

# MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS

## Operadores de Instalaciones Radiodiagnóstico

J.Francisco Navarro Amaro  
(Unidad de Dosimetría de Radiaciones)  
Departamento de Medio Ambiente  
CIEMAT

# MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS

---

- INTRODUCCIÓN HISTÓRICA.
- MAGNITUDES FUNDAMENTALES EN DOSIMETRÍA
- RELACIONES ENTRE MAGNITUDES
- MAGNITUDES FUNDAMENTALES EN RADIOPROTECCIÓN.
- MAGNITUDES LIMITADORES Y OPERACIONALES.
- DOSIMETRÍA A PACIENTES

- **1875.-** Creación del BIMP para la normalización de los sistemas de magnitudes y unidades.
- **1895.-** Descubrimiento de los rayos X por W. C. Roentgen.
- **1922.-** Estudios epidemiológicos en radiólogos establecen que la incidencia de cáncer es más alta que en otros profesionales.
- **1925.-** Se crea la **ICRU** (Comisión Internacional de Unidades de radiación y medida) .
- **1928.-** Creación del Comité Internacional de Protección contra los Rayos X y el Radio. (En la década de los 50 cambia de nombre (**ICRP**) y amplía sus funciones).
- **1937-1952.-** La Guerra Mundial supone una interrupción total en materia de Protección contra las radiaciones ionizantes.
- **1953-1962.** Se crea la ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) encargada de elaborar fundamentos y recomendaciones en materia de protección radiológica .
  - ICRU define las magnitudes Exposición, Kerma, Dosis Absorbida, etc. (unidades Roentgen, rad,...).
- **1976.-** Publicación ICRP 26: Sistema de Limitación de Dosis .
- **1990.-** Publicación ICRP 60. Nuevas recomendaciones en materia de Protección Radiológica.
- **1991.-** RD 1891/1991. Reglamento sobre aparatos de Rayos X.
- **1996.-** Directiva Europea. (96/29 EURATOM) “Normas Básicas de Protección Sanitaria de los Trabajadores y la Población contra los riesgos que resultan de las Radiaciones Ionizantes” .
- 1997-2001.- Distintos reales decretos para definir criterios de calidad en Radioterapia, Radiodiagnóstico y medicina nuclear.
- **2001.-** Real Decreto 783/2001. “Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes” . (Transposición parcial de la directiva europea 96/29 EURATOM en materia de protección radiológica) .
- **2007-2008.-** Próxima publicación ICRP ?? . Aún en discusión .No habrá grandes cambios.

# GENERALIDADES SOBRE MAGNITUDES (I)

## CLASIFICACIÓN DE LAS MAGNITUDES RADIOLÓGICAS

- **MAGNITUDES RADIOMÉTRICAS.**
  - Magnitudes asociadas a un campo de radiación. (fluencia y flujo de energía y de partículas, energía radiante,...).
- **COEFICIENTES DE INTERACCIÓN.**
  - Magnitudes asociadas a la interacción de la radiación con la materia. (coeficiente de atenuación másico, lineal, sección eficaz, ...).
- **MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS.**
  - Magnitudes relacionadas con la medida de la energía absorbida y de su distribución. Derivan de las dos anteriores. (Dosis absorbida, Kerma, LET,...)
- **MAGNITUDES PARA LA MEDIDA DE LA RADIACTIVIDAD.**
  - Magnitudes asociadas con el campo de radiación producido por determinadas sustancias (Actividad, actividad específica, ..).
- **MAGNITUDES EN RADIOPROTECCIÓN.**
  - Magnitudes relacionadas con los efectos biológicos producidos por las radiaciones en determinados órganos o tejidos (Dosis Efectiva, Dosis Equivalente en órgano,...).

# MAGNITUDES EN DOSIMETRÍA (I)

## EXPOSICIÓN (X)

$$X = \frac{dQ \text{ [carga]}}{dm \text{ [masa]}}$$

Exposición es el cociente entre  $dQ$  y  $dm$ .  
 $dQ$ .- Es la carga total de los iones de un solo signo producidos en aire, cuando todos los  $e^-$  liberados por los fotones absorbidos en la masa  $dm$  hayan sido detenidos completamente en el seno del aire

**Unidad especial: Roentgen (R).**

**Unidad del S.I. : C / Kg.**

- Es la exposición producida por un haz de radiación X ó  $\gamma$  que absorbido en 1 Kg de masa de aire seco en condiciones normales de presión y temperatura, libera 1 culombio de carga de cada signo.

**Relación entre unidades especial y del S.I.**

$$- 1 \text{ C / Kg.} = 3876 \text{ R} \quad - 1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/Kg}$$

## EXPOSICIÓN (Observaciones)

- Es la magnitud más antigua de las magnitudes fundamentales radiológicas.
- Se entendió y definió antes la unidad (Roentgen) que la propia magnitud.
- Hace referencia únicamente al poder de ionización de la radiación X ó ? en un medio específico (aire) y en condiciones de equilibrio electrónico.
- El efecto medido (ionización en aire) es de escaso interés para el estudio de los efectos producidos por las radiaciones en los tejidos.
- Existen problemas de medición de la exposición para energías de fotones de unos pocos keV y por encima de varios MeV (difícil mantener en estas situaciones condiciones de equilibrio).
- Es una magnitud de paso hacia la Magnitud Dosis Absorbida .
- Dificultad de utilizar la unidad del SI ( C/kg) por su gran dimensión y difícil relación con el Roentgen ( R ).



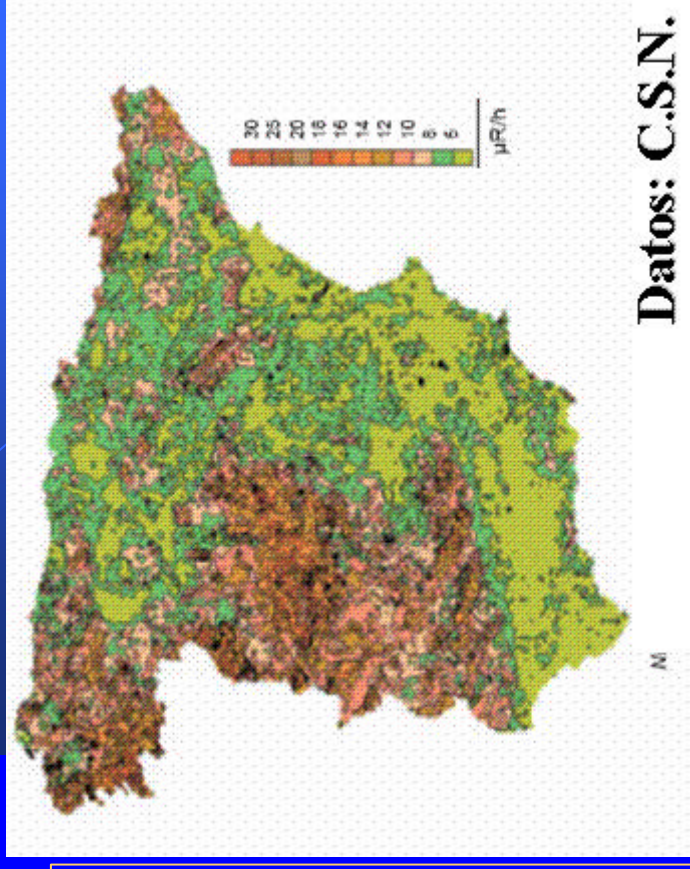
# MAGNITUDES EN DOSIMETRÍA (III)

## TASA DE EXPOSICIÓN

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

Representa la variación de la exposición (dX) en el intervalo de tiempo dt

Niveles medios de tasa de exposición a la radiación gamma natural en España



**Unidad especial : R/s (Roentgen /segundo)**

Se utilizan submúltiplos como:

R/h, mR/h , μR/h

**Unidad S.I. :C/Kg•s (Culombio / Kilogramo•s )**

Apenas se utiliza en la práctica por su desmesurada dimensión.

Ejemplos: Niveles medios de tasa de exposición a la radiación gamma natural en nuestro país .  
(Proyecto MARNA - CSN)



# MAGNITUDES EN DOSIMETRÍA (IV)

## DOSIS ABSORBIDA

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

Dosis absorbida es el cociente entre “dε” y “dm” donde:

“dε” es la energía media impartida por la radiación ionizante y absorbida en una cantidad de masa “dm” de un material específico.

**Unidad especial:** Rad.

**Unidad del S.I. :** Gray (Gy). (J/Kg)

1mGy = 10<sup>-3</sup> Gy; 1 µGy= 10<sup>-6</sup> Gy.

**Relación entre unidad especial y unidad del S.I.**

- 1 Gray = 100 rad      - 1 rad= 10<sup>-2</sup> Gy = 1 cGy

## TASA DE DOSIS ABSORBIDA

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Variación de la dosis absorbida dD en un pto. de un material en un intervalo de tiempo dt.

**Unidad especial:** rad / s

- Se utilizan submúltiplos  
rad/h; mrad/h.

**Unidad del S.I. :** Gy / s

- Se utilizan submúltiplos :  
mGy/h; µGy/h.



## DOSIS ABSORBIDA (Observaciones)

- Es la magnitud dosimétrica de mayor interés.
- Hace referencia a la energía impartida por la radiación ionizante de cualquier tipo y absorbida en un punto de un material específico.
- El efecto medido es de gran interés para estudios de radiobiología y protección contra las radiaciones.
- Fácil relación entre las unidades especiales y las del S.I.
- Es una magnitud que se relaciona de forma sencilla con otras magnitudes (Exposición , Kerma, Dosis Equivalente, etc.) .
- Es el pilar básico para el cálculo de las magnitudes limitadoras y operacionales .

# MAGNITUDES EN DOSIMETRÍA (IX)

## Transferencia Lineal de Energía (LET, L? )

$$L ? = \frac{dE}{dl}$$

Es la energía disipada por una partícula cargada al atravesar una longitud  $dl$  en todas aquellas colisiones con  $e^-$  en las que la pérdida de energía es  $< ?$  ).

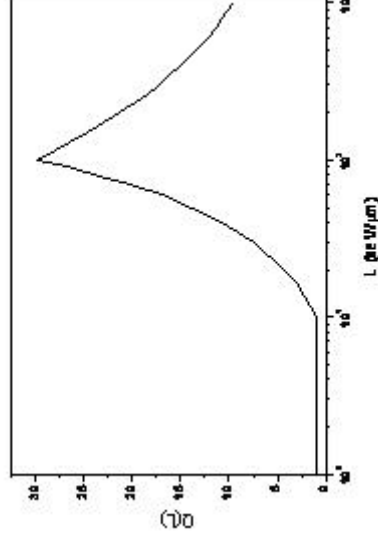
**Unidad del S.I.:** J/m

- Otras unidades: keV/ $\mu$ m, eV/m, MeV/m

**Consideraciones generales:**

El LET tiene gran importancia el Radiobiología y Radioprotección, pues sirve de base para el cálculo de los factores que ponderan la calidad de radiación en la evaluación del daño biológico. En nuestro reglamento se considera la Transferencia Lineal de Energía no restringida ( $L_{\infty}$ ). Si se consideran todas las colisiones en la pérdida de energía,  $L_{\infty} = L_{\text{total}}$  y el medio es agua.

Factor de Calidad  $Q$  en función del LET



# RELACIÓN ENTRE MAGNITUDES (I)

## RELACIÓN ENTRE EXPOSICIÓN Y D.ABSORBIDA

$$D = f \cdot X$$

. f está tabulado para distintos materiales y energías. (Tabla 3)

. f es aproximadamente 1 para todas las energías cuando el material irradiado es tejido blando y se utilizan las unidades antiguas.(rad, R).

D= Dosis absorbida en un pto. de un material

X= Exposición .

f= factor de relación entre X y D.

TABLA 3					
Factor f que relaciona DOSIS ABSORBIDA con EXPOSICIÓN para FOTONES de energías desde 10 keV a 2 MeV en condiciones de equilibrio					
Energía de fotones (keV)	Dosis absorbida/exposición				
	Agua		Hueso		Músculo
	Gy kg/C	rad/R	Gy kg/C	rad/R	Gy kg/C rad/R
10	35,4	0,914	135	3,48	35,8 0,925
15	35,0	0,903	150	3,86	35,8 0,924
20	34,7	0,895	158	4,09	35,8 0,922
30	34,4	0,888	165	4,26	35,7 0,922
40	34,5	0,891	157	4,04	35,9 0,925
50	35,0	0,903	137	3,53	36,1 0,932
60	35,6	0,920	113	2,91	36,5 0,941
80	36,7	0,946	75,4	1,94	36,9 0,953
100	37,2	0,960	56,2	1,45	37,2 0,960
150	37,6	0,971	41,3	1,065	37,4 0,964
200	37,7	0,973	38,1	0,982	37,4 0,965
300	37,8	0,974	36,6	0,944	37,4 0,966
400	37,8	0,974	36,3	0,936	37,4 0,966
500	37,8	0,975	36,2	0,933	37,4 0,966
600	37,8	0,975	36,1	0,932	37,4 0,966
800	37,8	0,975	36,1	0,931	37,4 0,966
1000	37,8	0,975	36,1	0,931	37,4 0,966
1500	37,8	0,975	36,0	0,930	37,4 0,966
2000	37,8	0,974	36,1	0,931	37,4 0,965

# MAGNITUDES EN RADIOPROTECCIÓN (I)

## DOSIS EQUIVALENTE EN UN PUNTO

$$H = D \cdot Q$$

D= Dosis absorbida en un pto. de un material

Q = factor de calidad de la radiación.

**Factor de calidad Q**.- Q es una constante adimensional que pondera la efectividad biológica de la calidad de radiación . (Se calcula observando la distribución de la energía a nivel microscópico : LET).

**Unidad especial:** Rem (\*).

**Unidad SI :** J/Kg. Sievert (Sv). (\*)

**Relación entre ambas unidades:**

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

(\*) Al ser Q una constante sin dimensión, la unidad de dosis equivalente del SI es también J/kg .

Para distinguir las unidades de Dosis equivalente H, de las de Dosis Absorbida , se utilizan nombres propios diferentes (Sievert y Gray respectivamente).

# MAGNITUDES EN RADIOPROTECCIÓN (II)

## TASA DE DOSIS EQUIVALENTE

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt}$$

Variación de la dosis equivalente dH en el intervalo de tiempo dt

Tasas de dosis equivalente debida a la radiación cósmica a diferentes altitudes

**Unidad especial:** rem/s.

(Se utilizan submúltiplos: rem/h, mrem/h)

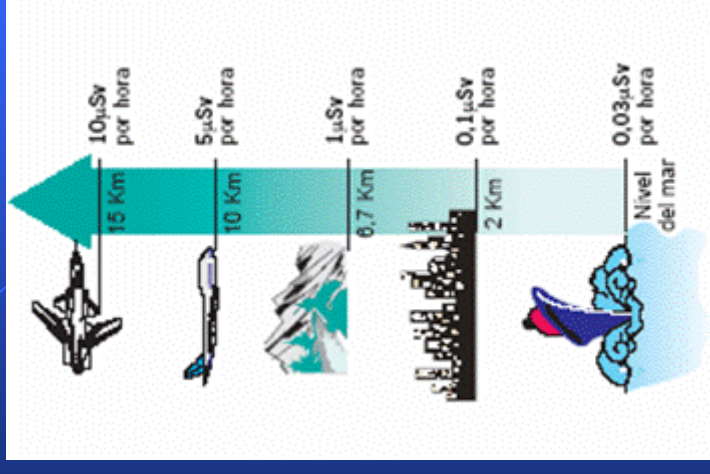
**Unidad SI :** Sievert / s . (Sv/s)

(Se utilizan submúltiplos:

mSv/h ; μSv/h

Ejemplo: Radiación cósmica a diferentes altitudes.

(Fuente de datos: Guía del Profesor. CSN)



## DOSIS EQUIVALENTE EN ORGANO: $H_T$

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Unidad SI: Sievert (Sv).

- $D_{T,R}$  .- Es la dosis absorbida promediada sobre el tejido u órgano T debida a la radiación R.
- $w_R$  .- Factor ponderal de radiación. Constante adimensional que pondera la radiación incidente en el órgano ó tejido

Los valores de  $w_R$  están tabulados y se señalan en la siguiente tabla:

Tipo de Radiación	Energía	$w_R$
Fotones	todas	1
Electrones, muones	todas	1
Neutrones	< 10 keV	5
	10 keV - 100 keV	10
	100 keV - 2 MeV	20
	2 MeV - 20 MeV	10
	>20 MeV	5
Protones, salvo los de retroceso	> 2MeV	5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados		20

## DOSIS EFECTIVA (E)

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

Unidad SI: Sievert (Sv).

La Dosis Efectiva E es la suma de las dosis ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo especificados en la normativa (RPSCRI 2001 – Anexo II) a causa de irradiaciones internas y externas.

- $H_T$  es la dosis equivalente en un tejido u órgano T
- $w_T$  es el factor de ponderación del tejido.

### FACTOR DE PONDERACION DEL TEJIDO (Anexo II: RPSCRI 2001)

TEJIDO	$w_T$
Gónadas	0.20
Mama, vejiga, hígado	0.05
Medula Ósea, colon, pulmón	0.12
estómago	0.12
Tiroides ,esófago	0.05
Superficie de los huesos, piel	0.01
Resto del organismo	0.05



## Magnitudes Limitadoras (Observaciones)

- Magnitudes para propósitos de **limitación**.
- El Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes de 2001 (B.O.E. n° 178 de 6 de julio de 2001) adopta las magnitudes limitadoras definidas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP 60, 1991)
  - **Dosis equivalente en un órgano T ( $H_T$ )**
  - **Dosis efectiva : E.**
- Las magnitudes limitadoras están basadas en unos factores ponderales de la radiación ( $w_R$ ) y de los tejidos ( $w_T$ ) tabulados. Estos valores se adoptan de los definidos en la publicación ICRP 60, 1991 .
- En nuestra normativa específica en materia de P.R. los factores ponderales de la radiación y el tejido están recogidos en el anexo 2 del RD 783/2001 Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes.

# MAGNITUDES LIMITADORAS Y OPERACIONALES(IV)

## MAGNITUDES OPERACIONALES PARA LA RADIACIÓN EXTERNA

- **$H_T$  y  $E$**  (magnitudes limitadoras vigentes) son imposibles de medir.
- Las “Magnitudes Operacionales” sirven para ESTIMAR de manera razonablemente conservadora a las “magnitudes limitadoras” .
- La magnitud relacionada con la vigilancia radiológica de los Trabajadores Expuestos (TE) a radiaciones ionizantes , actualmente vigentes en nuestra legislación es:

### **Dosis Equivalente Personal $H_p(d)$**

Valores distintos de “d” sirven para distinguir dosis equivalente debida a radiación débilmente penetrante y fuertemente penetrante.

- $H_p(d)$  medible con un detector que se lleva en la superficie del cuerpo (dosímetro) y cubierto con espesores apropiados de material equivalente a tejido.

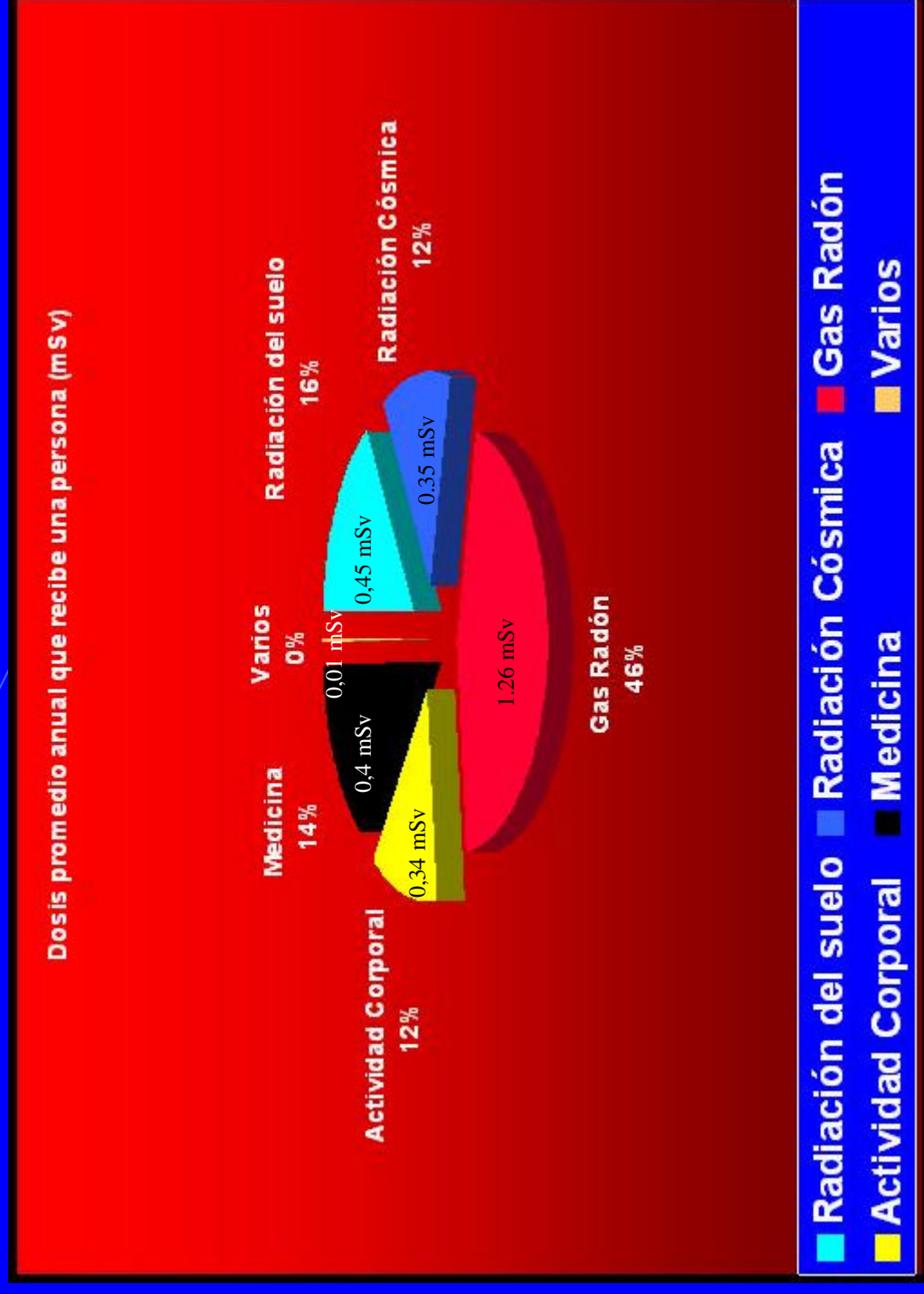
# MAGNITUDES LIMITADORAS Y OPERACIONALES(V)

## MAGNITUDES OPERACIONALES PARA LA VIGILANCIA INDIVIDUAL

**Dosis equivalente personal  $H_p(d)$ .**- Es la dosis equivalente en tejido blando situado por debajo de un pto. especificado sobre el cuerpo y a una profundidad apropiada **d**.  
**Unidad S.I. : Sievert**

- Para distintos valores de la profundidad “d” tenemos:
  - Para radiación debilmente penetrante se recomienda una profundidad de:
    - $d=0.07$  mm. para la piel  **$H_p(0,07)$**
    - $d=3$  mm. para el cristalino  **$H_p(3)$**
  - Para radiación fuertemente penetrante se recomienda una profundidad de:
    - $d=10$  mm.  **$H_p(10)$**

# DOSIMETRÍA: Magnitudes Limitadoras y Operacionales(VI)



# DOSIMETRÍA A PACIENTES (I)

## Dosis integral (Energía Impartida)

- Es la suma de los productos de las dosis en cada elemento de masa por los valores de esos elementos de masa. Si la dosis es constante en todo el material, la dosis integrada es el producto de la dosis por la masa irradiada. Unidad: Julio (J)

## Dosis a la entrada del paciente (En superficie)

- Se debe conocer adicionalmente la contribución de la radiación retrodispersada en un punto cercano de la superficie de la piel. ( Factor de Retrodispersión) que tiene en cuenta el "exceso" de dosis que aparece como consecuencia de los fotones retrodispersados en el tejido.

### Factor de retrodispersión.-

- Varía con la energía de los fotones y con el tamaño de área irradiada (1,0 - 1,8)
- Está Tabulado en función del kVp, campo y filtración del tubo de rayos X)

- El valor de la Dosis a la entrada no siempre es muy indicativo del riesgo al que se expondrá el paciente. Un haz muy poco filtrado puede dar alta dosis a la entrada y poca dosis en profundidad.

ORD-OP-GR-PW5

©

CSN-CIEMAT – 2006

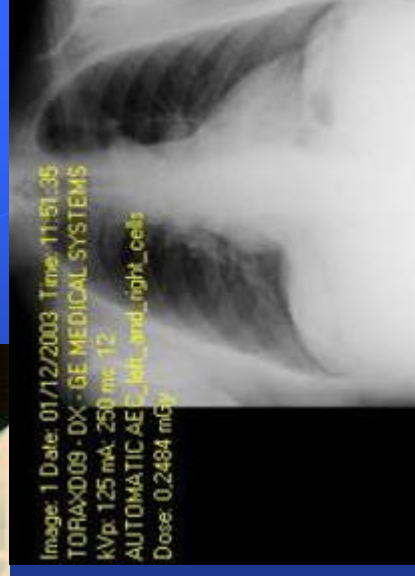


Image: 1 Date: 01/12/2003 Time: 11:51:35  
TORAXD09 - DX - GE MEDICAL SYSTEMS  
KVp: 125 mA: 250 mAs: 12  
AUTOMATIC AEC left and right cells  
Dose: 0.2484 mGy

## Dosis en órganos

- Permite estimar con precisión el riesgo que tendrá el paciente como consecuencia de la irradiación.
  - En radiodiagnóstico, las diferentes edades de los pacientes y las altas dosis que se pueden alcanzar en algunos órganos, hace que éste parámetro sea el utilizado por la mayoría de los países de la CE para la estimación del riesgo.
- Estas dosis sólo se pueden medir directamente en órganos superficiales como mama, tiroides o testículos.
- Para la medida directa de dosis en órganos profundos, tales como útero o pulmón, hay que recurrir al uso de maniqués que simulan el cuerpo humano y sobre los que se hace una reproducción de la exploración radiológica con idéntico protocolo al que se utilizará para pacientes.

Table III. Average values weighted in terms of the number of examinations per room for the ESD, and the number of rooms and the total number of examinations studied per year at the hospitals named.

Study	Reference ESD (mGy)	Hospital	Year	ESD (mGy)	No. Rooms	No. Exams
Mammography	10	Valdesilla	1994	16.1	1	254
			1995	10.7	1	234
			1996	7.3	2	190
			1997	4.9	2	171
			1998	3.7	2	204
			1999	10.0	2	211
		Torrelavega	2000	14.0	2	289
			2001	18.8	2	187
			2002	11.7	2	358
		Laredo	1995	16.6	1	46
			1999	9.0	1	40
			2000	5.3	1	43
		Torrelavega	2001	7.5	1	211
			2002	7.6	1	60
		Laredo	2000	14.5	1	52
			2001	7.4	1	148
			2002	7.9	1	54

Table I. Shows the results of BOD for examinations of pelvis, abdomen.

Organs	Pelvis AP	Organs	Abdomen AP
Testicles	1.10184	Stomach	0.49812
Upper large int.	0.45474	Upper large int.	0.49675
Small intestine	0.39282	Gall bladder	0.49076
Lower large inte.	0.36963	Small intestine	0.4079
Ovaries	0.32843	Lower large int.	0.32913
Skin	0.13772	Ovaries	0.3169
ED (mSv)	0.25		0.2
Sample size	14		24

# DOSIMETRÍA A PACIENTES (III)

Ej:Dosis típicas en mGy en exámenes TC (Shrimpton et al. 1991)

Examen TC	Ojos	Tiroides	Torax	Útero	Ovarios	Gónadas
Cabeza	50	1.9	0.03	*	*	*
Cervicales	0.62	44	0.09	*	*	*
Columna (r.torácica)	0.04	0.46	28	0.02	0.02	*
Tórax	0.14	2.3	21	0.06	0.08	*
Abdomen	*	0.05	0.72	8.0	8.0	0.7
L. Spine	*	0.01	0.13	2.4	2.7	0.06
Pelvis	*	*	0.03	26	23	1.7

El símbolo \* indica que la dosis es < 0.005 mGy



## Ej: Dosis Efectiva en CT y Exámenes Radiográficos

Tomografía computerizada	Dosis efectiva (mSv)	Exámenes Radiográficos	Dosis efectiva (mSv)
Cabeza	2	Cráneo	0.07
Tórax	8	Tórax	0.02
Abdomen	10-20	Abdomen	1.0
Pelvis	10-20	Pelvis	0.7

Dosis efectivas características de la radiación ionizante procedente de las técnicas habituales de diagnóstico por imagen

Clase	Dosis efectiva característica (mSv)	Ejemplos
0	0	Ecografía, RM
I	< 1	Radiografía de tórax de extremidades o de pelvis
II <sup>(1)</sup>	1-5	UIV, RX de la columna lumbar, MN (por ejemplo, gammagrafía ósea), TC de cabeza y cuello
III	5-10	TC de tórax y abdomen, MN (por ejemplo, cardíaca)
IV	>10	Algunas pruebas de MN (por ejemplo, PET)

<sup>(1)</sup> La dosis media anual de radiación de fondo en casi toda Europa se encuentra en este espectro.

