



REAC/TS

Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento

Información de Referencia Rápida - Radiación

Actividad: Los materiales radiactivos no se cuantifican con las unidades que normalmente conocemos, unidades como la libra, la onza, el kilogramo, el cc, el puñado, etc. Debemos utilizar unidades de actividad para cuantificar los materiales radiactivos. La actividad es una forma de expresar cuántos átomos se desintegran en una unidad de tiempo (desintegraciones por segundo o minuto, por ejemplo)

- **Curio (Ci):** Un curio equivale a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo (dps) o a 2.22×10^{12} desintegraciones por minuto. Las divisiones más utilizadas son la milicurie (mCi, 0.001 Ci) y la μ Ci (0.000001 Ci). Un μ Ci = 2.22×10^6 (2.22 millones) dpm. Esta unidad es la más utilizada en EE.UU.
- **Becquerelio (Bq):** La unidad internacional de actividad. Un becquerelio equivale a una desintegración por segundo.

ALARA: Un sistema de limitación de dosis basado en mantener las dosis de radiación tan bajas como sea razonablemente posible teniendo en cuenta factores sociales y económicos.

Partícula Alfa (α): Una partícula alfa es una partícula con carga positiva formada por dos protones y dos neutrones emitidos por los núcleos de varios radionúclidos. Algunos ejemplos de emisores alfa son el Am-241, el Pu-239 y el U-235. Las partículas alfa pueden ser blindadas por una tarjeta de presentación y sólo viajan un par de centímetros en el aire.

Límite de Ingesta Anual (LIA): El LIA es un límite reglamentario para la contaminación interna. Es la cantidad de material radiactivo que, si se ingiere en el cuerpo, da lugar a que se cumpla un límite de dosis reglamentario anual. Los LIA por inhalación e ingestión de los distintos radionúclidos se pueden encontrar en el Informe Federal de Orientación nº 11 de la EPA. El LIA es un punto de referencia útil cuando se trata de evaluar rápidamente la magnitud de la contaminación potencialmente internalizada.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Partículas Beta (β): Las partículas beta son partículas con carga negativa emitidas por los núcleos de diversos radionúclidos. Una partícula beta es idéntica a un electrón. Algunos ejemplos de emisores beta son el Sr-90, el P-32 y el H-3. Las partículas beta pueden viajar un par de metros en el aire, dependiendo de sus energías, y pueden ser blindadas por un par de hojas de papel de aluminio o plástico fino.

Guía de decisiones clínicas: Según el informe 161 del NCRP, la GDC pretende proporcionar una medida que los médicos puedan utilizar al considerar la necesidad de tratamiento médico de los pacientes contaminados internamente. No tiene carácter normativo.

Contaminación: Deposición de material radiactivo en una superficie. Una persona puede estar contaminada externamente (material radiactivo en la ropa/piel) o internamente (material radiactivo dentro del cuerpo). Tenga en cuenta que no se contamina por las partículas alfa o los rayos gamma que emite el material radiactivo, sino por el propio material. Obviamente, si tiene el material radiactivo sobre usted, está expuesto a la radiación ionizante emitida por la contaminación radiactiva y seguirá expuesto hasta que se elimine el material radiactivo.

Críticidad: Término utilizado para describir el estado de un sistema de fisión dado cuando las condiciones son tales que el número de neutrones producidos es igual al número de neutrones que escapan del sistema.

- **Sub-crítico:** El número de neutrones producidos es menor que el número de neutrones que escapan del sistema.
- **Super-crítico:** El número de neutrones producidos supera el número de neutrones que escapan del sistema.

Descontaminación: La eliminación o reducción de los contaminantes radiactivos.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Nivel de referencia derivado (DRL, por sus siglas en inglés): Término REAC/TS (no reglamentario). Cantidad de contaminación en una herida que probablemente daría lugar a un límite de dosis reglamentario (ver <http://orise.orau.gov/reacts/resources/radiation-accident-management.aspx>).

Efectos deterministas: También llamados efectos no estocásticos. Se basan en un umbral de dosis de radiación, por debajo del cual no hay efecto. Un ejemplo de efecto determinista, o no estocástico, es el eritema cutáneo. El umbral del eritema es de aproximadamente 600 rads (6 Gy). Dosis más altas pueden provocar otros efectos.

~300 mrem	5 rem	300 rads	600 rads
<i>Preocupaciones estocásticas</i>	<i>Preocupaciones deterministas</i>		
Fondo	Límite de dosis anual para todo el cuerpo	Umbral de epilación	Umbral de eritema

Dosis: La dosis describe la cantidad de energía depositada en una masa específica de material (dosis absorbida). Aunque no es una analogía perfecta, esto es análogo a cuando alguien te da un puñetazo en el brazo. Se ha depositado energía y puede producirse una respuesta biológica aguda donde se ha depositado esa energía. En cuanto a la dosis absorbida, se mide la cantidad de energía depositada a través de la radiación ionizante. La dosis es lo que suele preocupar a la hora de evaluar los posibles efectos deterministas tempranos.

- **Rad:** Unidad de dosis de radiación utilizada principalmente en EE.UU.. Equivale a 100 ergs de energía depositados en 1 gramo de material. Un erg equivale a 10^{-7} joules. Un rad equivale a 0.01 Gy.
- **Gray:** La unidad de dosis de radiación que se utiliza principalmente en todos los demás lugares. Un Gy equivale a 1 joule de energía depositado en 1 kg de material. 1 Gy equivale a 100 rads. Como referencia, un joule equivale a 6.2415×10^{18} electronvoltios (¡toda la energía gamma disponible de unos 2.5 billones de desintegraciones de Co-60!) y un kilovatio-hora equivale a 3.6 millones de joules.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Equivalente de dosis (y dosis equivalente - ligeramente diferente, pero muy similar): Se trata de una forma biológicamente ponderada de relacionar la dosis de radiación mediante el uso de factores de calidad o ponderación que se basan en el riesgo de efectos estocásticos de diversas radiaciones. Las unidades equivalentes a la dosis (y la dosis equivalente) son el rem (EE.UU.) y su homólogo internacional, el Seivert (Sv). Los rem y los Sv se utilizan principalmente en entornos profesionales en los que la preocupación reguladora es el manejo del riesgo, por ejemplo, el riesgo de inducción de cáncer en el futuro. (Los umbrales de dosis para los efectos deterministas están muy por encima de los límites ocupacionales reglamentarios). $\text{Rem} = \text{rads} \times Q$; $\text{Sv} = \text{Gy} \times \text{WR}$.

- El factor de calidad (Q) y el factor de ponderación de la radiación (WR) relacionan la dosis de radiación con su eficacia biológica relativa. Es una unidad adimensional que comunica la eficacia potencial de un tipo específico de radiación para depositar energía y crear el efecto estocástico en cuestión. Para los gammas $Q = 1$.

Tasa de dosis: Dosis absorbida entregada por unidad de tiempo.

Exposición: Medida de la cantidad de ionización producida en el aire. La unidad utilizada en EE.UU. es el Roentgen (2.58×10^{-4} culombios por kilogramo). La unidad internacional se expresa en términos de culombios por kilogramo.

Electrón: partículas con carga negativa que orbitan alrededor del núcleo atómico.

Fisión: La división del átomo en dos piezas desiguales (fragmentos/productos de fisión) acompañada de una gran liberación de energía, la mayor parte de la cual se debe a la energía cinética de los fragmentos de fisión.

Vida media: La vida media ($T_{1/2}$) de un material radiactivo es la cantidad de tiempo que tarda la actividad en disminuir a $\frac{1}{2}$ de su cantidad original.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

- **Vida media física:** La cantidad de tiempo que tarda una muestra radiactiva en desintegrarse hasta la mitad de su valor original.
- **Vida media biológica:** La cantidad de tiempo que tarda el cuerpo en eliminar la mitad de un material radiactivo depositado internamente, sin tener en cuenta la desintegración física.
- **Vida media efectiva:** La combinación de la vida media física y biológica, que puede calcularse mediante el producto de las vidas medias física y biológica dividido por la suma de las vidas medias física y biológica.

Rayos Gamma (γ): Los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas emitidas por los núcleos de varios radionúclidos. Algunos ejemplos son el Ir-192, el Cs-137 y el Co-60. Los rayos gamma se blindan con materiales densos como el plomo y pueden viajar muchos metros en el aire. La principal diferencia entre los rayos gamma y los rayos X es que los rayos gamma se originan dentro del núcleo y los rayos X se originan fuera del núcleo. A efectos de protección radiológica básica, son esencialmente iguales.

Ley inversa del cuadrado: La intensidad de la dosis de radiación disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia ($1/R^2$).

Radiación ionizante: Radiación que tiene la capacidad de eliminar los electrones orbitales de un átomo (ionización). No todas las radiaciones son ionizantes (la luz visible, las ondas de radio y las microondas, por ejemplo).

Irradiación (exposición): La irradiación, o exposición (utilizada coloquialmente), es un término que se utiliza para decir que "se está en presencia de" una radiación ionizante. Se está expuesto a la radiación ionizante igual que se está expuesto a la luz. Al igual que cuando te expones a la luz, cuando estás irradiado (expuesto) no significa que tengas "partículas" sobre ti y que puedas transferirlas a otras personas o cosas. Estás expuesto a la radiación cada vez que te hacen un TC o una radiografía de tórax.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Isótopo: Átomos que tienen el mismo número de protones, pero diferente número de neutrones. Dado que el número de protones define el elemento, los isótopos también pueden definirse como átomos del mismo elemento con diferente número de neutrones (si el isótopo es radiactivo se denomina radioisótopo, Cs-134 y Cs-137, por ejemplo).

DL50/60: La dosis de radiación ionizante que mataría al 50% de un grupo que recibiera esa dosis en 60 días sin tratamiento médico. La DL50/60 es de unos 400 rads.

Neutrones: Los neutrones son partículas neutras que se encuentran en los núcleos atómicos. Pueden ser emitidos por los núcleos de varios radioisótopos inestables. También pueden contribuir significativamente a la dosis en un evento de criticidad. Los neutrones tienen la capacidad de hacer que otra cosa sea radiactiva. Esto se denomina activación neutrónica.

Fotón: Un quantum de energía de la radiación electromagnética. Los rayos gamma y los rayos X son fotones.

Protones: Partículas elementales con carga positiva que se encuentran en los núcleos atómicos.

Radiación: Propagación de energía a través del espacio, o de algún otro medio, en forma de ondas o partículas electromagnéticas.

Energía de radiación: Cada desintegración da lugar a una liberación de energía que puede depositarse en un absorbente. La energía disponible para ser depositada se mide en electronvoltios (eV). Si se acelera un electrón a través de los electrodos de una pila de nueve voltios, tendrá 9 eV de energía disponible para depositar en un blanco. Los distintos radioisótopos emiten distintos tipos de radiación. Por ejemplo, el Co-60 emite 2 rayos gamma, uno de los cuales tiene ~1.17 millones de eV (1.17 megaelectronvoltios, o MeV) y otro tiene ~1.33 MeV. El Am-241 emite una partícula alfa de unos 5.5 MeV y un rayo gamma de 60,000 electronvoltios (60 kiloelectronvoltios, o keV). Cada una de estas emisiones es capaz de depositar parte, o toda, su energía.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Desintegración radiactiva: Reducción de la actividad de una cantidad de material radiactivo por desintegración de sus átomos. Se dice que los elementos que sufren desintegración radiactiva son radiactivos.

Materiales radiactivos: Los materiales radiactivos son materiales que emiten radiaciones ionizantes.

Actividad específica: La razón por la que no se pueden utilizar unidades de medida tradicionales como la libra y el kilogramo es el concepto de actividad específica. Éste relaciona una actividad por unidad de masa de material, es decir: Ci/kg, MBq/g, etc. Por cada gramo de Ir-192, por ejemplo, hay 9640 (9.64×10^3) Ci de actividad; por cada gramo de U-235 sólo hay 2.1×10^{-6} Ci.

Efectos estocásticos: Efecto en el que la probabilidad de ese efecto, más que su gravedad, es una función de la dosis. Un ejemplo sería la inducción del cáncer. La probabilidad de inducción de cáncer aumenta con la dosis, pero los efectos del cáncer no son mejores o peores debido a la dosis de radiación que lo causó.

Rayos X: Forma penetrante de radiación electromagnética que se emite cuando los electrones orbitales internos de un átomo excitado vuelven a su estado normal o cuando se bombardea un blanco metálico con electrones de alta velocidad (máquina de rayos X). Los rayos X son siempre de origen no nuclear.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Conversiones

Actividad

1 terabecquerelio	1 TBq	27 curios
1 gigabecquerelio	1 GBq	27 millicurios
1 megabecquerelio	1 MBq	27 microcurios
1 kilobecquerelio	1 kBq	27 nanocurios
1 becquerelio	1 Bq	27 picocurios
1 kilocurio	1 kCi	37 terabecquerelios
1 curio	1 Ci	37 gigabecquerelios
1 millicurio	1 mCi	37 megabecquerelios
1 microcurio	1 μ Ci	37 kilobecquerelios
1 nanocurio	1 nCi	37 becquerelios

Dosis Equivalente (1 Sv = 100 rem, 1 rem = 0.01 Sv)

1 Sievert	1 Sv	100 rem
1 millisievert	1 mSv	100 millirem
1 microsievert	1 μ Sv	100 microrem
1 nanosievert	1 nSv	100 nanorem
1 kilorem	1 krem	10 sieverts
1 rem	1 rem	10 millisieverts
1 millirem	1 mrem	10 microsieverts
1 microrem	1 μ rem	10 nanosievert
1 microcurio	1 μ Ci	37 kilobecquerelios
1 nanocurio	1 nCi	37 becquerelios

Dosis (1 Gy = 100 rads, 1 rad = 0.01 Gy)

1 kilogram	1 kGy	100 kilorads
1 gray	1 Gy	100 rads
1 milligray	1 mGy	100 millirads
1 microgray	1 μ Gy	100 microrads
1 kilorad	1 krad	10 grays
1 rad	1 rad	10 milligrays
1 millirad	1 mrad	10 micrograys
1 microrad	1 μ rad	10 nanograys
1 microcurio	1 μ Ci	37 kilobecquerelios
1 nanocurio	1 nCi	37 becquerelios



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Conversiones

Prefijos estándar para las unidades de medida

Múltiplo	Prefijo	Símbolo
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a



REAC/TS

Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento

LIAs de Estados Unidos para radionúclidos asumidos

Emisión	Nucleido asumido	LIA Inh. (μCi)	dpm
alfa	Am-241	0.006 -W	1.3×10^4
beta	Sr-90	4 -Y	8.9×10^6
gamma	Cs-137	200 -D	4.4×10^8

Se enumeran los valores de LIA más restrictivos en FGR-11 (también se indica la clase de solubilidad).

Prefijos estándar para las unidades de medida

Nucleido	LIA Inh. (μCi)	dpm
H-3	80,000 (H_2O Vapor)	1.8×10^{11}
Co-60	30 -Y	6.7×10^7
U-235, 238	0.04 -Y	8.9×10^4
Pu-238	0.007 -W	1.6×10^4
Pu-239	0.006 -W	1.3×10^4
Cf-252	0.02 -W	4.4×10^4

Se enumeran los valores de LIA más restrictivos en FGR-11 (también se indica la clase de solubilidad).



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

LIAs de Estados Unidos para radionúclidos asumidos

Isótopo	Basado en*	Débil	Moderado	Fuerte	Ávido
Co-60	ED	1.54E+08	1.54E+08	1.65E+08	2.01E+08
Sr-90	BS	2.20E+07	2.20E+07	2.25E+07	2.38E+07
Tc-99m	ED	2.00E+11	2.56E+11	9.33E+11	8.78E+11
I-131	Thy	7.06E+07	8.01E+07	1.26E+08	3.46E+08
Cs-137	ED	2.20E+08	2.20E+08	2.23E+08	2.34E+08
Ir-192	ED	4.49E+08	4.66E+08	6.21E+08	1.69E+09
U-235	BS	8.23E+05	8.23E+05	8.29E+05	8.46E+05
U-238	BS	8.55E+05	8.55E+05	8.63E+05	8.78E+05
Pu-239	BS	1.81E+03	1.81E+03	1.85E+03	1.92E+03
Am-241	BS	1.65E+03	1.65E+03	1.68E+03	1.74E+03
Cf-252	BS	5.14E+03	5.15E+03	5.75E+03	7.96E+03

Punto de referencia ED = 5 rem (comprometido)

Punto de referencia de la dosis en órganos = 50 rem (comprometido)

*ED = dosis efectiva, BS = superficie ósea, Thy = tiroides



REAC/TS

Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento

Tasas de dosis aproximadas de los emisores gamma más comunes (unidades estadounidenses)

Radionúclidos/ vida media	Constante de la tasa de exposición* (R-cm ² /hr-mCi)	factor $f - *$	Superficie** (R/min-Ci)	Tasa de dosis a 1 cm de profundidad del tejido*** (R/min-Ci)	Tasa de dosis a 3 cm de profundidad del tejido*** (R/min-Ci)
Co-60/5.26y	12.9	0.965	609	114	16.0
Cs-137/30.17y	3.43	0.962	113	28	3.7
Ir-192/74d	4.60	0.964	180	43	5.5

*Constantes de tasa de exposición y valores de blindaje de plomo para más de 1,100 radionúclidos (Smith, Stabin - Física de la salud -2012).

**Principalmente debido a la acumulación de electrones en la pared de la cápsula. De Waller, et.al, póster IRPA 13 (abstracto 2350443).

***De NCRP Reporte No. 40, Anexo B, Tabla 6.

Notas: Factor f :- conversión entre la tasa de exposición en el aire y la tasa de dosis en el tejido. Asume una geometría de fuente puntual.

Dosis aproximadas de emisores gamma comunes (unidades SI)

Radionúclidos/ vida media	Constante de la tasa de exposición* (mSv-cm ² /hr-MBq)	factor $f - *$	Superficie** (mSv/min-GBq)	Tasa de dosis a 1 cm de profundidad del tejido*** (mSv/min-GBq)	Tasa de dosis a 1 cm de profundidad del tejido*** (mSv/min-GBq)
Co-60/5.26y	3.48	0.965	164.6	30.8	4.3
Cs-137/30.17y	0.927	0.962	30.5	7.6	1
Ir-192/74d	1.24	0.964	48.7	11.6	1.5

*Constantes de tasa de exposición y valores de blindaje de plomo para más de 1,100 radionúclidos (Smith, Stabin - Física de la salud -2012) convertido a partir de las unidades estadounidenses convencionales que figuran en la referencia.

**Principalmente debido a la acumulación de electrones en la pared de la cápsula. De Waller, et.al, póster IRPA 13 (abstracto 2350443).

***De NCRP Reporte No. 40, Anexo B, Tabla 6

Notas: Factor f :- conversión entre la tasa de exposición en el aire y la tasa de dosis en el tejido. Asume una geometría de fuente puntual.



REAC/TS

Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento

De especial interés para los médicos

Umbrales de lesión cutánea versus dosis agudas

Dosis	Efecto	Tiempo* (tiempo después de la exposición)
300 rads, 3 Gy	Epilación	14-21 días
600 rads, 6 Gy	Eritema	Al inicio, luego 14-21 días después
1000-1500 rads, 10-15 Gy	Descamación seca	2-3 semanas
1500 -2500 rads, 15-25 Gy	Descamación húmeda	2-3 semanas
>2500 rads, > 25 Gy	Ulceración profunda/necrosis	Depende de la dosis

*A dosis más altas, el tiempo hasta la aparición de los signos/síntomas puede reducirse.

Umbrales de los síndromes de irradiación aguda

Dosis	Síndrome	Signos/síntomas*
0-100 rads, 0-1 Gy	NA	Generalmente asintomático, potencialmente ligera caída de linfocitos después (cerca de 1 Gy).
>100 rads, > 1 Gy	Hematopoyético	Anorexia, náuseas, vómitos, granulocitosis inicial y linfocitopenia.
>6-800 rads, >6-8 Gy	Gastrointestinal	Náuseas severas tempranas, vómitos, diarrea acuosa, pancitopenia.
>2000 rads, > 20 Gy	Neurovascular	Náuseas/vómitos en la primera hora, postración, ataxia, confusión.
>2500 rads, > 25 Gy	Ulceración profunda/necrosis	Depende de la dosis.

*A dosis más altas, el tiempo hasta la aparición de los signos/síntomas puede reducirse.



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Puntos de tratamiento recomendados - Yoduro de potasio*

Adultos >40 años de edad con exposición tiroidea ≥ 5 Gy (500 rad)	130 mg/día
Adultos de 18 a 40 años con exposición tiroidea ≥ 0.1 Gy (10 rad)	130 mg/día
Mujeres embarazadas o en lactancia con exposición tiroidea ≥ 0.05 Gy (5 rad)	130 mg/día
Niños y adolescentes de 3 a 18 años con exposición tiroidea ≥ 0.05 Gy (5 rad)	65 mg/día
Infantes de 1 mes a 3 años de edad con exposición tiroidea ≥ 0.05 Gy (5 rad)	32 mg/día
Neonatos desde el nacimiento - 1 mes con exposición tiroidea ≥ 0.05 Gy (5 rad)	16 mg/día

*Véase el Informe 161 del NCRP para una discusión más detallada sobre el uso y los efectos secundarios.
Se pueden encontrar más orientaciones en el sitio web de la Administración de Alimentos y Medicamentos en:
<http://www.fda.gov/downloads/Drugs/GuidanceComplianceRegulatoryInformation/Guidances/ucm080542.pdf>



REAC/TS

*Centro de Asistencia de Emergencias
Radiológicas / Centro de Entrenamiento*

Otros sitios de referencia útiles

Centro de Asistencia de Emergencias Radiológicas / Centro de Entrenamiento (REAC/TS) : <https://orise.orau.gov/reacts>

Estimación temprana de la magnitud de la dosis interna y externa (REAC/TS): <https://orise.orau.gov/resources/reacts/documents/rapid-internal-external-dose-magnitude-estimation.pdf>

Instrucciones de uso / prospecto (DTPA y Azul de Prusia):
<https://orise.orau.gov/resources/reacts/radiation-countermeasures.html>

Manejo de Emergencias Médicas por Radiación:
<https://www.remm.nlm.gov/>