

INSTITUTO DE ONCOLOGIA Y RADIOBIOLOGIA

Nuevas unidades del sistema internacional en el trabajo con radiaciones ionizantes

Por el Lic.: JUAN M. FRANQUIZ **

Fránquiz. J.M. ***Nuevas unidades del sistema internacional en el trabajo con radiaciones ionizantes.*** Rev Cub Med (Supl.) 21: 1, 1982.

El objetivo de este trabajo es presentar en forma breve los principales conceptos y unidades anteriormente definidos por el ICRU, así como las nuevas unidades del SI y la conversión de unas a otras, asunto que su conocimiento es actualmente de gran importancia para los especialistas en radiología, radioterapia, medicina nuclear y protección radiológica.

INTRODUCCION

A partir del descubrimiento de los rayos X en 1895 y de la radiactividad natural en 1898, las radiaciones producidas en ambos fenómenos fueron empleadas en diferentes campos de la ciencia. En medicina muy pronto se conoció y explotó la utilidad de los nuevos descubrimientos en el diagnóstico y tratamiento, surgiendo nuevas especialidades que en tiempo relativamente breve adquirieron personalidad propia y constituyen hoy un elemento primordial en la investigación y práctica médicas diarias.

Como consecuencia del desarrollo de cualquier disciplina científica, en el campo de las radiaciones ionizantes también se hizo necesario definir rigurosamente las magnitudes físicas fundamentales con que se trabaja, y las unidades en que deben expresarse. Para satisfacer estas necesidades, en 1925 se creó la Comisión Internacional de Unidades Radiológicas (ICRU), que desde entonces ha definido y modificado las unidades y conceptos físicos en este campo.

* Físico del departamento de medicina nuclear. Instituto de Oncología y Radiobiología.

Sin embargo, las unidades definidas por el ICRU para expresar actividad de una fuente radiactiva (curie), exposición (roentgen) y dosis (rad y rem) no corresponden a unidades del Sistema Internacional (SI), el cual como es conocido, fue adoptado por la Conferencia General de Pesos y Medidas en 1954 como 'in esfuerzo por uniformar las unidades en todos los campos de la ciencia y la técnica.

El SI consiste en un conjunto de unidades para emplear en cualquier rama de la ciencia, y se basa en que para cualquier magnitud física debe existir una y sólo una unidad que la exprese, independientemente de la especialidad en particular de que se trate ¹. Dicho sistema posee 7 unidades básicas a partir de las cuales se obtienen las llamadas unidades derivadas².

Considerando las ventajas que representa extender el SI al campo de las radiaciones ionizantes^{2,3}, y a que tales unidades serían más fácilmente manejables por personal no especializado o no familiarizado con radiaciones, el ICRU recomendó en 1974 a la Conferencia General de Pesos y Medidas (CGPM) la adopción de nuevas unidades relacionadas con las radiaciones, las cuales fueron adoptadas un año más tarde³.

Se espera que en 1985, las nuevas unidades (cuadro) hayan sustituido por completo a las antiguas², aunque algunos no se manifiestan tan optimistas. El empleo arraigado de las viejas unidades, en los especialistas, adquirido en el largo tiempo en que han estado vigentes y a la extensa difusión de las mismas en la literatura especializada, obliga a una transición lenta.

Actualmente en esta literatura aparecen las nuevas unidades entre paréntesis al latío de las viejas o viceversa, con el propósito de lograr su introducción gradualmente. No obstante, ello debe ir acompañado de un esfuerzo docente para lograr la mayor divulgación y comprensión de los conceptos y definiciones empleadas, sobre todo para el personal médico, habitualmente no familiarizado con los aspectos físicos y matemáticos de estos problemas.

El objetivo de este trabajo es presentar en forma breve los principales conceptos y unidades anteriormente definidos por el ICRU, así como las nuevas unidades del SI y la conversión de unas a otras, asunto que su conocimiento es actualmente de gran importancia para los especialistas en radiología, radioterapia, medicina nuclear y protección radiológica.

Actividad

Expresa la intensidad de una fuente radiactiva; esto es, el número de desintegraciones producido en la unidad de tiempo. Su unidad es el curie y fue definida en el Congreso de Electrorradiología celebrado en Bruselas en 1910, como: la canti-

CUADRO			
CONCEPTO FISICO	UNIDAD ANTIGUA	UNIDAD DEL SI	EQUIVALENCIA
Actividad	Curie (Ci)	Becquerel (Bq)	1 Bq = $2,7 \times 10^{-11}$ Ci 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq
Exposición	Roentgen (R)	Coulomb por kilogramo (C/Kg)	1 C/Kg = 3876 R 1 R = $2,58 \times 10^{-4}$ C/Kg
Dosis absorbida	Rad	Gray (Gy)	1 Gy = 100 rads 1 rad = 0,01 Gy
Dosis equivalente	Rem	Sievert (Sv)*	1 Sv = 100 rems 1 Rem = 0,01 Sv

* Recomendada por la Comisión Internacional de Protección Radiológica.

fiad de radón en equilibrio radiactivo con un gramo de radio, lo que es equivalente a $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Posteriormente la definición se extendió a todos los productos del decaimiento del radio en equilibrio.

Luego del descubrimiento de la radiactividad artificial, el curie se definió como la cantidad de cualquier radioisótopo en que se producen $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Actualmente el curie se presenta por Ci, pero hasta 1964 fue representado por c[^].

Como el Ci resulta ser una unidad demasiado grande para las cantidades con que habitualmente se trabaja en medicina, se prefiere para el trabajo diario el empleo de los siguientes submúltiplos:

$$\begin{aligned} \text{milicurie (mCi)} &= 0,001 \text{ Ci} \\ \text{microcurie (MCi)} &= 0,000001 \text{ Ci} \\ \text{picocurie (pCi)} &= 0,000000001 \text{ Ci} \end{aligned}$$

Exposición

En 1908 se propuso por primera vez la ionización del aire por rayos X como medida de la cantidad de radiaciones recibida en un punto. Veinte años más tarde, el ICRU definió el roentgen (r) como la cantidad de radiaciones X capaz de producir en un cm de aire atmosférico a 0° C y presión de 760 mm de Hg,

una unidad electrostática de carga. En 1937 el roentgen se definió de nuevo, de manera que incluyera la radiación gamma.⁴

La representación del roentgen fue r hasta 1962 en que se convirtió en R.

Inicialmente, la definición de R trató de expresar la dosis de radiación en un punto, aunque directamente no diera información alguna sobre la energía absorbida. Sin embargo, conociendo que 1 R corresponde a la absorción de aproximadamente 83 ergs por gramo de tejido, se definió en 1948⁵ el equivalente físico del roentgen (rep) como unidad de dosis.

Posteriores conceptos y definiciones (ver Dosis Absorbida y Equivalente) con mayor correspondencia con los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes⁶, trajo cierta confusión en cuanto al término dosis y su relación con R, por lo que en 1956 al ICRU estableció el término "dosis de exposición" para la magnitud de la cual el R es la unidad, como una medida de la radiación X o gamma capaz de producir ionización en una región determinada.

En 1962⁷ el término "dosis de exposición" se convirtió simplemente en "exposición", separando por completo al R de la palabra dosis, de manera que sólo representa la unidad de exposición.

Dosis absorbida y equivalente

Buscando una magnitud capaz de ser relacionada con el efecto biológico de las radiaciones, el ICRU en 1951 recomendó que el término "dosis" debía representar la cantidad de energía absorbida por unidad de masa del material irradiado en la zona de interés. Basado en ello, años más tarde⁸ fue definida la "dosis absorbida" de cualquier radiación ionizante como la cantidad de energía impartida a la materia por partículas ionizantes, por unidad de masa del material irradiado. La unidad de dosis absorbida fue el rad, equivalente a 100 ergs por gramo de tejido.

Sin embargo, para los fines de protección radiológica resulta más adecuado el concepto de "dosis equivalente" definido como el producto de la dosis absorbida por el factor de calidad para cada radiación, distribución de dosis y otros factores relacionados con el posible daño biológico de las radiaciones⁹. Su unidad es el rem, dimensionalmente igual al rad.

La diferencia entre dosis equivalente y absorbida, es que ésta representa el número de ergs por 0,01 gramo de tejido cedido por la radiación realmente presente, mientras que la dosis equivalente representa la energía que sería cedida por una radiación de referencia para producir el mismo daño biológico que la radiación realmente incidente.

Nuevas unidades del sistema internacional

Como unidad de actividad del SI, se ha adoptado el becquerel (Bq) equivalente a un segundo elevado a la potencia menos uno: seg^{-1} . En este caso, $3,7 \times 10^{10}$ Bq equivalen a 1 Ci y 1 Bq equivale a $2,7 \times 10^{11}$ Ci.

La exposición en el sistema SI adopta como unidad el coulomb por kilogramo (C/Kg), sin que se recomiende ningún nombre especial para esta unidad, cuyo empleo se espera que cada vez sea menor.

Para la dosis absorbida, en sustitución del rad, el gray (Gy) igual a un joule por kilogramo (J/Kg) y equivalente a 100 rads.

Las dimensiones físicas de la unidad de dosis equivalente, según lo propuesto por el ICRU, serían las mismas que la de dosis absorbida. No obstante, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ha propuesto que esta unidad se llame sievert (Sv), que es igual a 100 rems.

tanto las nuevas unidades como las viejas y los equivalentes entre ellas se presentan en el cuadro.

Dada la equivalencia entre el Bq y el Ci, las actividades del orden de mCi y MCi corresponderán al orden de 10^6 y 10^3 Bq, por lo que en el trabajo con esta nueva unidad se necesitará expresar la actividad como múltiplos del Bq. Los de empleos más comunes serían:

$$\text{gigabecquerel (GBq)} = 10^9 \text{ Bq}$$

$$\text{megabecquerel (MBq)} = 10^6 \text{ Bq}$$

$$\text{kilobecquerel (KBq)} = 10^3 \text{ Bq}$$

Ejemplos:

1. Convertir 0,25 /MCi a unidades Bq: »

$$0,25 \times 10^{-6} \times 3,7 \times 10^{10} = 8,25 \times 10^3 \text{ Bq} = 8,25 \text{ KBq}$$

2. Convertir 10 mCi a unidades Bq:

$$10 \times 10^{-3} \times 3,7 \times 10^{10} = 3,7 \times 10^8 \text{ Bq} = 370 \text{ MBq}$$

3. Convertir 5 000 rads a unidades Gy:

$$5\ 000 \times 0,01 = 50 \text{ Gy}$$

Apéndice

UNIDADES DEL SISTEMA CGS Y DEL SISTEMA INTERNACIONAL QUE APARECEN EN EL TEXTO:

- a) Erg: unidad de energía en el sistema CGS; equivale al trabajo realizado por una fuerza de una dina durante un cm de recorrido.
- b) Gramo: unidad de masa del sistema CGS.
Kilogramo: unidad de masa del SI.
- d) Joule: unidad de energía del SI; equivale al trabajo realizado por una fuerza de un Newton sobre una distancia de un metro.
- e) Coulomb: unidad de carga eléctrica del SI; equivale a la cantidad de electricidad transportada a través de la sección transversal de un conductor por una corriente directa con intensidad de un ampere.

SUMMARY

Fránquiz, M.J. *New units for the international system when working with ionizing radiations*. Rev Cub Med (Supl.) 21: 1, 1982.

It is stated that considering the adoption of new units for the international system (IS) in order to work with ionizing radiations and its importance in radiology, radiotherapy, nuclear medicine and radiological protection, activity, exposure, absorbed dose and equivalent dose concepts are described and defined, as well as old and new units expressing such magnitudes and each to other conversion. It is pointed out that new units for the IS —adopted by General Conference for Weights and Measures, 1975— displaced entirely the old ones in scientific literature by 1985, making mandatory to carry out a teaching effort in order to achieve a greater divulgation and understanding of the new units and their equivalents.

RESUME

Fránquiz, M.J. *Nouvelles unités du système international dans le travail avec des rayonnements ionisants*. Cub Med (Supl.) 21: 1, 1982.

Etant donné l'adoption de nouvelles unités du SI pour le travail avec des rayonnements ionisants, et son importance en radiologie, radiothérapie, médecine nucléaire et protection radiologique, l'auteur décrit et donne la définition des concepts d'activité, exposition, dose absorbée et dose équivalente, ainsi que des anciennes et nouvelles unités qui expriment ces grandeurs et la conversion de ces

unités. L'auteur signale que l'on espère que les nouvelles unités du SI, adoptées par la Conférence Générale de Poids et Mesures en 1975, aient déplacé totalement les anciennes unités dans toute la littérature scientifique en 1985, ce qui demande la réalisation d'un grand effort du point de vue de l'enseignement pour parvenir à une plus large divulgation et compréhension des nouvelles unités et de leurs équivalences.

PE3KME

ÍpaHuec, M.X. HoBue eflr:innH Mex, ;vHapo,HHof! ciicTeMH B partnfe
C KOHH30PVKUWM0 OÓJiy'ieHRflMH . Rev Cub Med (Supl.) 21: 1. 1982.

B HacTOHinefl naóoie noOTépKHBaeTCfl, hto c y^éTOM npHHflTaH ho - bhx ejihHPiu MC *njLn*
paÓOTH c P!r>HH30pynn0M0 oÓJij'ieHnHMH 0 hx rtojit moro bjihíhm b paaiioJioniH,
panHOTepanna, ünepHofT Menmi0He h 3a O0TU ot oójv'-'qeHHH, onHCHBaeTCfl h
oripejiejureTCH skthbhoctb, no^ sepireHHOCTB 0 sKBBBajieHTHHeH .noau, a Tárate
npenMymecTBa h ho- BHe flTTWOTimj BHpaJKaKme STR Bejiff'iaHu MC —npHHHTue
FeHepa.ni.Roft KoH(i>epefnx0e0 BecoB 0 Mep b 1975 rony- iiojihocTíid BUTecHH^iH pe
Hee npBMeHHBüinecH, bo Bcefi Hay^Hofi .paTepaType b 1985 ro.ny,HTo oÓH3HBaeT
npajioxeTB Haynrae *ycnjiasf* b íxe^nx £OCTH*cKaa HaKÓojiB mefi nonyjiHp03auH0 a
KDMneHcarm0 hobhmb e)mHRiiaMH 0 hx 3KB0Ba- JieHTHHMH 3Ha^eHHMH0.

BIBLIOGRAFIA

1. *Sena, L.* Units of physical quantities and their dimensions. 11, Mir Publishers, Moscow, 1973.
2. *Liden, K.* SI units in biomedical dosimetry. Proceed of a symposium on biomedical dosimetry. IAEA. Vienna 1975.
3. *Liden, K.* The new special units of SI in the field of ionizing radiations. Phys Med Biol 20 6 1975.
4. *JCRU.* Recommendations of the International Commission of Radiological Units. Chicago, 1937 Am J Roentgenol Radium Ther Nucí Med 39 - 295 1938.
5. *ICRU* Recommendations of the International Commission on Radiological Units. London, 1950. Radiology 56: 117, 1951.
6. *ICRU.* Recommendations of the International Commission on Radiological Units. Copenhagen, 1953 Radiology 62: 106, 1954.
7. *n^{RU}*, Recommendations of the International Commission on Radiological Units. Nati Bur Std (US) handbook 62: 1957.

8. *ICRU. Radiation quantities and units. Report 10a of the ICRU. Nati Bur Std (US) handbook 84: 1962.*
9. *Roesch, W., F. Attix and W. Roesch, N. Y. Acad Press, 1968.*

Recibido: mayo 22, 1979. Aprobado:
noviembre 13, 1980.

Lic. *Juan M. Fránquíz*
Instituto de Oncología y Radiología
29 y F, Vedado
Ciudad de La Habana.