

INSTITUTO DE ONCOLOGIA Y RADIOBIOLOGIA

Sistema internacional de unidades (SI). Unidades radiológicas

Pcjr el Dr.:

JÓSE MARCO HERNANDEZ*

Marco Hernández, J. *International Unit System (IS). X-rays units.* Rev Cub Med 20: 3, 1981. Cub Med 20: 3, 1981.

Se analiza el estado actual del sistema internacional de unidades en el campo de las unidades radiológicas. Los conceptos y unidades de dosis absorbida, exposición, actividad, dosis equivalente y otras unidades son presentadas en el marco del SI, considerando su evolución histórica. Se plantea emplear una nueva unidad (SI), denominada por el autor *Get* en sustitución del ret, al aplicar el concepto de dosis nominal estándar (NSD). Finalmente se discuten las particularidades y algunas dificultades de la introducción de las nuevas unidades en el trabajo médico con radiaciones ionizantes.

INTRODUCCION

En 1960, la II Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) adoptó un sistema único de unidades para las magnitudes físicas, que recibió el nombre de sistema internacional de unidades (SI). De esta forma se afrontaba un gran problema metrológico internacional, el lograr la unificación de los múltiples sistemas de unidades existentes y la multiplicidad de unidades para una misma magnitud física, las cuales fueron surgiendo con las necesidades lógicas del desarrollo de la ciencia y la tecnología universal. Así pues, la aplicación de este sistema en todos los campos de la actividad humana ha conducido a nuevas unidades derivadas, de aplicación en la radiología de diagnóstico, radioterapia,

medicina nuclear y en toda la radiofísica médica.

Diversos organismos internacionales, tales como el Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), han recomendado a sus estados miembros la adopción del sistema (SI).

En nuestro país, la resolución número 69 del Ministerio de Salud Pública, dictada en 1979, implantó el Sistema Nacional de Normas, Metrología y Control de Calidad (SNNMCC) en todas sus dependencias. Uno de los elementos integrantes del SNNMCC lo constituye el aseguramiento metrológico, es decir, el establecimiento y la utilización de las bases científicas y organizativas, los medios técnicos y las reglas y procedimientos necesarios para alcanzar la uniformidad y precisión requeridas en las mediciones de la economía nacional.

*Especialista en física médica. Jefe del laboratorio de radiobiofísica, IOR.

Por consiguiente, esto determina la introducción paulatina, enérgica y decidida del sistema (SI) en la esfera de la medicina nacional. La adopción y utilización práctica de las nuevas unidades radiológicas requiere una divulgación e información apropiada a todos los interesados.

En 1977, fue dictada por primera vez en nuestro país una conferencia sobre el tema en la Sociedad Cubana de Oncología, Radioterapia y Medicina Nuclear.¹

La utilización de las unidades (SI) para el trabajo con las radiaciones ionizantes también ha sido tratado por el autor en cursos de postgrado y seminarios que ha ofrecido en la Universidad de La Habana y el Instituto de Oncología y Radiobiología. Internacionalmente, diversos artículos y cartas al editor ¹⁰ han sido publicados, analizando, comentando o sugiriendo aspectos relacionados con el sistema (SI). En este trabajo, presentamos el desarrollo de las unidades radiológicas y consideramos el estado actual de las mismas en el marco del sistema internacional de unidades, con el objetivo de contribuir a la familiarización de profesionales y técnicos con la implantación de este sistema.

Características principales del sistema internacional de unidades

El sistema (SI) es universal, por lo tanto, se aplica a todos los campos de la ciencia, la técnica y la economía.

Es un sistema unificado, pues se establece una sola unidad para cada magnitud física. El sistema (SI) es coherente; todas las unidades derivadas en el sistema se obtienen a partir de las unidades base mediante ecuaciones en las cuales los coeficientes de proporcionalidad son siempre la unidad.

Las unidades radiológicas

Los grandes descubrimientos que conmovieron a la física a finales del siglo XIX y principio del siglo XX, con el descubrimiento de los rayos X (*Roentgen*,

1895), la radiactividad (*Becquerel*, 1896), las partículas nucleares, la teoría cuántica entre otros, tuvieron lugar en una época muy distante de aquella en que fue concebido el sistema métrico de unidades. El desarrollo de la ciencia y tecnología de las radiaciones ionizantes, al igual que otros campos, condujo a unidades fuera del sistema métrico.

Unidades de exposición

El paso de los rayos gamma a través del aire, los gases, compuestos orgánicos, los tejidos vivientes y otras sustancias, va acompañado de la formación de partículas cargadas, es decir, fotoelectrones, electrones de Compton, pares electrón-positrón, ionizando los átomos del medio. En 1908, *Villard* propuso determinar la dosis de rayos X midiendo la cantidad de-ionización que se produce en el medio irradiado. Así pues, el roentgen, fue concebido originalmente (*Behnken y Jaeger*, 1924) como una unidad de cantidad de rayos X. En 1928, recibe una primera definición por el Comité Internacional de Estandarización, durante el Segundo Congreso Radiológico de Estocolmo, Suecia. Posteriormente, en 1937, se le define en el Quinto Congreso Internacional de Radiología, celebrado en Chicago, de modo tal que incluyera los rayos gamma. De acuerdo con esta definición, el roentgen es la cantidad de rayos X o gamma que produce, en un centímetro cúbico de aire a CFC de temperatura y presión igual a 760 mm de mercurio, iones de igual signo equivalentes a una unidad electrostática de carga eléctrica. Ahora bien, desde el punto de vista biomédico lo que interesa realmente es la energía depositada en una masa de tejidos, por lo cual en 1953, al ser adoptado en Copenhage el concepto de dosis absorbidas por la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (ICRU), se reconoció la necesidad de un término que designara a la cantidad para la cual el roentgen es la unidad. A tales efectos, en 1956 fue adoptado el término dosis de exposición." Este término no resultó ser satisfactorio, por lo que en 1962 se

adoptó simplemente el de exposición. La cantidad de exposición fue definida como el cociente de la relación entre la suma de las cargas eléctricas de todos los iones de un mismo signo que se producen al detenerse completamente todos los electrones, megatones o positrones, liberados por fotones incidentes en un elemento de volumen de aire, y la masa correspondiente a dicho volumen.

Por consiguiente, el roentgen pasó a ser la unidad de exposición. De acuerdo con lo señalado anteriormente, y dado que la unidad electrostática de carga eléctrica (sistema CGS) es igual a $1/(3 \cdot 10^9)$ coulomb ó $1/(4,8 \cdot 10^{10}) = 2,083 \cdot 10^{-11}$ pares de iones, resultan las siguientes equivalencias:

$$1 R = \frac{1}{3 \cdot 10^9} C \cdot \frac{1}{1,289 \cdot 10^{-6} \text{ kg}}$$

$$1 R = 2,579 \cdot 10^{-1} C \cdot \text{kg}^{-1} \quad 1$$

Igualmente la intensidad de exposición será:

$$1 R \cdot \text{s}^{-1} = 2,579 \cdot 10^{-1} C \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$= 2,579 \cdot 10^{-1} A \cdot \text{kg}^{-1}$$

Así resulta el valor correspondiente al roentgen en unidades del sistema internacional (SI). Por otra parte el roentgen es equivalente a la energía disipada en la formación de $2,083 \cdot 10^{11}$ pares de iones. Dado que se requieren 34 ev para la formación de un par de iones, independientemente de la energía de la radiación primaria ionizante resulta que:

$$1 R = \frac{34 \text{ ev} \cdot 2,083 \cdot 10^{11} \text{ pares de iones}}{1,289 \cdot 10^{-6} \text{ kg}}$$

$$1 R = 5,474 \cdot 10^{16} \text{ ev} \cdot \text{kg}^{-1}$$

En el sistema (SI) la unidad básica para la medida de la energía es el joule (J), sin embargo, se ha permitido utili

zar el electrón volt (ev) por sus características de aplicación en campos muy especializados, como el de la energía nuclear, ahora bien:

$$1 \text{ ev} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 R = 8,769 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \quad 2$$

Se puede observar que la ecuación 1 tiene las dimensiones de carga eléctrica por unidad de masa, mientras que la ecuación 2 tiene dimensiones de energía por unidad de masa. La primera relación deriva de la concepción metrológica pionera de medir la cantidad de radiación midiendo la corriente creada por la formación de electrones secundarios. Las dimensiones de la ecuación 2 son las mismas de la cantidad de dosis absorbida. El cuadro I nos muestra la relación entre las unidades y subunidades de exposición.

Unidades de dosis absorbida

La definición del roentgen restringida a la disipación energética de fotones en aire hace difícil asociarla con los tejidos vivos u otro medio irradiado. Cuando la radiación primaria que provoca la ionización de los tejidos no es radiación electromagnética (X o gamma), entonces la dosis no puede ser expresada en unidades roentgen, esto determinó la introducción de otras unidades.

En 1940, *Mayneord*¹² introdujo el roentgen gramo, equivalente a 83,8 erg disipados en una cantidad no específica de tejidos. En 1944, *A. M. Parker*¹³ propuso

CUADRO I

CONVERSION DE UNIDADES DE EXPOSICION

$$1 R = 0,258 \text{ mC} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$1 \text{ mR} = 0,258 \text{ } \mu\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$1 \text{ } \mu\text{R} = 0,258 \text{ nC} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$1 \text{ C/kg} = 3,876 \text{ R}$$

$$1 \text{ mC} \cdot \text{kg}^{-1} = 3,876 \text{ R}$$

$$1 \text{ } \mu\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} = 3,876 \text{ mR}$$

$$1 \text{ nC} \cdot \text{kg}^{-1} = 3,876 \text{ } \mu\text{R}$$

$$1 R = 0,876 \cdot 10^{-2} \text{ J/kg}$$

el equivalente físico del roentgen (Rep), como la unidad de dosis correspondiente a la absorción de 83 erg/g de tejido. Posteriormente, se estimó más apropiado el valor 93 erg/g y algunos prefirieron incluso 100 erg/g. Considerando la ionización producida por neutrones rápidos, equivalente una unidad electrostática de carga eléctrica por centímetro cúbico de aire, se introdujo la unidad n. La dosis absorbida por 1 n de energía depositada por neutrones rápidos en los tejidos fue calculada como equivalente a 190 erg/g de tejidos. La pasada década ha sido testigo del desarrollo técnico de diversas formas de radiaciones: neutrones, protones, partículas alfa, piones cargados, electrones de alta energía, iones pesados. Estas radiaciones, utilizadas con fines terapéuticos, entre otras aplicaciones, encontraron una unidad común de dosis absorbida, el rad, definida para cualquiera de ellas. El rad es equivalente a 0,01 J/kg. En el sistema (SI) se adoptó el gray (Gy) como unidad de dosis absorbida (cuadro II) en sustitución del rad.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$$

El nombre de esta unidad rinde homenaje a *Luis Harold Gray* (1905-1965) quien realizó una de las contribuciones fundamentales a la dosimetría de las radiaciones ionizantes con el principio de Bragg-Gray. Para estas unidades se tiene la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy} = 1 \text{ Gy}$$

Se debe tener presente que en el sistema (SI), rad es el símbolo de la unidad suplementaria radián para la medida de ángulo plano.

Unidades de actividad

En la medida de la actividad de un radionúclido también se han utilizado varias unidades y definiciones.

Poco después del descubrimiento de la radiactividad natural, se iniciaron las aplicaciones médicas del radium y de

algunos hijos de su familia de desintegración. Las primeras aplicaciones del Ra 226 en la braquiterapia de tumores malignos fueron realizadas tomando como medida de la actividad radiactiva la masa del radium empleado. Es decir, se cuantificó el tratamiento en términos de miligramos de radium, persistiendo hasta muy reciente el empleo de una misma unidad, miligramo de radium o miligramo equivalente, para dos magnitudes diferentes, masa y actividad.

La unidad usualmente empleada en la medida de la actividad de un radionú-

CUADRO II

CONVERSION DE UNIDADES DE DOSIS ABSORBIDA

1 Gy = 100 rad = 0,1 rad = 0,1 krad		
mGy = 0,1 rad		
1 μGy = 0,1 mrad		
Mrad	—»	(SI)
1		10 uGy
5		50 uGy
10		100 uGy
50		500 uGy
100		1 mGy
250		2,5 mGy
500		5 mGy
750		7,5 mGy
950		9,5 mGy
rad	—>	(SI)
1		1 cGy
5		5 cGy
10		10 cGy
20		20 cGy
50		50 cGy
99		99 cGy
100		1 Gy
500		5 Gy
1 000		10 Gy
1 500		15 Gy
2 000		20 Gy
5 000		50 Gy
90 000		90 Gy
100 000		1 kGy
500 000		5 kGy
1 000 000		10 kGy

clido es el curie. En un principio esta unidad estuvo restringida a la familia del rádium.

La primera definición del curie data de 1910, cuando fue definida como la cantidad de radón (0,66 nr a 0°C y 760 mm de Hg) en equilibrio radiactivo con un gramo de rádium. Diversas mediciones experimentales sobre la desintegración absoluta de un gramo de rádium indicaron valores próximos a $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegraciones por segundo. En 1930, la Comisión Internacional del Patrón de Rádium recomendó utilizar este valor como unidad de actividad. La utilización de la unidad curie se generalizó universalmente como medida de la actividad de cualquier radioisótopo.

Sin embargo, la restricción de la definición del curie a la familia del rádium motivó la aparición de otra unidad, el Rutherford (rd). Esta unidad fue propuesta en 1946, por *Condon y Curtis*, para cualquier radioisótopo en el cual la cantidad de desintegraciones sea igual a 10^6 desintegraciones por segundo.

Por esta época, al finalizar la Segunda Guerra Mundial, tan sólo se conocía con exactitud los esquemas de desintegración de unos pocos radionúclidos. El desarrollo posterior de la ciencia nuclear indicó que el número de desintegraciones provenientes de 1 gramo de rádium difería del valor asignado a la unidad curie. Por otra parte, el rápido desarrollo de las aplicaciones de los radioisótopos determinó tomar el curie como unidad de actividad para cualquier elemento radiactivo y desechar el patrón de rádium.

Con la implantación del sistema internacional de unidades, se retiene el concepto de actividad, pero ahora medida en la unidad s^{-1} . Esta unidad, ha recibido el nombre especial de becquerel (Bq), haciendo honor a *Antoine Henri Becquerel* (1852-1908), premio Nobel de Física en 1903, conjuntamente con los esposos Curie (cuadro III). En este caso tenemos:

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1} = \frac{1}{3,7 \cdot 10^{10}} \text{ Ci}$$

$$1 \text{ Bq} = 27,027 \cdot 10^{-12} \text{ Ci}$$

Se trata pues de una unidad de actividad muy pequeña, cuyo orden de magnitud (pCi) es comparable con el de la radioactividad ambiental. El cuadro IV se ha incluido como ejemplo comparati-

CUADRO III

CONVERSION DE UNIDADES DE ACTIVIDAD

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} = 37 \text{ GBq}$			
1 Bq = $2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ci} = 27,03 \text{ pCi} = 1 \text{ S}^{-1}$			
nCi	Bq	Bq	pCi
μCi	kBq	kBq	nCi
mCi	MBq	MBq	μCi
Ci	GBq	GBq	mCi
0,1	3,7	0,1	2,7
0,2	7,4	0,2	5,4
0,3	11,1	0,3	8,1
0,4	14,8	0,4	10,8
0,5	18,5	0,5	13,5
1,0	37	1,0	27
2,0	74	2,0	54
3,0	111	3,0	81
4,0	148	4,0	108
5,0	185	5,0	135
6,0	222	6,0	162
7,0	259	7,0	189
8,0	296	8,0	216
9,0	333	9,0	243
10,0	370	10,0	270
15,0	555	15,0	405
20,0	740	20,0	540
25,0	925	25,0	675
30,0	1110	30,0	810
40,0	1 480	40,0	1 080
50,0	1 850	50,0	1 350
100,0	3 700	100,0	2 700
200,0	7 400	200,0	5 400
300,0	11100	300,0	8100
400,0	14 800	400,0	10 800
500,0	18 500	500,0	13 500

CUADRO IV

CONCENTRACIONES MAXIMAS PERMISIBLES (CMP) EN AIRE

Radioisótopo	kBq/m ³	μCi/cm ³	Semiperíodo de desintegración
Br ⁸²	7,4	2 • 10 ⁻¹	35,34 d
Ca ⁴⁵	1,11	3 • 10 ⁵	165 d
Cs ¹³⁷	0,37	1 • 10 ^{-*}	30 a
Au ¹⁹⁴	7,4	2 • 10 ^{-"}	2,698 d
In ¹¹²	259,0	7 - 10 ⁰	49,0 d
1131	0,693	9. 10 ^{-»}	8,05 d
Mn ⁵⁴	3 700,0	1 • 10 ⁻⁴	303 d
	2,59	7- 10 ^{-*}	46,9 d
(U235	0,0037	1 • 10 ⁻¹⁰	7,1.10* a
Zn ⁶⁵	259,0	7. 10 ⁻⁶	57 m
Na ²⁴	3,7	1. 10 ⁻	14,96 h
Sr ⁹⁰	0,037	1. 10 ⁻⁹	27,7 a
paz	2,59	7. 10 ⁻⁵	14,28 d
Ra ²²⁶	0,001 11	3 • 10 ⁻¹¹	1 602 a
Rn ²²²	3,7	1 • 10 ⁻	3,82 d
Co ⁶⁰	0,693	9. 10 ^{-"}	5,3 a
Fe ⁵⁹	1,85	5* 10 ⁻⁸	45,6 d
Cr ⁵¹	74,0	2 - 10 ⁵	27,8 d

vo de los valores que tienen las concentraciones máximas permisibles de varios radionúclidos en aire, según se exprese en unidades becquerel o en curie.

El SI ha sido criticado por el hecho de emplear dos nombres diferentes para una misma magnitud, el s⁻¹. La medida de frecuencias vibracionales se realiza en unidades hertz (1 Hz = 1s⁻¹). Debe tenerse presente que la frecuencia vibracional no se mide en unidades becquerel, ni la actividad en unidades hertz.

Las técnicas nucleares de diagnóstico médico usualmente emplean actividades de orden de μCi. Por otra parte, un tratamiento radiante intracavitario con C⁶⁰Co o Ra²²⁶ emplea actividades del orden de mCi.

De acuerdo con el cuadro III esto representa un rango de kBq a MBq. Por consiguiente, se requiere una familiarización, tanto con el nombre de la nueva

unidad, como su asociación con los prefijos kilo, mega, giga (cuadro V) y en algunos casos con los nuevos prefijos tera y peta.

Unidades de dosis equivalente

En este caso nos encontramos con una unidad que se utiliza exclusivamente en el campo de la protección radiológica, sin embargo, la característica universal del SI, se extiende al mismo.

Inicialmente la dosis equivalente fue considerada como la cantidad de energía absorbida en los tejidos que es biológicamente equivalente en humanos a 1 roentgen de rayos X o gamma. H. M. Parker, introdujo el equivalente mamífero del roentgen (rem) como unidad para la dosis equivalente. Se trata pues, de la medida de la efectividad biológica de las radiaciones ionizantes. Dado **que** estos efectos son dependientes **de** diversos factores físicos, **tales** como la transferencia lineal **de energía, distribu**

CUADRO V

PREFIJOS (SI)

Prefijos	Símbolo	Múltiplo	Prefijo	Símbolo	Múltiplo
deci	d	10 ⁻¹	deca	da	10 ¹
centi	c	10 ⁻²	hecto	h	10 ²
mili	m	10 ⁻³	kilo	k	10 ³
micro		10 ⁻⁶	mega	M	10 ⁶
nano	n	10 ⁻⁹	giga	G	10 ⁹
pico	p	10 ⁻¹²	tera	T	10 ¹²
femto	f	10 ⁻¹⁵	peta	P	10 ¹⁵
atto	a	10 ⁻¹⁸	exa	E	10 ¹⁸

CUADRO VI DOSIS MAXIMA PERMISIBLE (DMP)

	En unidades Semanal	Mensual	Anual
Cuerpo total (incluyendo gónadas, ojos, médula ósea)	1	4	50
Brazos, manos, pies, tobillos	15	62,5	75
Piel de todo el cuerpo	6,5	25	30
Mujer en edad fértil	0,6	2,5	3
Trabajadores con menos de 18 años y mujeres embarazadas	0,1	0,4	5

ción espacial y temporaria, etc., se definió la dosis equivalente (DE) como el producto de varios factores:

La dosis absorbida (D), el factor de calidad (OF), el factor de distribución (DF) y eventualmente otros factores.

$$DE = D \cdot QF \cdot DF \dots\dots\dots$$

Evidentemente, esta cantidad en virtud de su definición no es medible, dado que resulta del cálculo de factores físicos, radiológicos y administrativos.

La unidad de dosis equivalente tiene la misma dimensión que la unidad de dosis absorbida, es decir, J/kg. En sustitución del rem, la Comisión Internacional de Protección Radiológica propuso la unidad (SI) denominada sievert, en honor a *Niels Bohr* (1879-1962), pionero de la radiofísica médica y la protección radiológica.¹⁴

Para la unidad sievert (Sv) tenemos las siguientes equivalencias:

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

$$1 \text{ mSv} = 0,1 \text{ rem}$$

$$1 \text{ uSv} = 0,1 \text{ mrem}$$

El cuadro VI nos muestra los valores aceptados en protección radiológica para la dosis máxima permisible en unidades milisievert (dosis equivalente) referidos a exposiciones semanales, mensuales y anuales de diversas partes del cuerpo humano.

Dosis nominal estándar (NSD)

En el año 1969, *ICRP*¹⁵ introduce el concepto de dosis nominal estándar para la evaluación de los resultados clínicos obtenidos en radioterapia.

CUADRO VII UNIDADES (SI) RADIOLOGICAS

Cantidad	Unidad (SI)	Símbolo	Equivalente
Dosis absorbida	gray	Gy	100 rad
Intensidad de dosis absorbida	gray por segundo	Gy • s ⁻¹	100 rad • S ⁻¹
Actividad	becquerel	Bq	2,703. 10 ⁻⁶ Ci
Actividad específica	becquerel por kilogramo	Bq • kg ⁻¹	2,703. 10 ⁻¹¹ Ci • kg ⁻¹
Exposición	coulomb por kilogramo	C • kg ⁻¹	3876 R
Intensidad de exposición	coulomb por kilogramo	C • kg ⁻¹ • s ⁻¹	3876 R • s ⁻¹
Dosis equivalente	sievert	Sv	100 rem
Constante gamma específica	coulomb metro cuadrado por kilogramo	C • m ² • kg ⁻¹	5,16.10 ⁷ R • m ² • h ⁻¹ • Cr ⁻²

CUADRO VIII

CANTIDAD Y UNIDADES (SI) DE INTERES EN EL TRABAJO CON RADIACIONES IONIZANTES

Cantidad	Símbolo de la cantidad	Unidad	Símbolo de la unidad
Fluencia de partículas	\$	recíproco del metro cuadrado	rrr ²
Fluencia energética	*	joule por metro cuadrado	J/m ²
Densidad de flujo energético	•b	watt por metro cuadrado	W/m ²
Densidad de flujo de partículas	<!/>	recíproco de metro cuadrado segundo	rrr ² • s ⁻¹
Kerma	K	joule por kilogramo	J/kg
Intensidad de Kerma	K	watt por kilogramo	W/kg
Transferencia lineal de energía	L	joule por metro	J/m
Coefficiente de atenuación masico	u/P. u M	metro cuadrado por kilogramo	m ² /kg
Poder másico de frenado	s/p,sm	joule metro cuadrado por kilogramo	J • m ² /kg

De acuerdo con esto la dosis nominal estándar (NSD) se calcula en unidades ret mediante la ecuación:

$$(NDS) = d \cdot N^{-0,24} \cdot T^{-0,11},$$

en la cual N es el número total de fracciones de tratamiento, T es tiempo y D la dosis.

La unidad ret recibe el nombre de tratamiento equivalente en rad. Evidentemente la adopción del gray como unidad

de dosis absorbida nos sugiere la sustitución del ret, por el get, es decir tratamiento equivalente en unidades Gy.

El cuadro VII resume las unidades radiológicas fundamentales, mientras que en el cuadro V se presentan los prefijos y símbolos normalizados empleados en el SI. En el cuadro VIII se han incluido las unidades (SI) para otras cantidades de importancia en el trabajo con las radiaciones ionizantes, y en especial en la dosimetría biométrica¹⁶

CUADRO IX

CONSTANTES GAMMA ESPECIFICA DE ALGUNOS RADIOISOTOPOS EN UNIDADES (SI) Y SUS EQUIVALENTES NO (SI)

Radioisótopo	Γ (aA.m ² .kg ⁻¹ .Bq ⁻¹)	Γ (R.m ² .h ⁻² .Ci ⁻¹)
Au ¹⁹⁸	0,457	0,236
Am ²⁴¹	0,019	0,01
Br ⁸²	2,518	1,3
Cs ¹³⁷	0,627	0,324
Cr ⁵¹	0,085	0,018
Co ⁵⁷	0,180	0,093
Co ⁶⁰	2,615	1,35
Cu ⁶⁴	0,213	0,11
Ga ⁷²	2,324	1,2
¹¹² 5	0,007	0,004
¹¹³ 1	0,406	0,21
Ir ¹⁹²	1,065	0,55
Fe ⁵⁹	1,220	0,63
Mn ⁵⁴	0,891	0,46
K ⁴²	0,271	0,14
Ra ²²⁶	1,598	0,825
Na ⁻¹⁴	3.48G	1,8
Ta ⁻⁵²	1,162	0,6

aC = attocoulomb (1 aC = 10⁻¹⁵ C)

aA = attoampere

1 aC * m² * kg⁻¹ = 1 a A * s * m⁻² * kg⁻¹ =

1 a A * m² * kg⁻¹ * Bq⁻¹

1 R * m² * h⁻² * Ci⁻¹ ~ 1,936 94 aC * m² * kg⁻¹

~ 1,936 94 aA * m² * kg⁻¹ * Bq⁻¹

Es importante tener presente que unido al empleo de las nuevas unidades, existen reglas (SI) de escritura para los números, las unidades y sus símbolos, que deben ser observadas y cumplidas con la implantación de este sistema.

Como ejemplo de conversión a las unidades (SI) consideramos el siguiente ejemplo, para la determinación de la constante específica de emisión de rayos gamma correspondiente al Ra 226. Esta cantidad, representa la intensidad de dosis a la distancia de un centímetro de una fuente puntual de Ra 226.

El valor de esta constante (cuadro IX) en las unidades no (SI) es:

$$r = 0,825 R \cdot m^2 / (Ci \cdot h)$$

Tomando los equivalentes de conversión de los cuadros I y III resulta:

$$\Gamma = \frac{0,825 \cdot 0,258 \text{ mC} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2}{37 \text{ GBq} \cdot \text{h}}$$

$$\therefore \Gamma = \frac{0,21285 \cdot 10^{-3} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2}{37 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1} \cdot 3,6 \cdot 10^3 \text{ s}}$$

$$\therefore \Gamma = 1,597 \cdot 10^{-15} \text{ C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$$

o también:

$$\Gamma = 1,597 \text{ aC} \cdot \text{S}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}$$

$$\Gamma = 1,597 \text{ aA} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{Bq}^{-1}$$

Se observa que la unidad (SI) para la constante gamma específica no es idéntica con aquella que resulta de ser expresada en unidades fuera del sistema (SI), pues:

$$1 R \cdot m^2 / (Ci \cdot h) \approx 1,936 94 \cdot 10^{-15} \text{ C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$$

En el cuadro IX se indican los valores de la constante gamma específica para diversos radionúclidos de interés radiológico.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La universalidad, coherencia y simplicidad del sistema internacional de unidades confieren al mismo méritos suficientes para contrarrestar aquellos aspectos de desventajas en su utilización. Sin embargo, es bueno analizar algunos de estos aspectos.

Las unidades de medida deben tener una significación práctica para nuestro sentido común. La edad de un bebé puede ser expresada como 3 meses, lo cual resulta familiar y comprensible. Sin embargo, no ocurre así, si nos informan que la edad es igual a 1,728 * 10⁸ s o 1,728 Ms.

La unidad de actividad, becquerel, es en muchos casos sumamente pequeña, siendo necesario emplear factores gi-

gantes (mega, giga, tera). Si consideramos el cuadro IV para medir concentraciones máximas permisibles (CMP) los valores correspondientes en múltiplos del becquerel resultan prácticos. Por el contrario, para actividades del orden del Ci se requieren factores giga (1 Ci = 37 GBq).

Se ha señalado que en otros sistemas de unidades se emplea el mismo nombre para unidades de dos magnitudes diferentes, con los inconvenientes y confusión que esto trae, como ocurre en el caso de los conceptos de masa y peso. Aquí por el contrario, resulta que existen dos nombres diferentes para la misma magnitud (s⁻¹), el hertz si se trata de frecuencia vibracional y el becquerel si nos referimos a la actividad de un radionúclido. Es posible que el desarrollo del SI conduzca en el futuro a alguna modificación del nombre de esta unidad.

La unidad de exposición C/kg, debe desaparecer o ser sustituida por un nombre especial. Realmente nos parece difícil para aquellos profesionales y técnicos que trabajan con radiaciones ionizantes, particularmente en el campo de la medicina, la adaptación y familiarización con esta unidad derivada. Consideremos una situación típica de trabajo con rayos X. La intensidad de exposición a 60 cm de distancia de un equipo de radiodiagnóstico, operando a 100 kvp y 100 mA, es aproximadamente igual a 2,3 R*s lo cual es equivalente a:

$$\begin{aligned} &2,3 \cdot 0,258 \text{ Mc} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 0,59 \text{ mC} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \\ &= 0,59 \text{ mA} \cdot \text{kg}^{-1} \end{aligned}$$

Estas unidades representan una dificultad para aquellas personas no entrenadas en la elaboración de unidades de medidas físicas. Por otra parte, la unidad mA*kg⁻¹ no presenta explícitamente la unidad de tiempo.

La sustitución del rad por el gray no parece tener complicaciones. Se ha señalado el peligro con el punto decimal en la conversión de rad a gray. Sin embargo, la experiencia informada con la

implantación de esta unidad en grandes centros de radioterapia⁷ parece ser bastante positiva. Otras unidades asociadas al rad, tal como el ret para la dosis nominal estándar (NSD) deberán ser sustituidas en función del gray. En este caso sería apropiado sustituir la unidad ret por la unidad Gy, al considerar tratamientos equivalentes en unidades gray.

Algunos autores^{5,6} pidieron apoyo, al uso del centigray como unidad (SI) de dosis absorbida. En el cuadro II podemos observar un rango de valores para los cuales el rad se corresponde exactamente con el centigray (cGy). Un tratamiento radiante con una intensidad de dosis de 90 rad/min. es equivalente a 90 cGy/min o 1,5 cGy/s, o 900 mGy/min. Una dosis total de 5 000 rad es equivalente a 50 Gy. Los valores de uso práctico empleando el centigray, no nos deben confundir. Utilizar el milicentigray como equivalente del mili rad constituye una violación de las reglas del sistema (SI).

Una dosis de 200 milirrad es tan solo 0 miligray. Luego, de 100 a 999. milirrad nos referimos a un rango de 1 a 9,99 miligray, mientras que para dosis desde 100 rad hasta valores extremadamente grandes, como 99 999 rad, simplemente podemos expresar las cantidades correspondientes en gray. Esto puede verse como el sistema de unidades mucho más familiares en la vida diaria para la medida de longitudes, es decir, milímetro, centímetro y metro.

Por su parte, las unidades de dosis equivalente no han dado lugar a críticas severas. El cuadro VI muestra valores usuales empleando esta unidad. El millisievert (mSv) y el microsievert (μSv) resultan subunidades de uso práctico.

El período de 1975 a 1985 constituye la etapa de transición paulatina al SI. La adopción de medidas específicas, en el marco del Sistema Nacional de Normas, Metrología y Control de la Calidad, deben propiciar favorablemente la implantación completa de las unidades radiológicas en nuestro país.

SUMMARY

Marco Hernández, J. *International Unit System (IS). X-ray units*. Rev Cub Med 20: 3, 1981.

The present stage of the International Unit System at the X-ray unit field is analyzed. Concepts and units of absorbed dose, exposition, activity, equivalent dose and other units are exhibited on the framework of the IS, according to its historical evolution. A new unit (IS), denominated by the author *Get* instead of the *ret*, applying the standard nominal dose (SND) concept is outlined. Finally, particularities and some difficulties for the introduction of new units at the medical work with ionizing radiations are discussed.

RÉSUMÉ

Marco Hernández, J. *Système 'International d'unités (SI). Unités radiologiques*. Rev Cub Med 20: 3, 1981.

L'auteur analyse l'état actuel du Système international d'unités (SI) dans le domaine des unités radiologiques. Les concepts d'unités de dose absorbée, exposition, activité, dose équivalente et d'autres unités sont présentés dans le cadre du SI, en tenant compte de leur évolution historique. L'auteur suggère l'emploi d'une nouvelle unité SI, laquelle il a nommée *Get*, en substitution du *ret*, lors d'appliquer le concept de dose nominale standard (NSD). Enfin, les particularités et certaines difficultés de l'introduction de nouvelles unités dans la pratique médicale avec des rayonnements ionisants sont discutées.

PE3KME

MapKO SpHafmec, X. MexjQTHapoflHafL CHCTewia **ejumm; (MC).Paj^H ojjiormecKne ejimumH. R*r cub «ed 201 3, 1981.**

Б **НасТонмен** **паооТе** **нпоБојифТс.џ** **аНажіНс** **аКТјајіЛНор** **соctohheh** - **МехјіуНарофлНОН** **сncТеМу** **ejuman** **б оóЈіacrн** **панНОЈіоріраecіuДі** - **hheu** **KomiermiiK** **h** **adcoptiapoBaHHOM** **ao3H,** **npej(CTaBJieHiie** **аКТНВНОCTB,** **3KBf!BaJieHTHafл** **fl03a** **H** **ipyEB** **нpe^CTaBJieHH** **б** **pawKax** **MC,** **јніНТНВaa** **npa** **stom** **hx** **НсropHqecKoe** **па3ВНТне.** **В** - **паооТе** **роBопiiТCH** **о** **npmvieHeHmr** **hoboii** **effHHmiH** **(MC),** **Ha3BaHHoft-** **no** **HMeHH** **aBTopa** **Get.** **б** **3aMeH** **ret** **npH** **npuMeHeHpa** **KOHuemim-** **HOMHHajiLHaH** **CTaimapTHaH** **ao3a** **(HCJ).** **В** **3amnoHeHKM** **oaCoTu** **oma-** **CHBafOTCH** **K** **OóCJOMaiOTCH** **OCOóeHHOCTH** **H** **HeKOTOpie** **ТрјјmOCTM** **Be** **BHeJipeHHH** **HOBHx** **eflHHmí** **B** **MeflHUKHCKVP** **padOTV** **C** **H0H7.3HpyKyeÜ** - **pa.iiHamieñ.**

BIBLIOGRAFIA

1. *Marco Hernández, J.* Consideraciones acerca del Sistema Internacional de Unidades Dosimétricas en Radioterapia y Medicina Nuclear. Conferencia pronunciada ante la Sociedad Cubana de Oncología, Radioterapia y Medicina Nuclear, La Habana, mayo de 1977.
2. *Mumaghan, D. J.* SI Units. Br J Radiol 51: 748, 1978.
3. *Feldman, A.* SI Prefixes. Br J Radiol 50: 296, 1977.
4. *Pfalzner, P. MA* proposal for SI Prefixes, Br J Radiol 49: 739, 1976.
5. *Ducan, W.* The centigray as the SI unit of dose. Br J Radiol 52: 162, 1979.
6. *Halman, K. E.* The centigray as the SI unit of dose. Br J Radiol 51: 395, 1979.
7. *Sanderman, T. F. et al.* SI units in Radiotherapy. Br J Radiol 52: 162, 1979.
8. *Docker, M. F.* SI Prefixes. Br J Radiol 50, 680, 1977.
9. *Nicholson, J. P.* The introduction of SI units into the radiological sciences. Br J Radiol 49, 477, 1976.
10. *Goodwin, P. N.* Comment on the introduction of SI units into the radiological sciences. Br J Radiol 49, 898,

11. ICRU Report. NBS Handbook 2, 62, 1957.
12. *Mayneord, W. V.* Energy absorption. Br. J Radiol 13: 235, 1940.
13. *Parker, A. M.* Tentative dose units for mixed radiations Radlology 54: 2, 1953.
14. *Morgan, K. Z.* Rolf Sievert: The pioneer in the field of radiation protection. Health physics 31: 287, 1976.
15. *Ellis, F.* Dose, time and fractionation. A clinical hypothesis. Clin Radiol 20: 1, 1969.
16. *Marco Hernández, J.* Sistema Internacional de Unidades (SI). Unidades y cantidades en la dosimetría de las radiaciones ionizantes. (Para publicación Rev Cub Med.)

Recibido: mayo 5, 1980.

Aprobado: noviembre 20, 1980.

Dr. *José Marco Hernández*

Neptuno No. 1223 esquina Mazón Apto. 21

Vedado.