la determinación del ^{210}Po fue desarrollado por Holtzman [14] con pequeñas modificaciones y descrito por Brígido y otros [15,16]. El principio del método radica en la digestión húmeda de 5 gramos de muestra seca con ácido nítrico concentrado (65%) y peróxido de hidrógeno al 30 % en un baño de arena a una temperatura aproximada de 90 °C, posteriormente los nitratos son separados con ácido clorhídrico (HCl) 32 % (los nitratos interfieren en la electrodeposición del polonio, debido a su ataque al metal), el volumen de la solución se ajusta a 100 ml con HCl 0.5M (pH=0.3) y se añaden 300 mg de ácido ascórbico para reducir el ion férrico a ion ferroso.

La electrodeposición del Polonio se realiza en discos de cobre durante 4 horas a una temperatura de 90 °C y agitación constante a 250 rpm [16]. Posteriormente se cuentan las partículas alfa del ^{210}Po contenido en el disco en un contador ALFA-BETA de bajo fondo con detector proporcional con flujo de metano constante y sistema de anticoincidencia con geometría 2π con una eficiencia de registro del 29.4 % para partículas alfa con energías de 5.3 MeV y una tasa de conteo del fondo de 0.015 cpm.

La eficiencia de conteo se determinó empleando una solución estándar de ^{210}Po preparada y medida siguiendo el mismo procedimiento adoptado para las muestras de tabaco; el valor obtenido fue alrededor del 30%. El rendimiento químico del Polonio en las condiciones antes mencionadas (baño de agua a 90 °C, 250 rpm, disco de cobre de 18 mm, y tiempo de deposición de 4 horas) osciló entre el 75 y el 85 % y la actividad mínima detectable (AMD) fue de 0.8 mBq.g⁻¹ para un tiempo de medición de 1500 minutos y 5 gramos de muestra de tabaco (nivel de confianza del 95%) para el sistema de medición y procedimiento radioquímico utilizado en este estudio.

El control de calidad de los análisis se realizó regularmente a través de análisis de muestras de referencia y de muestras “blanco”. Las incertidumbres de los resultados reportados son

evaluadas, considerando solo la estadística de conteo de las muestras con un nivel de confianza del 95%.

2.3 Estimación de la dosis equivalente comprometida y la dosis efectiva anual por incorporación del ^{210}Po .

Para la estimación de las dosis se utilizaron los coeficientes de conversión de dosis equivalente comprometida y dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación por inhalación recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) para los diferentes grupos de edades [21], así como la información sobre los hábitos de consumo de cigarrillos y distribución por edades de la población cubana hasta septiembre del 2012 [22], 7-12 años (850453, 7.62%), y mayor de 17 años (8825676, 79.03%).

Las dosis individuales estimadas a partir de la medición de las muestras se calcularon, para cada grupo de edad, a partir de la expresión [16]:

$$H(E) = C * FCD_H (FCD_E) * U \quad (1)$$

donde: H es la dosis equivalente comprometida y E es la dosis efectiva comprometida en $\mu\text{Sv}\cdot\text{año}^{-1}$; C es la concentración del radionúclido en la muestra en Bq/cigarrillo; FCD_H y FCD_E son los factores de conversión de dosis equivalente comprometida y dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación por inhalación por grupo de edades en $\mu\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$ y U es la tasa media anual de consumo de productos del tabaco en cigarrillos/año (10 cigarrillos por día para individuos entre 12-17 años y 20 cigarrillos diarios para mayores de 17 años; el peso húmedo promedio de un cigarrillo es 0.87 ± 0.03 gramos).

Para la evaluación de la dosis efectiva anual ponderada debido al consumo de productos del tabaco se considera solamente la población mayor de 12 años de edad, debido al resultado de una encuesta que arrojó como individuos fumadores el 19.2 y 31.9 % de la población comprendida entre 12-17 años y mayor de 17 años, respectivamente.

Tabla 1 Factor de conversión de dosis por inhalación para el ^{210}Po .

Rango de edad	FCD_H para pulmones, $\mu\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$	FCD_E , $\mu\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$
12 – 17 años	31	4.0
> 17 años	26	3.3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Contenido de ^{210}Po en los productos del tabaco.

Las Tablas 2 y 3 muestran los valores de concentración de ^{210}Po en los productos del tabaco (cigarrillos y tabaco), así como sus concentraciones en la ceniza y en la colilla después del acto de fumar. En la Tabla 2 se observa que la concentración de ^{210}Po oscila entre 10.8 y

21.9 mBq.g⁻¹ para diferentes marcas de tabaco y cigarrillos. La literatura mundial reporta valores de concentración superiores para productos del tabaco similares, 3.6 - 102.1 mBq.g⁻¹ para el ²¹⁰Po, (Tabla 2).

Tabla 2 Actividad específica del ²¹⁰Po en productos del tabaco cubano en comparación con los de otras regiones.

Muestra	Marca	Concentración, mBq.g ⁻¹		País o región	Ref.
		Presente ² trabajo	Literatura		
Cigarrillo ¹	A	18.0 ± 2.9	19.6 - 32.6	Japón (3 marcas)	[11]
	B	19.2 ± 3.0	14.8	USA	[11]
	C	20.2 ± 3.3	11.1	Cuba	[12]
	D	16.1 ± 3.1	10.4 - 13.0	Finlandia (1978-1979)	[7]
	E	20.8 ± 3.2	12.9 - 19.6	Alemania Federal	[17]
	F	18.2 ± 2.8	15.9 - 17.4	Checoslovaquia	[17]
	G	21.6 ± 2.9	10.9 - 27.4	Brasil (8 marcas)	[9]
	H	21.9 ± 3.9	14.8 - 27.2	Egipto	[5]
Tabaco	I	11.7 ± 2.0	14.4 - 40.3	Japón (4 ciudades)	[11]
			11.5-102.1	Zambia	[17]
			18.1	Sudáfrica	[17]
			7.7 - 56.9	Bulgaria	[17]
	K	10.8 ± 2.0	18.1	USA	[17]
			10.6 - 26.8	Brasil	[18]
			18.1 - 36.5	Europa	[13]
			13.0	Cuba	[13]
Rango (mBq.g ⁻¹): 10.8 - 21.9		Rango (mBq.Cig ⁻¹): 9.3 - 14.3			
Valor medio (mBq.g ⁻¹): 17.6 ± 1.0		Valor medio (mBq.Cig ⁻¹): 11.8 ± 0.6			

¹ Cigarrillos: Tabaco + papel de envoltura.

² La incertidumbre expandida se calcula para un factor de cobertura k= 1.96, con un nivel de confianza de 95%.

En la tabla 3 se aprecia que los filtros (antes de acto de fumar) contienen entre 0.6-1.2 mBq/cig de ²¹⁰Po y después de fumar (colilla) entre 1.3-1.8 mBq/cig para las 6 marcas (A-F) de cigarrillos con filtro analizadas. Estos valores muestran que la eficiencia de los filtros de los cigarrillos para reducir el contenido de ²¹⁰Po en el humo es relativamente baja para todas las marcas, 3.7-6.2% (tabla 4). Estos resultados se corroboran con los estudios realizados por Khater (2004) para marcas de cigarrillos egipcios [5], donde la eficiencia de retención del ²¹⁰Po procedente del humo de los cigarrillos estuvo en el intervalo 4.5-4.7%.

La actividad específica del ²¹⁰Po recuperada en las cenizas de las diferentes marcas de cigarrillos y tabacos osciló entre 11.8 y 30.8%. Esta relativamente baja actividad del ²¹⁰Po en la ceniza se debe a la volatilidad del polonio a la temperatura de quemado del cigarrillo (600-

800 °C). Este polonio se adhiere rápidamente a las partículas del humo y es parcialmente inhalado por los fumadores [19, 25, 27]. Los valores reportados en la tabla 4 muestran que alrededor del 30% del polonio total contenido en los cigarrillos y tabacos fueron retenidos en el filtro y en las cenizas y que aproximadamente el 70% se encuentra en el humo, que es parcialmente inhalado y depositado en los tejidos pulmonares.

Tabla 3 Actividad específica promedio del ^{210}Po en marcas finas y populares de cigarrillos y tabacos cubanos.

Marca de cigarrillos o de tabaco	Concentración de $^{210}\text{Po} \pm 2\text{SD}$, mBq/Cigarrillo			
	Cigarrillos ¹	Filtro	Ceniza	Colilla ²
Marca A (con filtro)	10.7 ± 1.9	0.9 ± 0.2	2.4 ± 0.5	1.3 ± 0.4
Marca B (con filtro)	11.3 ± 1.9	1.2 ± 0.3	3.4 ± 0.7	1.8 ± 0.6
Marca C (con filtro)	12.2 ± 2.2	1.1 ± 0.3	3.0 ± 0.6	1.7 ± 0.6
Marca D (con filtro)	9.6 ± 1.7	1.0 ± 0.2	2.9 ± 0.6	1.6 ± 0.5
Marca E (con filtro)	13.8 ± 1.8	0.6 ± 0.2	3.1 ± 0.6	1.4 ± 0.4
Marca F (con filtro)	12.2 ± 1.7	0.8 ± 0.3	2.1 ± 0.4	1.3 ± 0.5
Marca G (sin filtro)	14.3 ± 2.0	-	4.4 ± 0.7	0.9 ± 0.3
Marca H (sin filtro)	13.9 ± 2.9	-	4.2 ± 0.7	1.1 ± 0.4
Marca I (tabaco)	9.8 ± 1.7	-	2.7 ± 0.6	0.9 ± 0.3
Marca J (tabaco)	12.7 ± 1.8	-	1.8 ± 0.3	1.1 ± 0.4
Marca K (tabaco)	9.3 ± 1.7	-	1.1 ± 0.4	0.8 ± 0.2
Valor medio, mBq/cig	11.8 ± 0.6	0.9 ± 0.2	2.8 ± 0.2	1.3 ± 0.3

¹ Cigarrillos: Tabaco + papel de envoltura.

² Colilla: filtro después de fumar + resto de cigarrillo.

Tabla 4. Actividad específica promedio del ^{210}Po en ceniza más colilla y en el humo de cigarrillos y tabacos.

Marca de cigarrillos o de tabaco	Concentración de Po-210 ± 2SD, mBq/Cigarette			% de ^{210}Po en ceniza	% de ^{210}Po en colilla	% de ^{210}Po en Humo
	Cigarrillos	Ceniza + colilla	Humo			
Marca A (con filtro)	10.7 ± 1.9	2.8 ± 0.7	7.9 ± 2.0	22.4	3.7	73.9
Marca B (con filtro)	11.3 ± 1.9	4.0 ± 1.0	7.3 ± 2.1	30.0	5.3	64.7
Marca C (con filtro)	12.2 ± 2.2	3.6 ± 0.9	8.6 ± 2.4	24.6	4.9	70.5
Marca D (con filtro)	9.6 ± 1.7	3.5 ± 0.8	6.1 ± 1.9	30.1	6.2	63.7
Marca E (con filtro)	13.8 ± 1.8	3.9 ± 0.7	9.9 ± 2.0	22.4	5.8	71.8
Marca F (con filtro)	12.2 ± 1.7	2.6 ± 0.7	9.6 ± 1.8	17.2	4.1	78.7
Marca G (sin filtro)	14.3 ± 2.0	5.3 ± 0.8	9.0 ± 2.1	30.8	6.3	62.9
Marca H (sin filtro)	13.9 ± 2.9	5.2 ± 0.8	8.7 ± 3.0	30.3	7.2	62.5
Marca I (tabaco)	9.8 ± 1.7	3.6 ± 0.7	6.2 ± 1.8	27.7	9.2	63.1
Marca J (tabaco)	12.7 ± 1.8	2.9 ± 0.5	9.8 ± 1.9	14.2	8.7	77.2
Marca K (tabaco)	9.3 ± 1.7	1.9 ± 0.4	7.4 ± 1.8	11.8	8.6	79.6
Valor medio	11.8 ± 0.6	3.6 ± 0.2	8.2 ± 0.6	23.8	6.3	69.9

Tabla 5. Actividad específica promedio del ^{210}Po en el humo de los productos del tabaco e incorporación por inhalación para población con edad entre 12-17 años (consumo de 10 cigarrillos diarios)

Marca de cigarrillos o de tabaco	Actividad del ^{210}Po en el humo e incorporación por inhalación			Dosis efectiva comprometida $\pm 2\text{SD}$, $\mu\text{Sv}\cdot\text{año}^{-1}$	Dosis equivalente comprometida para los pulmones $\pm 2\text{SD}$, $\mu\text{Sv}\cdot\text{año}^{-1}$
	A $\pm 2\text{SD}$, $\text{mBq}\cdot\text{Cig}^{-1}$	I $\pm 2\text{SD}$, $\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$	I $\pm 2\text{SD}$, $\text{Bq}\cdot\text{año}^{-1}$		
Marca A (con filtro)	7.9 \pm 2.0	39.6 \pm 10.2	14,5 \pm 3,7	58 \pm 15	448 \pm 115
Marca B (con filtro)	7.3 \pm 2.1	36.6 \pm 10.6	13,4 \pm 3,9	53 \pm 16	415 \pm 120
Marca C (con filtro)	8.6 \pm 2.4	43.1 \pm 11.9	15,7 \pm 4,3	63 \pm 17	487 \pm 134
Marca D (con filtro)	6.1 \pm 1.9	30.7 \pm 9.3	11,2 \pm 3,4	45 \pm 14	348 \pm 105
Marca E (con filtro)	9.9 \pm 2.0	49.6 \pm 9.8	18,1 \pm 3,6	72 \pm 14	562 \pm 110
Marca F (con filtro)	9.6 \pm 1.8	48.0 \pm 9.1	17,5 \pm 3,3	70 \pm 13	543 \pm 103
Marca G (sin filtro)	9.0 \pm 2.1	45.0 \pm 10.5	16,4 \pm 3,8	66 \pm 15	509 \pm 119
Marca H (sin filtro)	8.7 \pm 3.0	43.3 \pm 14.9	15,8 \pm 5,4	63 \pm 22	490 \pm 169
Marca I (tabaco)	6.2 \pm 1.8	30.8 \pm 9.0	11,2 \pm 3,3	45 \pm 13	348 \pm 102
Marca J (tabaco)	9.8 \pm 1.9	49.0 \pm 9.3	17,9 \pm 3,4	72 \pm 14	554 \pm 105
Marca K (tabaco)	7.4 \pm 1.8	37.0 \pm 8.9	13,5 \pm 3,2	54 \pm 13	419 \pm 101
Valor medio	8.2 \pm 0.6	41.2 \pm 3.1	15,0 \pm 1,1	60 \pm 5	466 \pm 36

3.2 Evaluación dosimétrica

Para la estimación de la dosis que recibe la población por inhalación, se utilizan los valores medios del contenido ^{210}Po en el humo de los productos del tabaco reportados en las Tablas 5 y 6 para los fumadores entre 12-17 años y mayores de 17 años, respectivamente. Teniendo en cuenta el consumo de 10 cigarrillos diarios para los primeros y una 1 caja de cigarrillos diaria para los adultos, suponiendo que el 50 % del ^{210}Po contenido en el humo se inhala durante el acto de fumar [5,9,26]; la incorporación promedio de ^{210}Po por inhalación para los fumadores entre 12-17 años se estima en 41 $\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$ y en 82 $\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$ para los adultos; valores que se encuentran en el intervalo de los reportados por Beninson [23], 60-240 $\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$, Parfenov [8], 50-240 $\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$, Savidou et al. [20], 22-100 $\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$ e inferiores a los reportados Khater [5], 123 $\text{mBq}\cdot\text{d}^{-1}$.

Con los datos anteriores se estima la dosis equivalente comprometida para los pulmones, la que se calcula en el intervalo de 0.35-0.56 $\text{mSv}\cdot\text{año}^{-1}$ con un valor medio de 0.47 $\text{mSv}\cdot\text{año}^{-1}$ para los fumadores entre 12-17 años y en el rango de 0.58-0.94 $\text{mSv}\cdot\text{año}^{-1}$ con un valor medio de 0.78 $\text{mSv}\cdot\text{año}^{-1}$ para los mayores de 17 años, teniendo en cuenta las diferentes marcas de tabaco y cigarrillos cubanos (Tablas 5 y 6).

La dosis equivalente comprometida de la cadena del ^{210}Pb (^{210}Pb - ^{210}Bi - ^{210}Po) para los pulmones depende principalmente de las partículas ALFA altamente energéticas del ^{210}Po . En el equilibrio secular, la contribución de las partículas BETA del ^{210}Pb y ^{210}Bi es solamente el 7.5 % de la contribución del ^{210}Po , [23] y por eso es despreciada en nuestro trabajo. Athalye

et al. [24] reportó valores más elevados de dosis para los pulmones de los fumadores (0.02-1.15 mSv.año⁻¹) debido al consumo de 20 cigarrillos diarios.

Tabla 6. Actividad específica promedio del ²¹⁰Po en el humo de los productos del tabaco e incorporación por inhalación para población adulta (edad > 17 años) (Consumo de 20 cigarrillos diarios)

Marca de cigarrillos o de tabaco	Actividad del ²¹⁰ Po en el humo e incorporación por inhalación			Dosis efectiva Comprometida ± 2SD, μSv.año ⁻¹	Dosis equivalente comprometida para los pulmones ± 2SD, μSv.año ⁻¹
	A ± 2SD, mBq.Cig ⁻¹	I ± 2SD, mBq.d ⁻¹	I ± 2SD, Bq.año ⁻¹		
Marca A (con filtro)	7.9 ± 2.0	79.3 ± 20.3	28.9 ± 7.4	95 ± 25	752 ± 193
Marca B (con filtro)	7.3 ± 2.1	73.3 ± 21.3	26.7 ± 7.8	88 ± 26	695 ± 202
Marca C (con filtro)	8.6 ± 2.4	86.1 ± 23.8	31.4 ± 8.7	104 ± 29	818 ± 226
Marca D (con filtro)	6.1 ± 1.9	61.5 ± 18.5	22.4 ± 6.8	74 ± 22	584 ± 176
Marca E (con filtro)	9.9 ± 2.0	99.3 ± 19.5	36.2 ± 7.1	120 ± 24	942 ± 185
Marca F (con filtro)	9.6 ± 1.8	96.0 ± 18.1	35.0 ± 6.6	116 ± 22	911 ± 172
Marca G (sin filtro)	9.0 ± 2.1	89.9 ± 21.0	32.8 ± 7.7	108 ± 25	853 ± 199
Marca H (sin filtro)	8.7 ± 3.0	86.6 ± 29.8	31.6 ± 10.9	104 ± 36	821 ± 283
Marca I (tabaco)	6.2 ± 1.8	61.6 ± 18.0	22.5 ± 6.6	74 ± 22	584 ± 171
Marca J (tabaco)	9.8 ± 1.9	97.9 ± 18.6	35.8 ± 6.8	118 ± 22	930 ± 176
Marca K (tabaco)	7.4 ± 1.8	74.0 ± 17.8	27.0 ± 6.5	89 ± 21	702 ± 169
Valor medio	8.2 ± 0.6	82.3 ± 6.3	30 ± 2.3	100 ± 8	780 ± 60

La dosis efectiva comprometida promedio recibida por la inhalación de ²¹⁰Po por los fumadores comprendidos entre 12-17 años se estima en 60 μSv.año⁻¹ (45-72 μSv.año⁻¹) y por los adultos (mayores de 17 años) en 100 μSv.año⁻¹ (74-120 μSv.año⁻¹), teniendo en consideración que los primeros consumen como promedio 10 cigarrillos diarios y los adultos 20. Estos valores de dosis efectiva son inferiores a los reportados por Khater [5] para los adultos en Egipto (159-226 μSv.año⁻¹) y esto se fundamenta en las concentraciones inferiores de ²¹⁰Po del tabaco cubano.

En la Tabla 7 se presenta la dosis efectiva anual para estos dos grupos de edades, así como el valor medio ponderado debido a la fracción de estos grupos de edades con relación a la población cubana y al porcentaje de fumadores. De la misma se deriva que la dosis efectiva más elevada corresponde a los individuos mayores de 17 años (100 μSv.año⁻¹), dado por el mayor consumo de cigarrillos diarios de este grupo y que además representan el 79% de la población cubana y el 31.9 % de los fumadores. No obstante, los individuos comprendidos entre 12 y 17 años, que representan sólo el 7.6% de la población (19.2 % de los fumadores), reciben una dosis efectiva anual de 60 μSv. En resumen, la dosis efectiva anual ponderada por la distribución por edades de los fumadores debido al ²¹⁰Po se estima en 26 ± 2 μSv. Estos valores pueden variar en dependencia del número y tamaño de la bocanada por

cigarrillo (hábito de fumar) y de las concentraciones de estos radionúclidos en la parte del humo que se inhala durante el acto de fumar.

Tabla 7. Dosis Efectiva Comprometida por inhalación del ^{210}Po para individuos mayores de 12 años y valor medio ponderado por la distribución de edades de la población cubana.

Grupo de Edad	Dosis Efectiva Comprometida, ($\mu\text{Sv}\cdot\text{año}^{-1}$)	Fracción de la población	% de fumadores
12 - 17	45 – 72 (60 ± 5)	0.0762	19.2*
Mayor de 17	74 – 120 (100 ± 8)	0.7903	31.9*
Dosis Efectiva ponderada por Grupo de Edad, $\mu\text{Sv}\cdot\text{año}^{-1}$	19 – 31 (26 ± 2)	-	-

* significa que el 19.2% y el 31.9% de la población entre 12-17 años y mayor de 17 años, respectivamente consume productos del tabaco.

4. CONCLUSIONES

El tabaco cubano muestra valores de concentración en el intervalo de los reportados en la literatura internacional. La concentración media para el ^{210}Po se calculó en $11.8 \text{ mBq}\cdot\text{cig}^{-1}$ que origina una dosis efectiva anual promedio por inhalación en individuos fumadores entre 12-17 años y adultos de 60 y 100 μSv , respectivamente. Estos valores corresponden a una dosis efectiva ponderada promedio debido a la distribución por edades de los fumadores de $26 \mu\text{Sv}\cdot\text{año}^{-1}$.

5. REFERENCIAS

1. Varona-Pérez, P., Rodríguez, M., Alfonso, K., Bonet, M., García, R.G., Fernández, N., García, R.M., factores asociados a etapas de cambio de comportamiento en fumadores cubanos. *Rev. Panamericana Salud Pública*, **14(2)**, pp.119-124 (2003).
2. Burns, D., "Cigarette and cigarette smoking", *Clin. Chest Med.* **12**, pp.631–642 (1991).
3. Martell, E.A., "Radioactivity of tobacco trichomes and insoluble cigarette smoke particles", *Nature* **249**, pp.215–217 (1974).
4. Martell, E.A., "Radioactivity in cigarette smoke", *N Engl. J. Med.* **307**, pp.309–310 (1982).
5. Khater, A.E.M., "Polonium-210 budget in cigarettes", *J. Environ. Radioactivity* **71**, pp.33–41 (2004).
6. UNITED SCIENTIFIC COMMITTEE ON EFFECTS OF ATOMIC RADIATIONS (UNSCEAR, 2000), "Sources and Risks of Ionizing Radiation. Annex B: Exposure from Natural Sources of Radiation". United States, New York, pp.84-156 (2000).

7. Mussealo-Rauhammaa, H., Jaakkola, T., "Plutonium-239, Plutonium-240 and Polonium-210 contents of tobacco and cigarette smoke", *Health Physic*, **49(2)** pp.296-301 (1985).
8. Parfenov, Y.D., "Polonium-210 in the environment and in the human organism", *Atomic Energy Review*, **12(1)**, pp.75-143 (1974).
9. Peres, A.C., Hiramoto, G., "Evaluation of ^{210}Pb and ^{210}Po in cigarette tobacco produced in Brazil", *J. of Environmental Radioactivity*, **62**, pp.115-119 (2002).
10. Kilthau, G.F., "Cáncer Risk in Relation to Radioactivity in Tobacco", *Radiologic Technology*, **67(3)**, pp.217-222 (1996).
11. Sakanoue, M.; Yamamoto, M.; Kamura, K., "Determination of Environmental Actinide Nuclide and Pb-210 (Po-210) by Low Energy Photon Spectrometry with ALFA-Spectrometry", *J. of Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, **115(1)**, pp.71-82 (1987).
12. Jeréz, V.S.F.; Godoy, J.M., "Polonio-210 en Tabaco Cubano. Marca de Cigarros Monte Cristo", *Memorias del II Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear*, México 22-26, Noviembre 1993, Vol. II 2da. Parte, pp.279-282 (1993).
13. Kelecom, A., Gouvea, R.C.S., "Santos, P.L., Levels of ^{210}Po and ^{210}Pb in cigars", *J. of Radioanal. and Nucl. Chemistry*, **253(1)**, pp.129-133. (2002).
14. Holtzman, R.B., "The determination of ^{210}Pb and ^{210}Po in Biological and Environmental Materials", *J. of Radioanal. and Nucl. Chem., Articles*, **115 (1)**, pp. 59-70 (1987).
15. Brígido, O., Barreras, A., Montalván, A., Alonso, C., Tomás, J., "Exposición de la población cubana debido a la incorporación de Plomo-210 y Polonio-210 a través de la dieta", *Nucleus*, **29**, pp. 23-29 (2000).
16. Centro de Atención a la Actividad Nuclear de Camagüey (CEAAN). Reporte Interno LVRACMW/5428/01/00. Metodología para la Determinación de ^{210}Pb y ^{210}Po en Muestras Biológicas y en Agua, y en Manual de Procedimientos del Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental de Camagüey. LVRACMW/PR/PRA/08/12, (2000).
17. Jandl, J., Petr, I., "Ionizující zření v životním prostředí", SNTL, Praha, pp. 63-74 (1988).
18. Godoy, J.M., Gouvea, V.A., Mello, D.R., Azeredo, A.M.G., " $^{226}\text{Ra}/^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ Equilibrium in Tobacco Leaves", *Radiation Prot. Dosimetry*, **45(1/4)** pp.299-300 (1992).
19. Kovács, T., Somlai, J., Nagy, K., Szeiler, G., " ^{210}Po and ^{210}Pb concentration of cigarettes traded in Hungary and their estimated dose contribution due to smoking", *Radiation Measurement* **42(10)**, pp.1737-1741 (2007).
20. Savidou, A., Kehagia, K., Eleftheriadis, K., "Concentration levels of ^{210}Pb and ^{210}Po in dry tobacco leaves in Greece", *J. Environ. Radioactivity* **85**, pp.94-102 (2006).
21. ICRP, 2012, "Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60". ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.). ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public; Ver. 3.0. Windows setup file named [ICRPDOSE_setup.exe](http://www.icrp.org/page.asp?id=145). (<http://www.icrp.org/page.asp?id=145>).
22. ONEI, 2014. "Informe nacional: Censo de Población y Viviendas, Cuba 2012", p.429, (2014).
23. Beninson, D.J., y Beninson, A., "Dosimetric implications of the exposure to the natural sources of radiation", CEA-CONF-3113, 19p. (1975).
24. Athalye, V.V., V. M. Shah, and K. B. Mistry, "Polonium-210 in Cigarette Smoke". *Indian J. of Environ. Health* **19(1)**, pp.54-62 (1972).
25. Harlow, E.S., "Some comments on temperature profiles throughout cigarettes, cigars, and pipes", *Science* **123**, pp.126-127 (1956).
26. Radford, E., Hunt, V.R., "Polonium-210: a volatile radioelement in cigarette", *Science*, **143**, pp.247-249 (1964).