

Tema 8

Magnitudes y Unidades en Radiología intervencionista

Objetivo

Cómo se puede y se debe expresar la dosis en radiología intervencionista

- pros y contras de cada magnitud

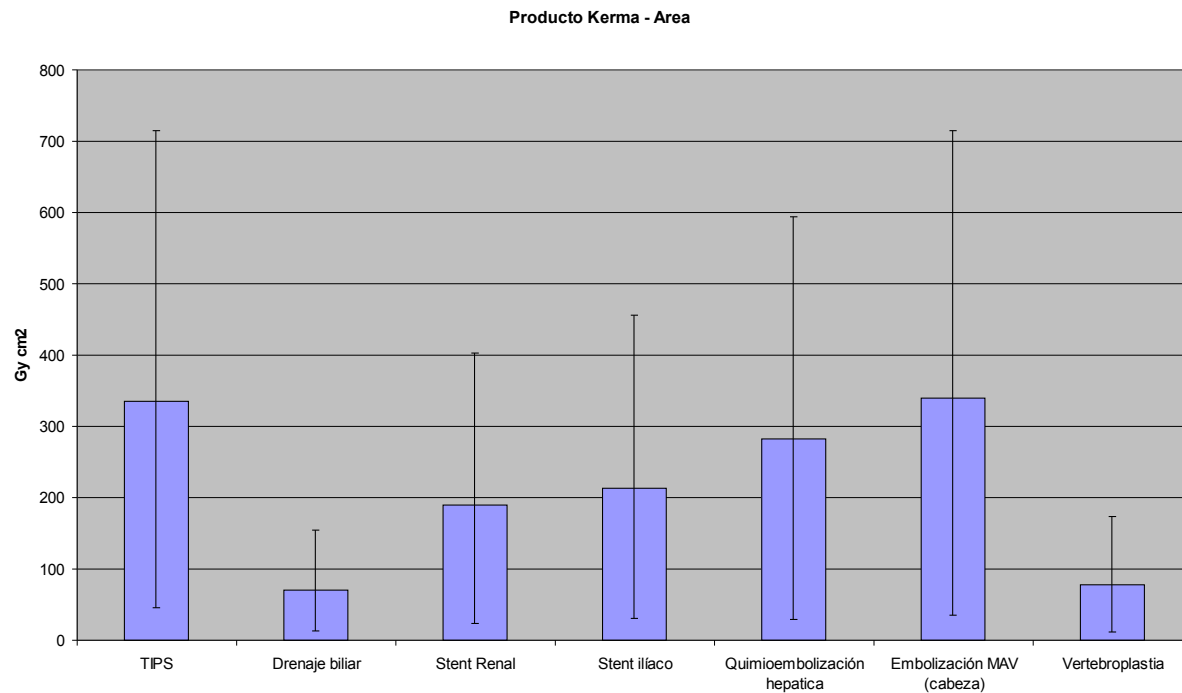
- Imposible medir la dosis de radiación en el interior del paciente.
- Por tanto, **medimos** en aire (sin paciente) y **calculamos** en el interior o superficie del paciente.

Radiation Doses in Interventional Radiology Procedures: The RAD-IR Study

Part I: Overall Measures of Dose

Donald L. Miller, MD, Stephen Balter, PhD, Patricia E. Cole, PhD, MD, Hollington T. Lu, MS, MA, Beth A. Schueler, PhD, Michael Geisinger, MD, Alejandro Berenstein, MD, Robin Albert, MD, Jeffrey D. Georgia, MD, Patrick T. Noonan, MD, John F. Cardella, MD, James St. George, MD,¹ Eric J. Russell, MD, Tim W. Malisch, MD,² Robert L. Vogelzang, MD, George L. Miller III, MD,³ and Jon Anderson, PhD

J Vasc Interv Radiol 2003; 14:711-727



- La dosis es muy variable entre procedimientos y entre centros.
- Es necesario la monitorización individual de la dosis.

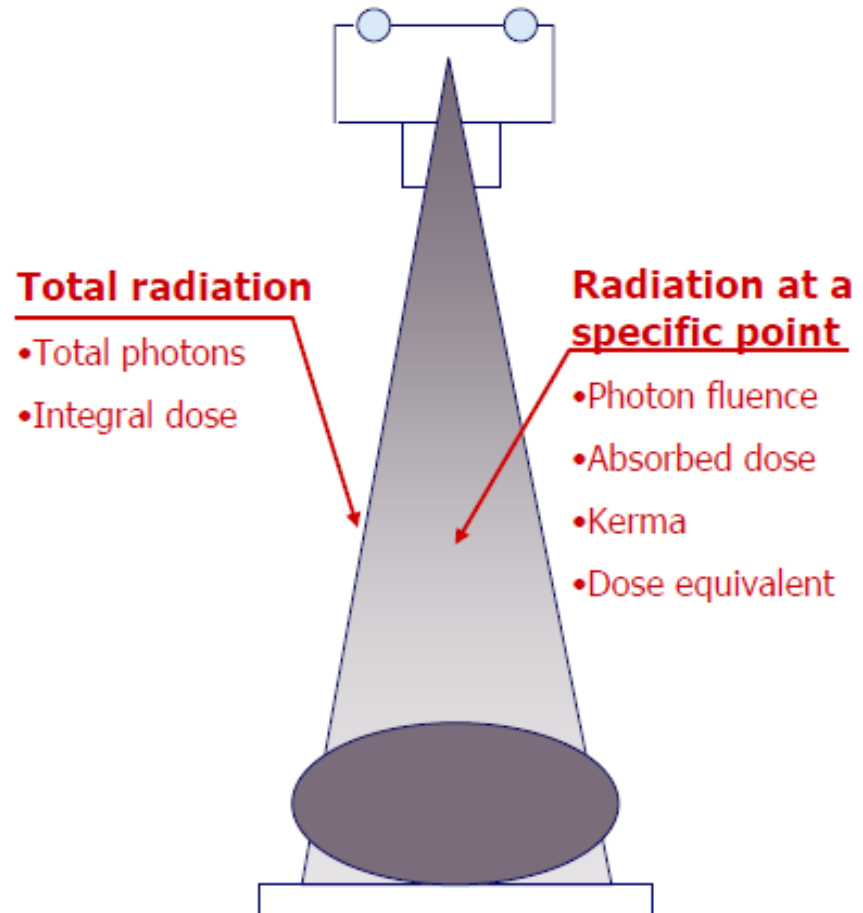
Magnitudes y unidades

- Magnitudes de dosis fuera del paciente
- Magnitudes de dosis para estimar el riesgo de daño a la piel y efectos que tienen umbral
- Magnitudes de dosis para estimar el riesgo estocástico

Magnitudes de dosis fuera del paciente

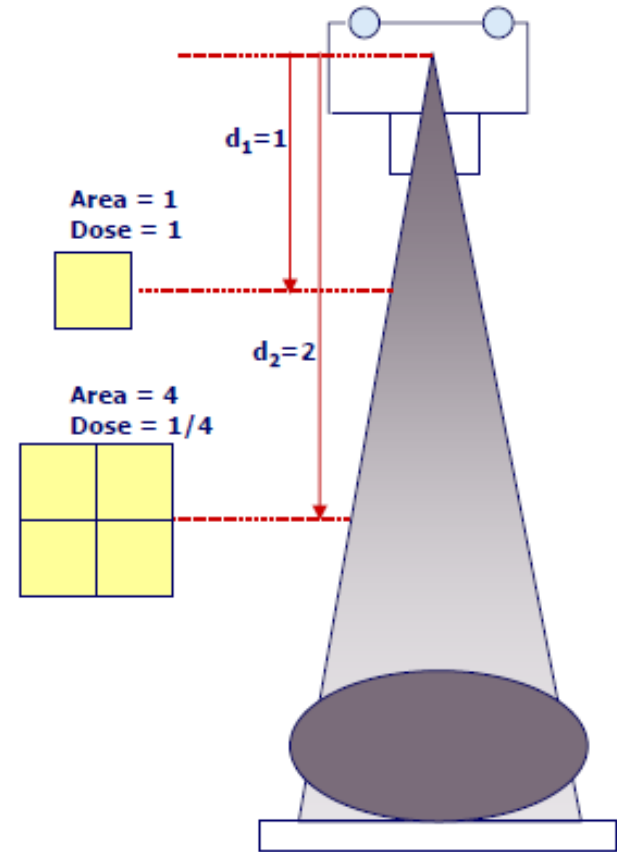
Empleadas para
caracterizar el haz de
RX:

- Magnitudes que expresan la cantidad de radiación del haz
- Magnitudes que expresan la dosis en un punto



Magnitudes de dosis fuera del paciente

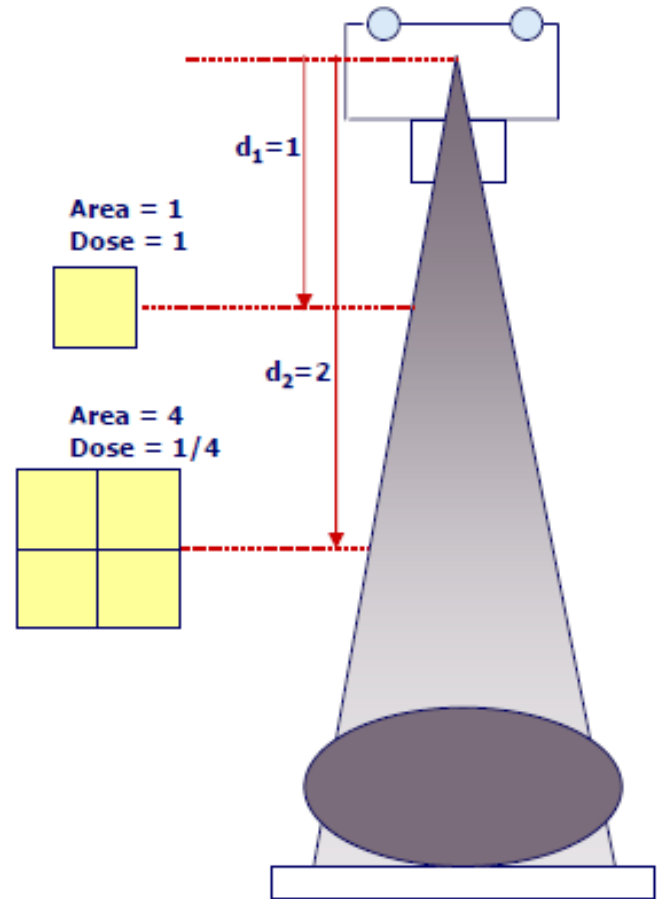
- Haz de RX emitidos por una fuente casi puntual
 - Se dispersa continuamente desde que sale del foco
 - Todos los fotones que pasan por Area 1 pasan tambien por Area 4 – la cantidad de radiación es siempre la misma
 - La concentración de dosis es inversamente proporcional a la distancia a la fuente (ley inverso cuadrado)



$$D_1 = D_2 \cdot (d_1/d_2)^2$$

Producto dosis área

- $PDA = D * Area$
- Las unidades son $Gy\ cm^2$
- Pueden presentarse en otras unidades: $\mu Gy\ cm^2$, $cGy\ cm^2$
- PDA no depende de la distancia a la que se mida
- Normalmente se mide a la altura de los diafragmas.



Ejemplo 1: Evaluación de PDA (PKA)

- Paciente 24 cm, FOV 17 cm; FDD = 100 cm, fluoro pulsada baja → 95 kV, 47 mA, 15 p/s

→ Dosis (kerma) en aire en un minuto @ FSD
= 70 cm : 18 mGy

→ Area @ 70 cm = $11.9 \times 11.9 = 141.6 \text{ cm}^2$

PDA = $18 \times 141.6 = 2.55 \text{ Gy cm}^2$

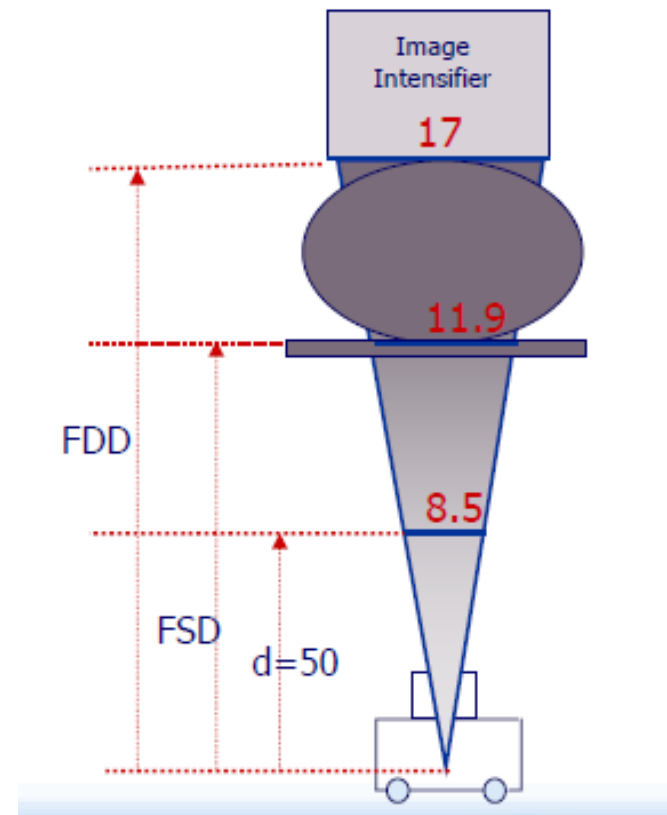
→ Dosis (kerma) en aire en un minuto @ FSD
= 50 cm : 35.3 mGy

→ Area @ 50 cm = $8.5 \times 8.5 = 72.2 \text{ cm}^2$

PDA = $35.3 \times 72.2 = 2.55 \text{ Gy cm}^2$

PDA no depende de la distancia del dosímetro al foco de radiación.

FDD = focus-detector distance
FSD = focus-skin distance



Ejemplo 2: Evaluación de PDA (PKA)

- Paciente 24 cm, FOV 17 cm; FDD = 100 cm, fluoro pulsada baja → 95 kV, 47 mA, 15 p/s

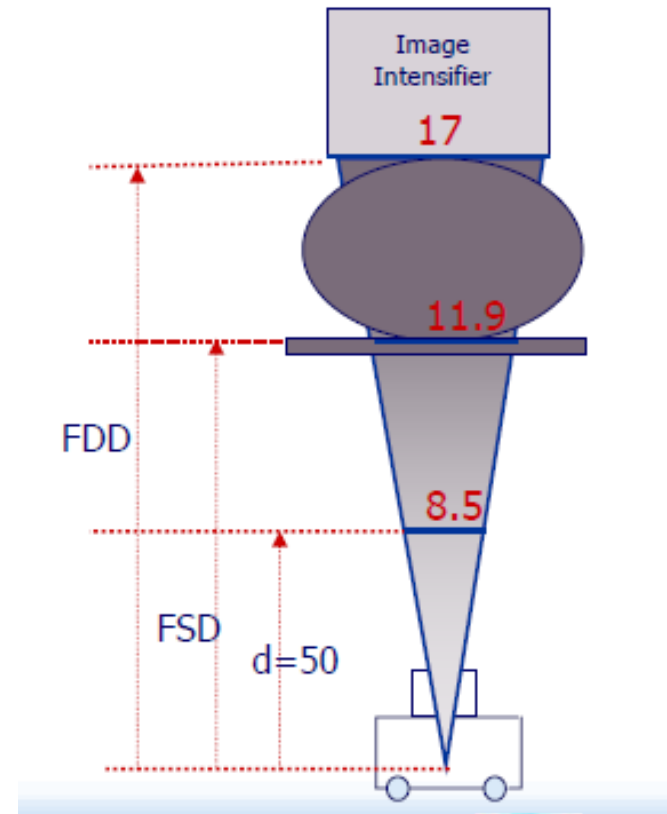
→ Dosis (kerma) en aire en un minuto @ FSD = 70 cm : 18 mGy

→ Area @ 70 cm = $11.9 \times 11.9 = 141.6 \text{ cm}^2$
PDA = $18 \times 141.6 = 2.55 \text{ Gy cm}^2$

→ → Area @ 50 cm = $15 \times 15 = 225 \text{ cm}^2$
PDA = $18 \times 225 = 4.5 \text{ Gy cm}^2$

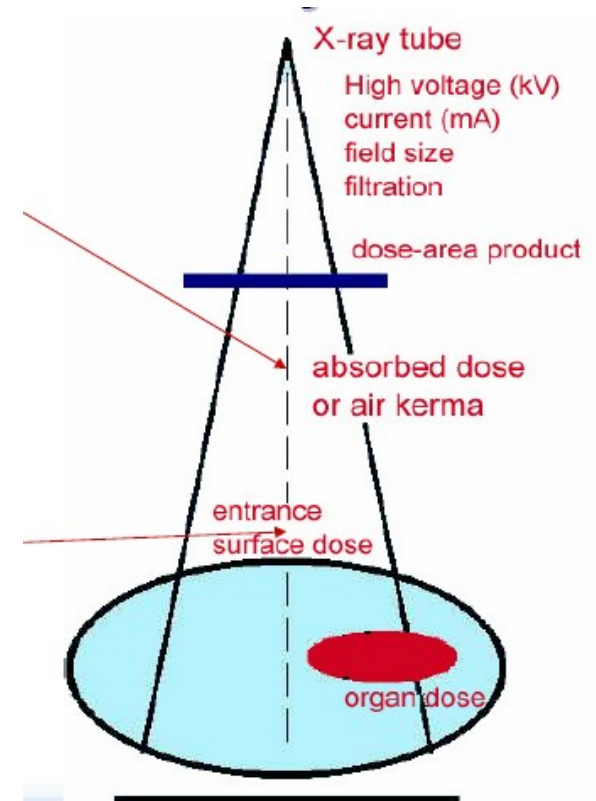
PDA aumenta linealmente con el área de radiación.

FDD = focus-detector distance
FSD = focus-skin distance



Magnitudes fuera del paciente

- Dosis absorbida (kerma aire)
 - Energía absorbida por unidad de masa
- Dosis superficie entrada (kerma aire)
 - Incluye la radiación dispersa del paciente (20-40% más dosis que en aire)
- La unidad en el sistema internación de Dosis/Kerma es el Gray [Gy]



Medida de dosis



- La dosis en el haz de RX se mide con dosímetros:
 - Cámaras de ionización
 - Semiconductores
 - Termoluminiscencia (TLD)
 -

Medida de dosis

- Dosis a la entrada del paciente en condiciones simuladas
 - 20 cm de PMMA
- Diferentes configuraciones
 - FOV
 - Distancia foco paciente
 - Distancia foco detector
 - Modos de fluoroscopia (bajo, medio, alto)
 - Modo cine (alta, baja)



Medida de dosis

- La dosis a los operadores debido a la radiación dispersa (Compton) se puede medir en tiempo real con detectores de área portátiles.



Detrás de la mampara dosis 25 $\mu\text{Gy/h}$

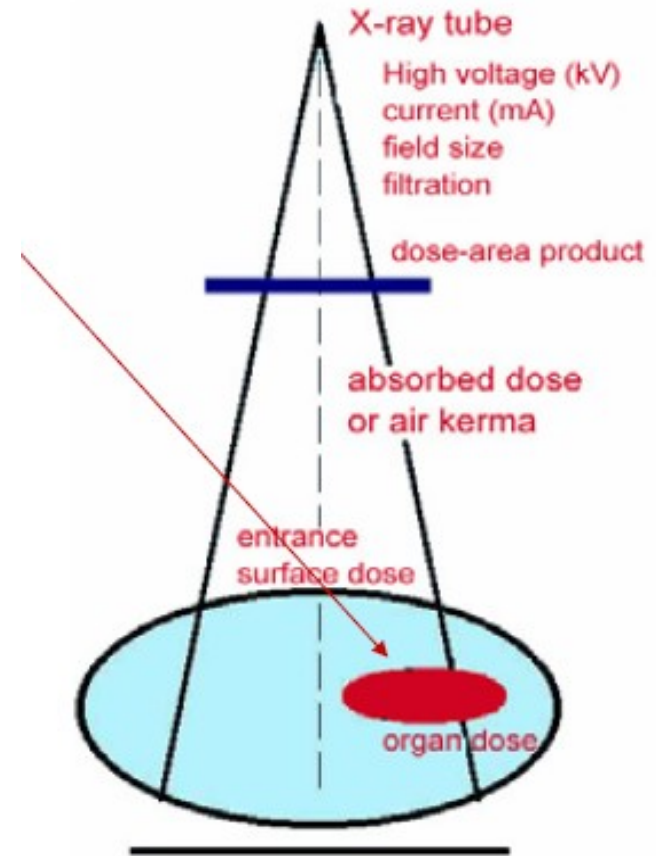
Dosis absorbida en tejido y en aire

- Depende de la exacta composición del tejido de interés y de la calidad del haz de radiación.
- P.e., para 80 kV, 2.5 mmAl de filtración

Dosis en tejido = 1.06 x dosis en aire

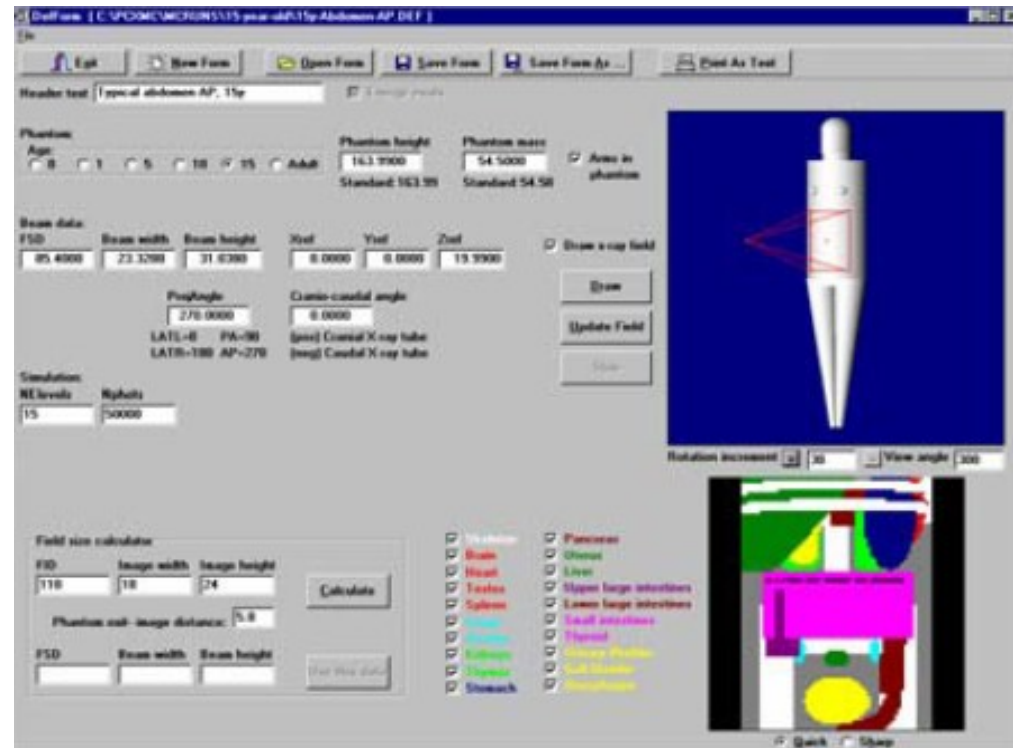
Magnitud de dosis en el interior del paciente

La dosis media (D) en el tejido u órgano es la energía depositada dividido por la masa del órgano
[1Gray = 1 Julio/kilogramo]



Evaluación de dosis en órganos

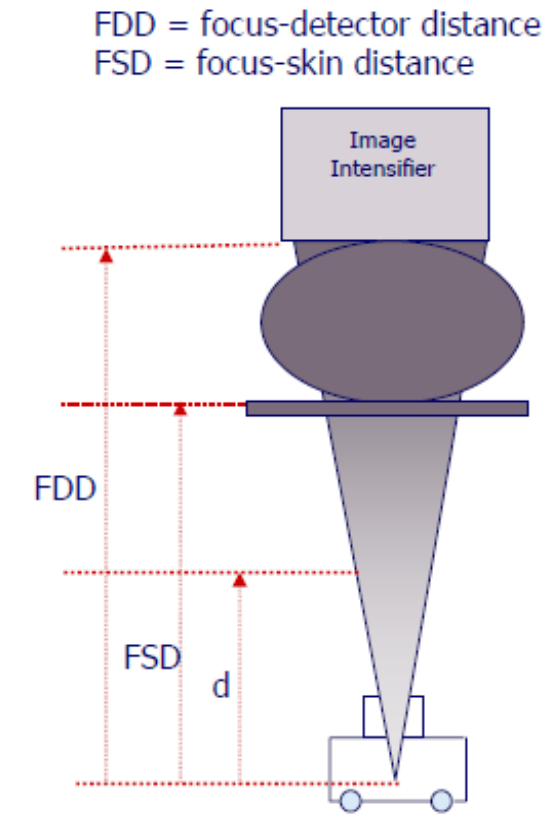
- La dosis en órganos no puede ser medida en los pacientes
 - Se puede medir en maniquíes antropomórficos
 - Se puede calcular empleando software dedicado.



Ejemplo 1: Tasa de dosis a diferentes distancias

- FOV=17 cm, grosor paciente=24 cm
- Fluoro 15 pulsos/s; 95 kV, 47 mA
- Medimos una tasa de dosis en la superficie de entrada (tasa de kerma en aire) a FSD=70cm : 18 mGy/min
- Queremos calcular la tasa de dosis a d=50 cm
- Aplicando la ley del inverso del cuadrado

$$18 \cdot \left(\frac{70}{50} \right)^2 = 18 \cdot 1.96 = 35.3 \text{ mGy/min}$$



Ejemplo 2: Variación de dosis en la superficie de entrada con la calidad de la imagen

- FOV=17 cm, grosor paciente=24 cm
- Fluoro 15 pulsos/s; 95 kV
- 1. Fluoro Baja → 47 mA

Tasa de dosis en aire (tasa de kerma en aire) =
18 mGy/min

Tasa de dosis en la piel del paciente incluyendo
retrodispersión y conversión aire-tejido

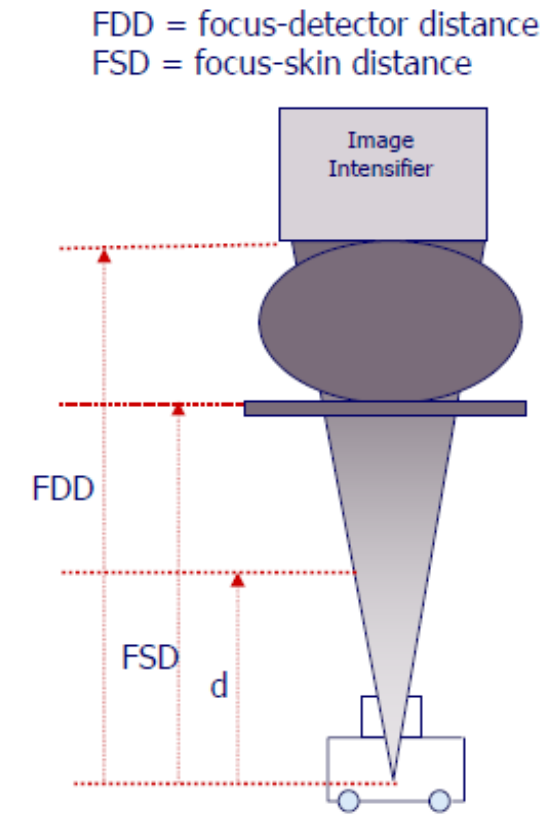
$$\text{ESD} = 18 * 1.3 * 1.06 = 24.8 \text{ mGy/min}$$

- 2. Fluoro normal → 130 mA

Tasa de dosis en aire (tasa de kerma en aire) =
52 mGy/min

Tasa de dosis en la piel del paciente incluyendo
retrodispersión y conversión aire-tejido

$$\text{ESD} = 52 * 1.3 * 1.06 = 71.6 \text{ mGy/min}$$



Ejemplo 3: Variación de tasa de dosis con el grosor del paciente

- FOV=17 cm, Fluoro baja 15 pulsos/s;
95 kV

Medimos

- Grosor de paciente 20 cm → tasa de dosis en la superficie del paciente incluyendo retrodispersión

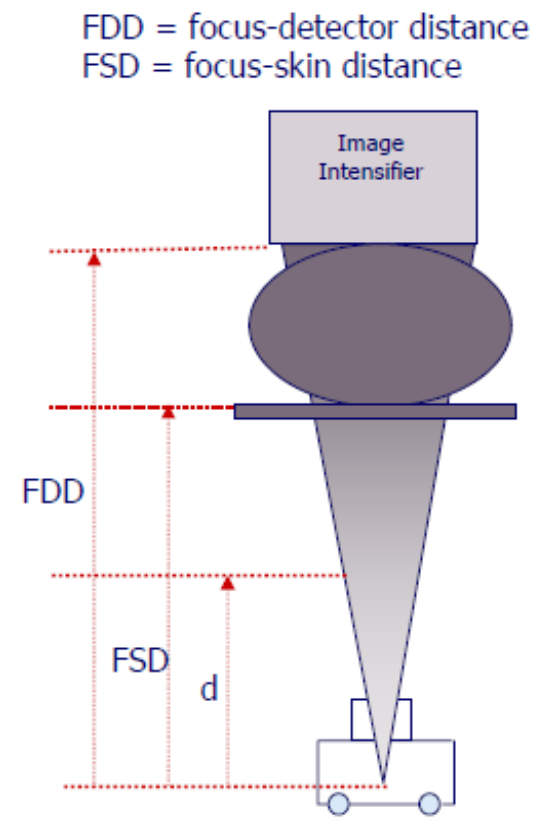
DEP= 19 mGy/min

- Grosor de paciente 20 cm → tasa de dosis en la superficie del paciente incluyendo retrodispersión

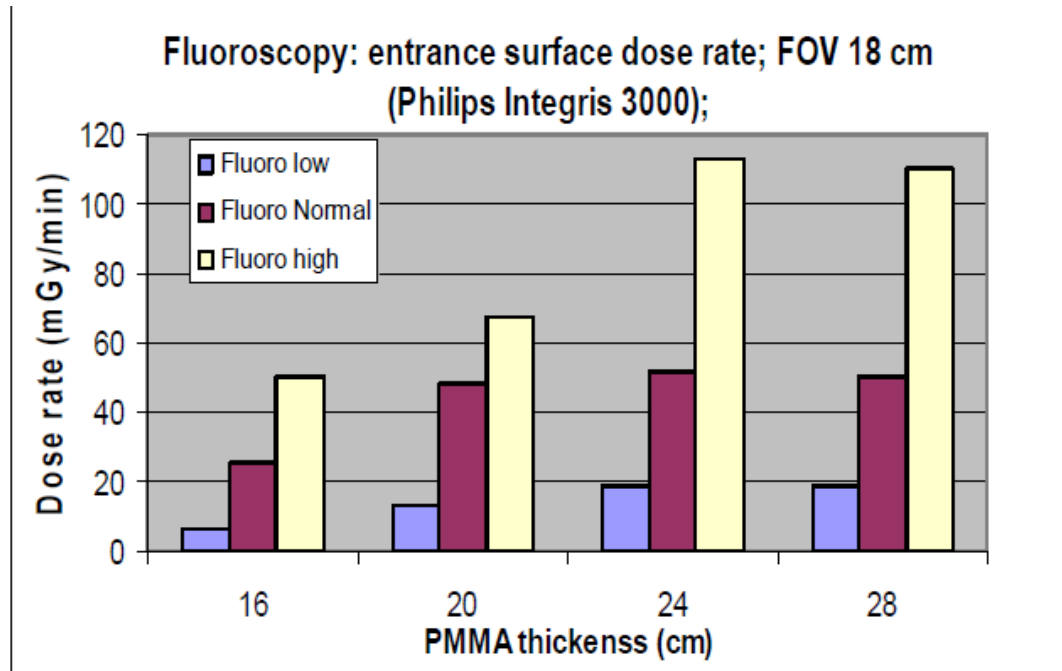
DEP= 25.2 mGy/min

- Grosor de paciente 20 cm → tasa de dosis en la superficie del paciente incluyendo retrodispersión

DEP= 33.3 mGy/min

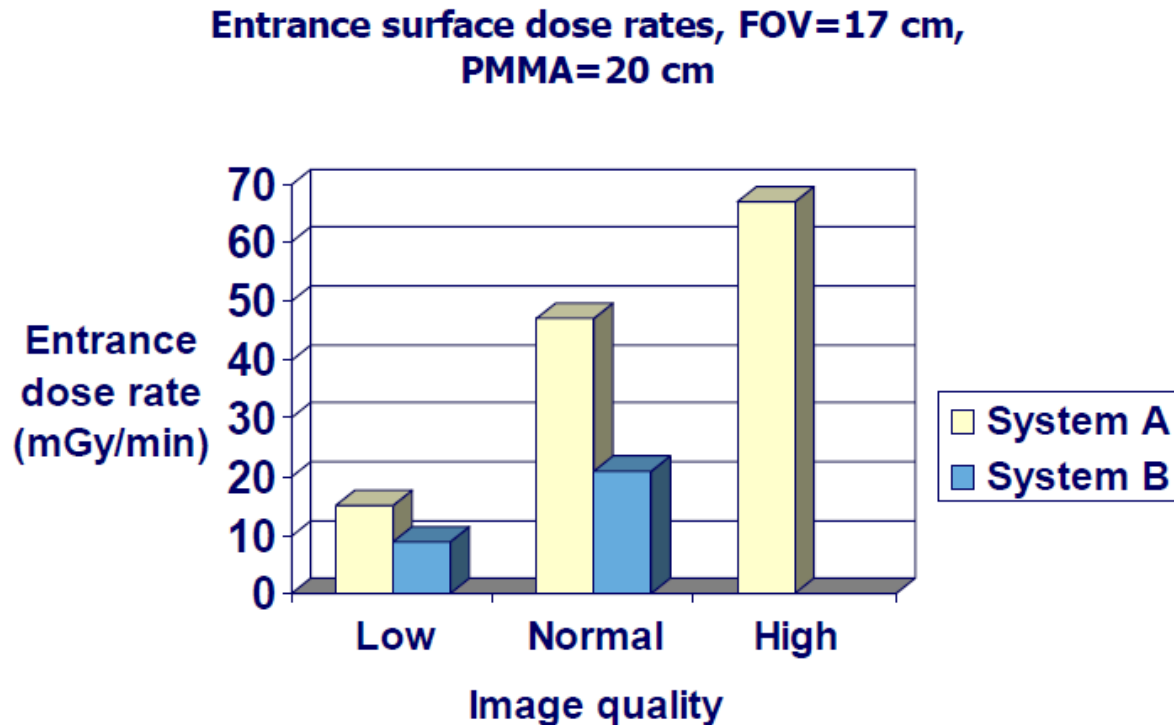


Ejemplo 4



- La tasa de dosis a la entrada del paciente aumenta con la calidad de la imagen y grosor del paciente.

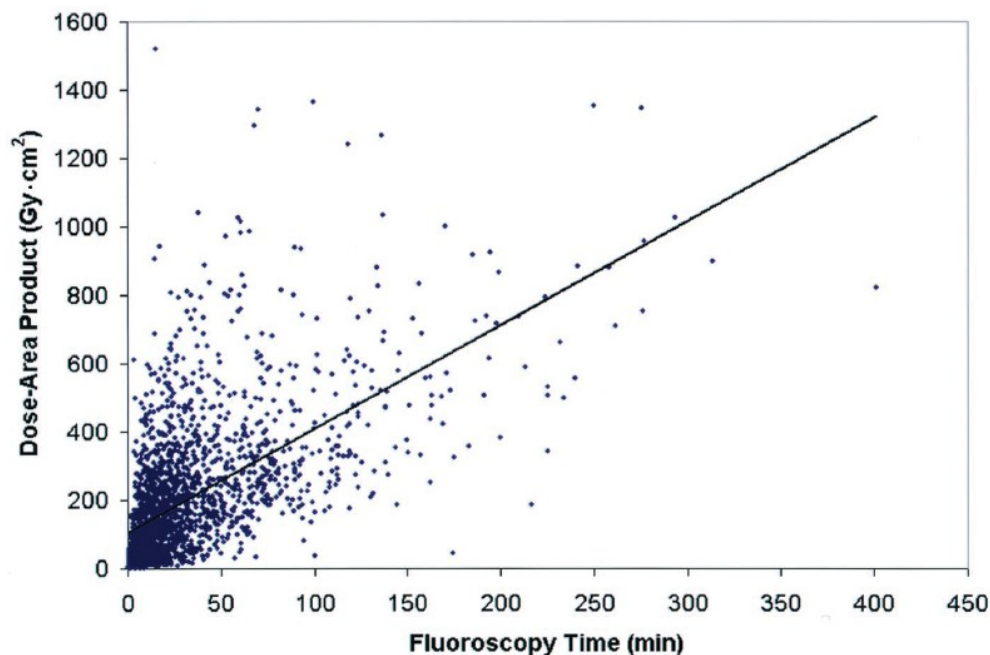
Ejemplo 5: Variación de tasa de dosis a la entrada del paciente con el equipo



Entrance surface dose rates can be very different between systems !!!!!

Otras magnitudes fuera del paciente

- Tiempo de fluoroscopia
 - Tiene poca correlación con PDA
 - Pero puede adoptarse como primera medida de control de calidad



**Radiation Doses in Interventional Radiology
Procedures: The RAD-IR Study**
Part I: Overall Measures of Dose

Donald L. Miller, MD, Stephen Balter, PhD, Patricia E. Cole, PhD, MD, Hollington T. Lu, MS, MA,
Beth A. Schueler, PhD, Michael Geisinger, MD, Alejandro Berenstein, MD, Robin Albert, MD,
Jeffrey D. Georgia, MD, Patrick T. Noonan, MD, John F. Cardella, MD,
James St. George, MD,¹ Eric J. Russell, MD, Tim W. Malisch, MD,² Robert L. Vogelzang, MD,
George L. Miller III, MD,³ and Jon Anderson, PhD

2142
procedimientos
intervencionistas

Dosis en piel

- En algunos casos la dosis en piel en un procedimiento es del orden de la dosis administrada en una sesión de radioterapia.
- La dosis de radiación es muy variable.
- Dosis máxima en piel (Peak Skin Dose, PSD), es la dosis máxima que recibe cualquier porción de piel. Se mide en Gy.

Avoidance of radiation injuries from
medical interventional procedures

ICRP Publication 85

Approved by the Commission in September 2000

Efectos deterministas en piel

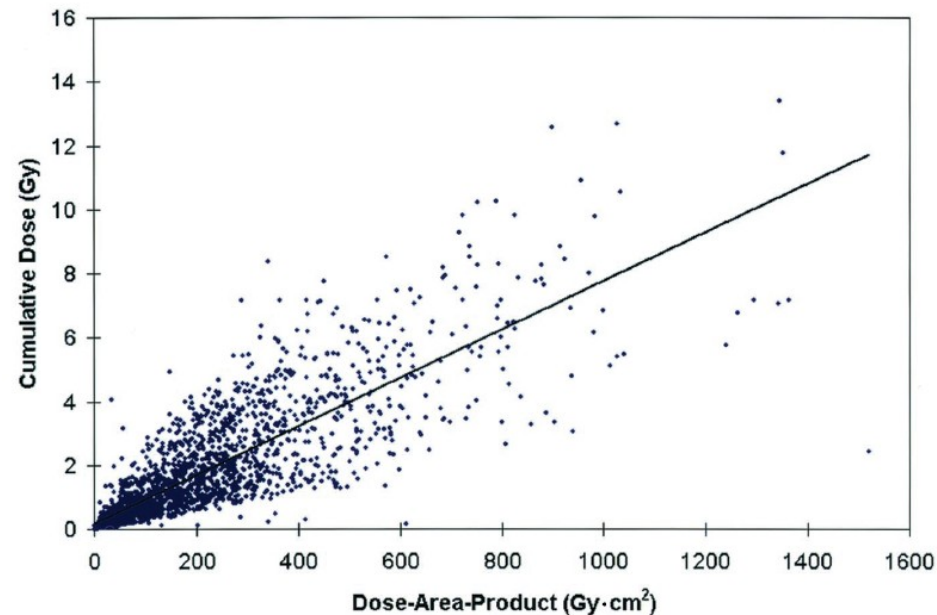
Effect	Approximate threshold dose (Gy)	Time of onset	Minutes of fluoroscopy at typical normal dose rate of 0.02 Gy/min (20 mGy/min = 2 rad/min) ^c	Minutes of fluoroscopy at typical high dose rate of 0.2 Gy/min (200 mGy/min = 20 rad/min) ^c
SKIN^a				
Early transient erythema	2	2–24 hours	100	10
Main erythema reaction	6	≈1.5 weeks	300	30
Temporary epilation	3	≈3 weeks	150	15
Permanent epilation	7	≈3 weeks	350	35
Dry desquamation	14	≈4 weeks	700	70
Moist desquamation	18	≈4 weeks	900	90
Secondary ulceration	24	> 6 weeks	1200	120
Late erythema	15	8–10 weeks	750	75
Ischaemic dermal necrosis	18	> 10 weeks	900	90
Dermal atrophy (1st phase)	10	> 52 weeks	500	50
Telangiectasis	10	> 52 weeks	500	50
Dermal necrosis (delayed)	> 12	> 52 weeks	750	75
Skin cancer	none known	> 15 years	N/A	N/A

Ejemplo 1: Evaluación de dosis máxima en piel

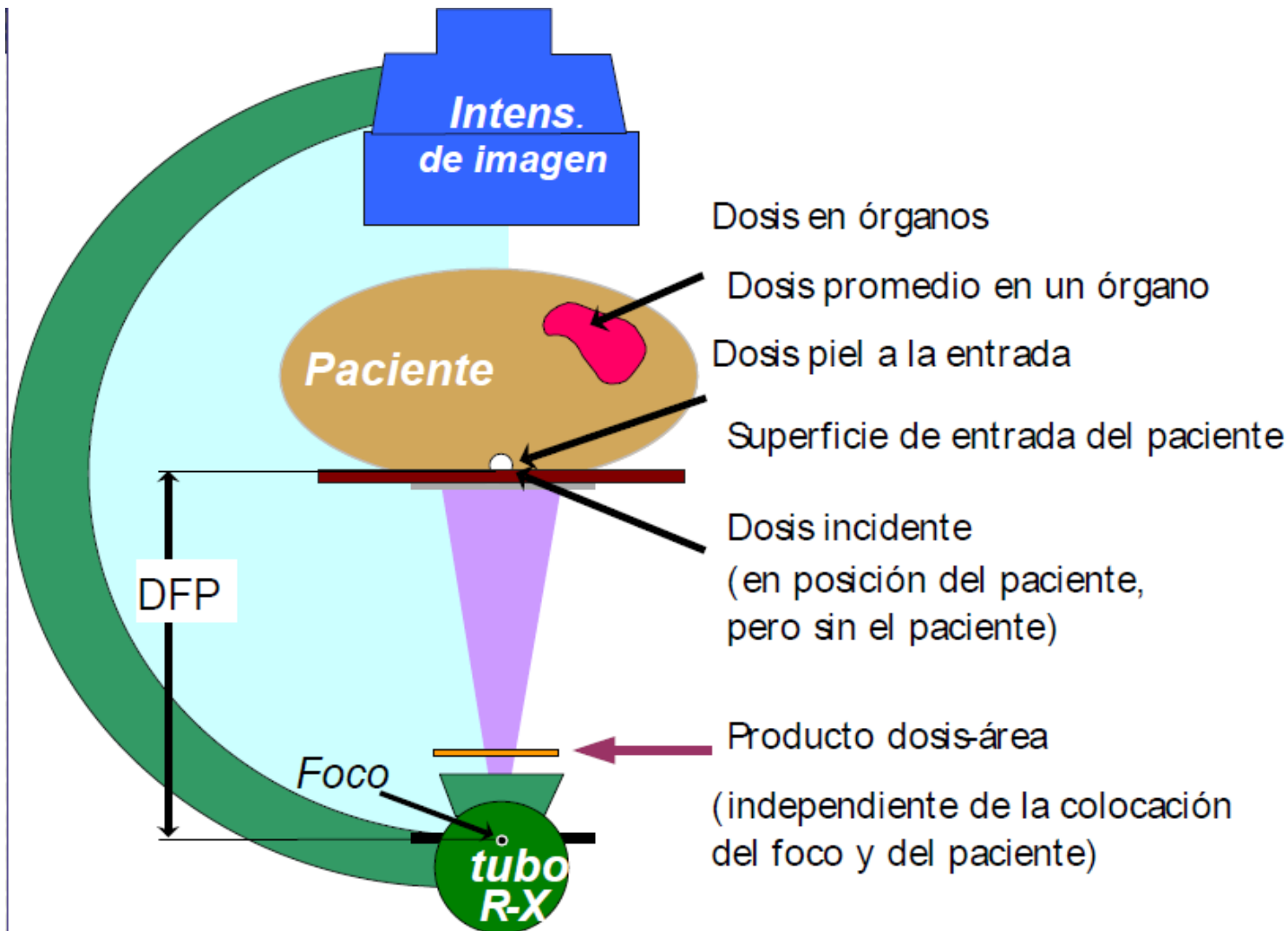
$$PSD(\text{mGy}) = 249 + 5.2 \cdot KAP(\text{Gy} \cdot \text{cm}^2)$$

Un procedimiento con
125 Gy cm²

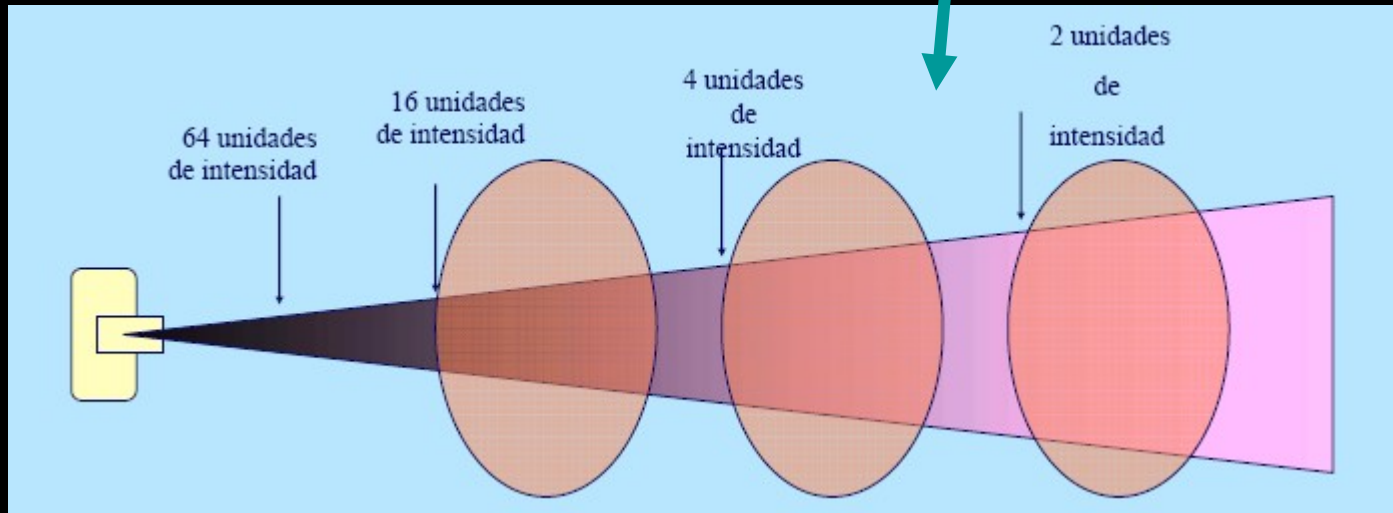
Dosis máxima en piel =
 $249 + 5.2 \cdot 125 = 899$
mGy = 0.9 Gy



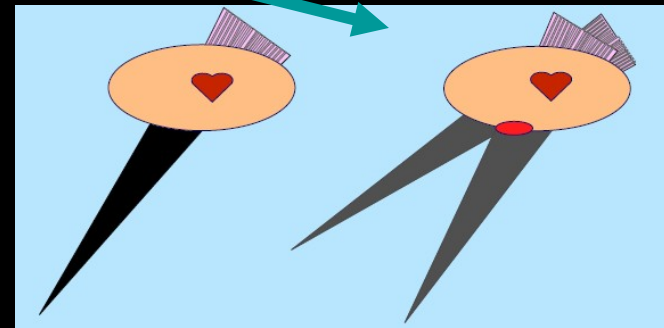
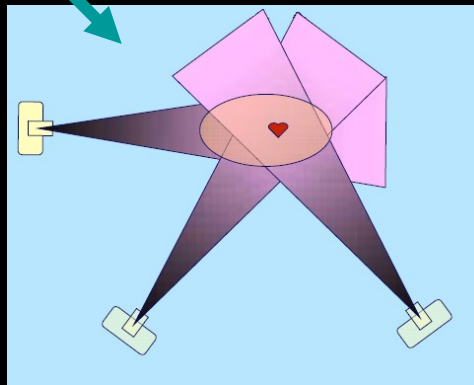
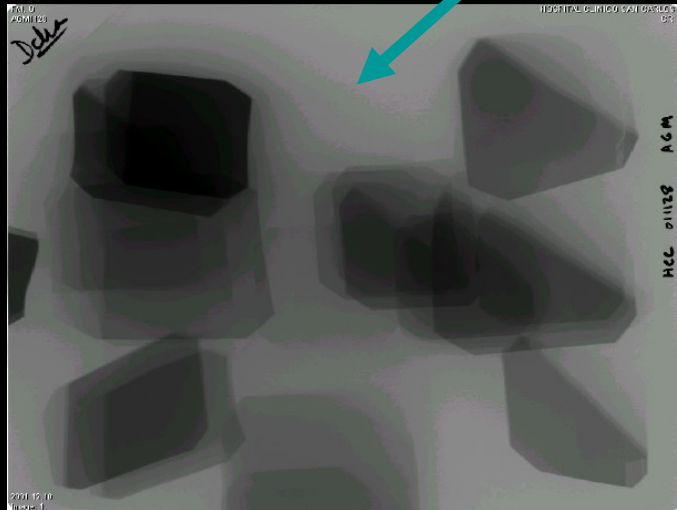
Magnitudes de interés en dosimetría al paciente



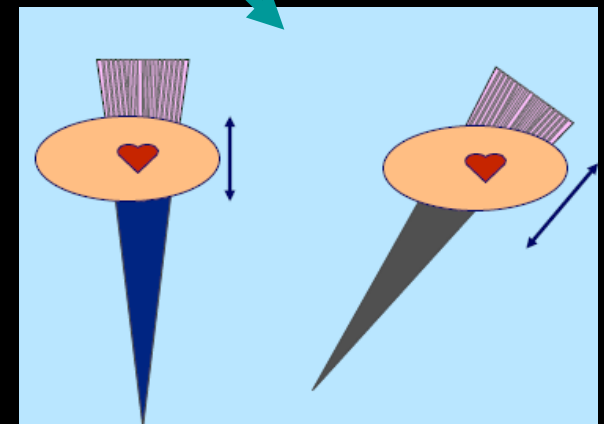
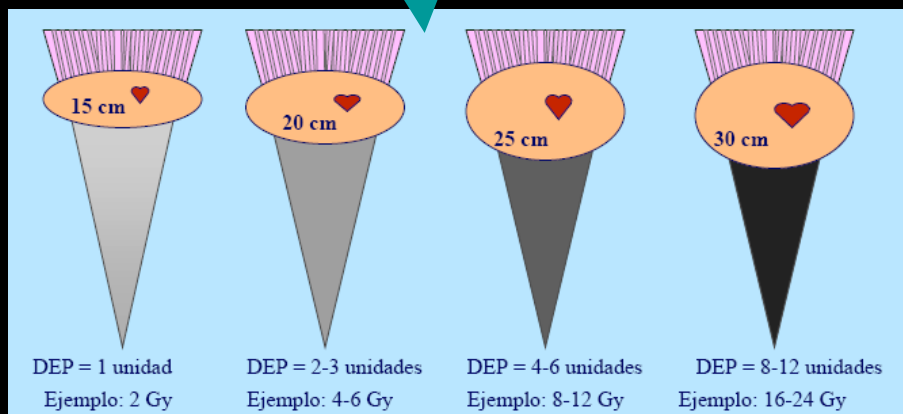
- Da idea de la **dosis integral** impartida pero no da detalles de donde se localiza la dosis
- **No sirve** para hacer **cálculos precisos de dosis** porque se necesitan conocer parámetros como la **distancia fuente-superficie** del paciente, el área irradiada, el ángulo de entrada, el espesor del paciente, etc.



- Da idea de la **dosis integral** impartida pero no da detalles de donde se localiza la dosis
- **No sirve** para hacer **cálculos precisos de dosis** porque se necesitan conocer parámetros como la distancia fuente-superficie del paciente, el **área irradiada**, el ángulo de entrada, el espesor del paciente, etc.



- Da idea de la **energía integral** impartida pero no da detalles de donde se localiza la dosis
- **No sirve** para hacer **cálculos precisos de dosis** porque se necesitan conocer parámetros como la distancia fuente-superficie del paciente, el área irradiada, el **ángulo de entrada**, el **espesor del paciente**, etc.



- Se utiliza en exploraciones complejas
- Es obligatoria por ley en todos los equipos nuevos de RI
- Sirve para valorar riesgos estocásticos dado que se puede evaluar dosis efectiva.
- En DIMOND, se consideran
 - 200 Gy/cm² → nivel de investigación
 - 150 Gy/cm² → nivel de referencia NRD
 (en la misma porción de piel 75cm²→2,8Gy /150cm²→1,4Gy)



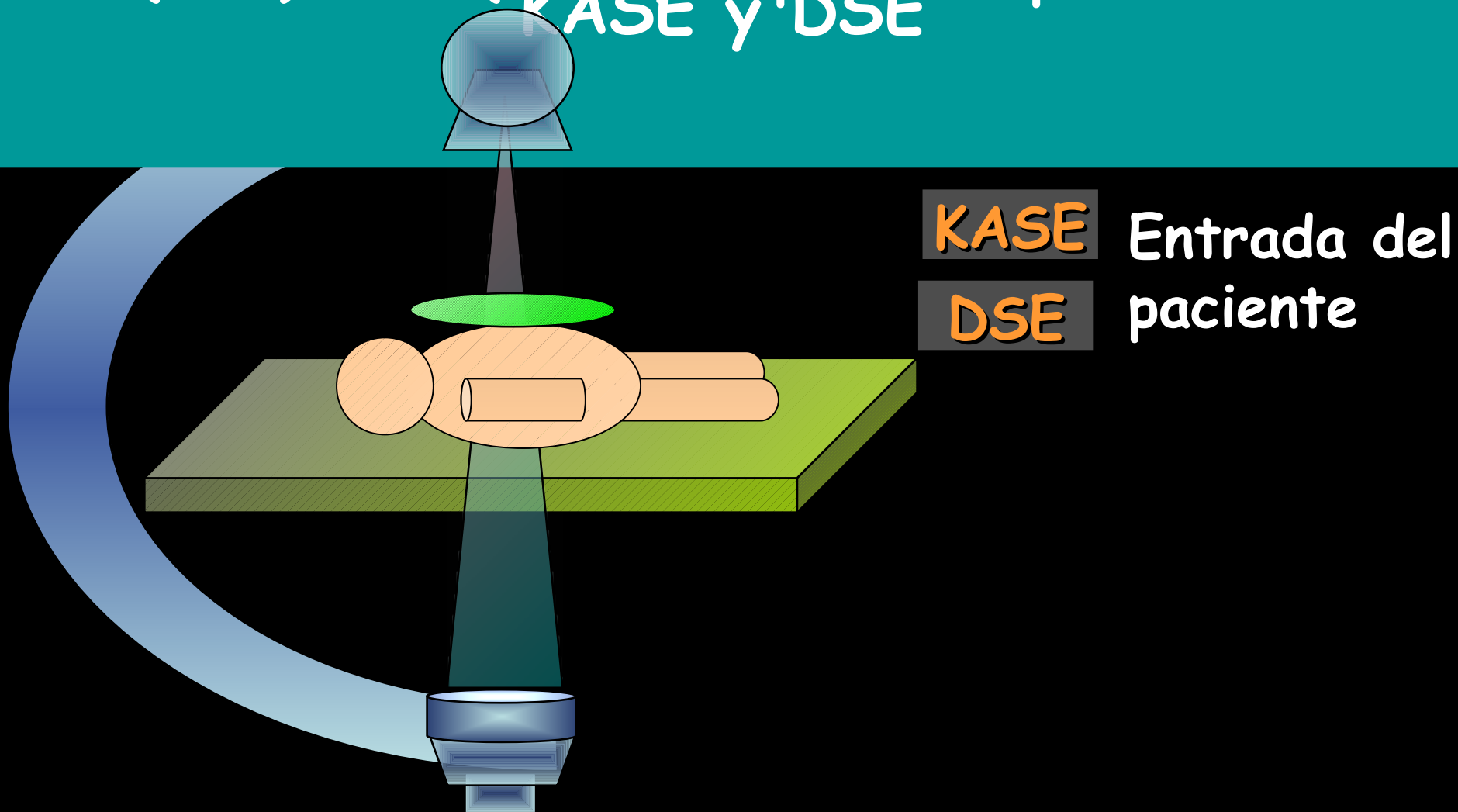
200Gy/cm²

Nivel
investigación

150Gy/cm²

NRD

- Se miden a la **entrada del paciente** con (DSE) o sin (KASE) el paciente presente



KASE y DSE

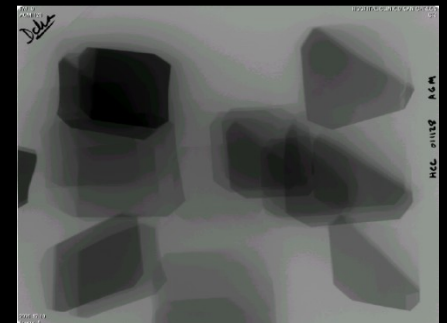
- 3) Muestreo de áreas (tiempo real)
- 4) Cámara de ionización
- 5) Estimación a través de la medida PDA



KASE y DSE

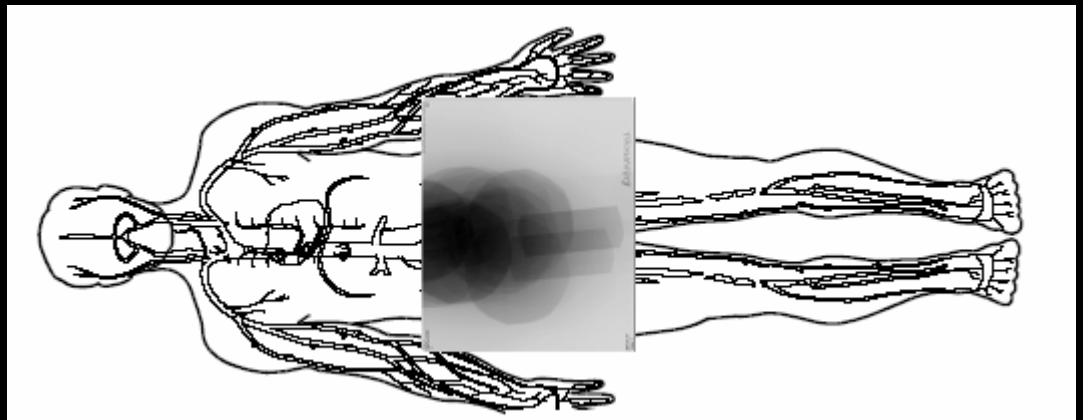
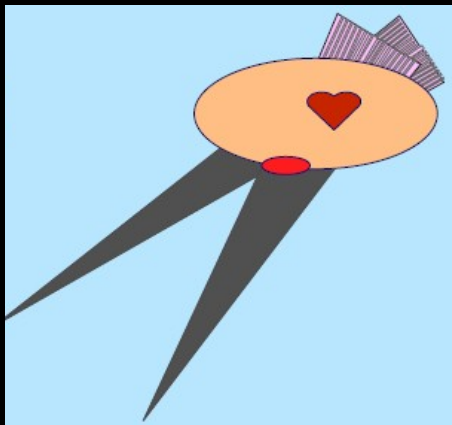
factores (revelado, etc.) y presenta dificultades de colocación.

- Los diodos o **MOSFET** de tiempo real deben colocarse en el punto a priori por no ser tan abundantes como los TLD.



KASE y DSE

Depende mucho de la **etiología** (casos de antemano el punto de alta dosis) y en la mayoría de casos se lee a **posteriori**



KASE y DSE

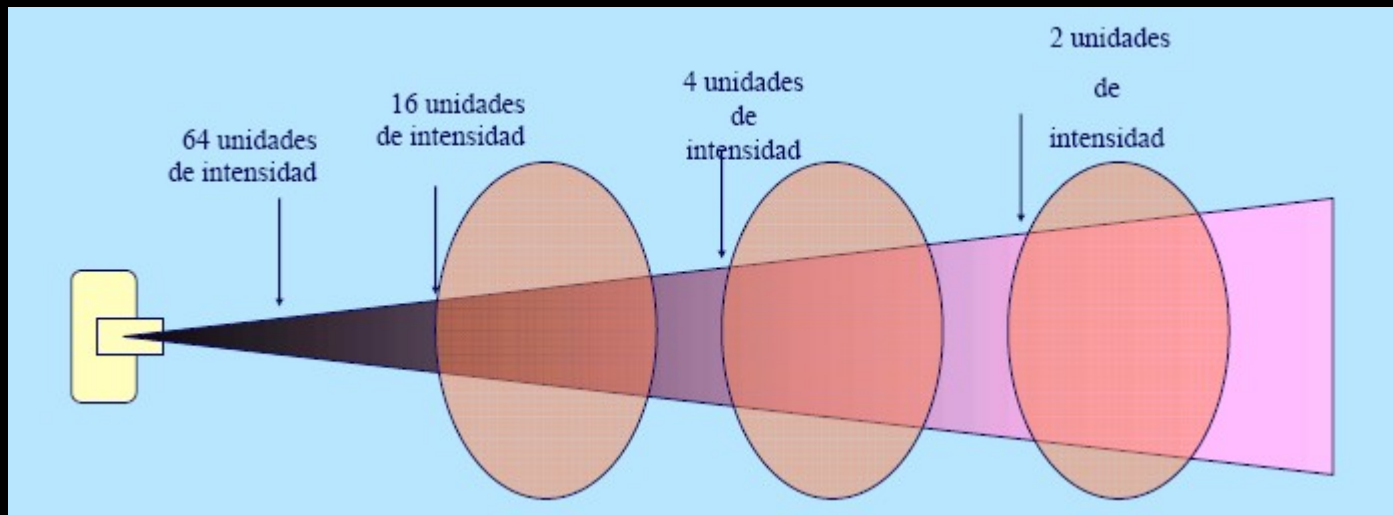
- Retrodispersión ≈ 1.35 pero **aumenta** para **campos grandes!!**

$$\text{DSE} = f_R \cdot \text{KASE}$$

f_R	Tamaño de campo en cm^2		
kV pico	10 x 10	20 x 20	30 x 30
60	1,26	1,29	1,30
80	1,29	1,34	1,36
100	1,32	1,39	1,41

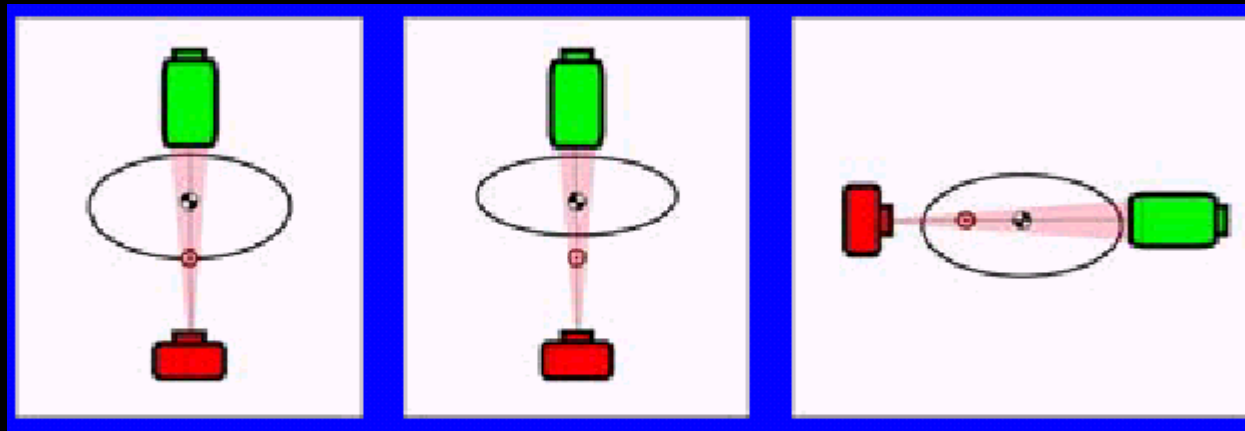
KASE y DSE

distinta calidad de haz o espesores
cambia la dosis a órganos.

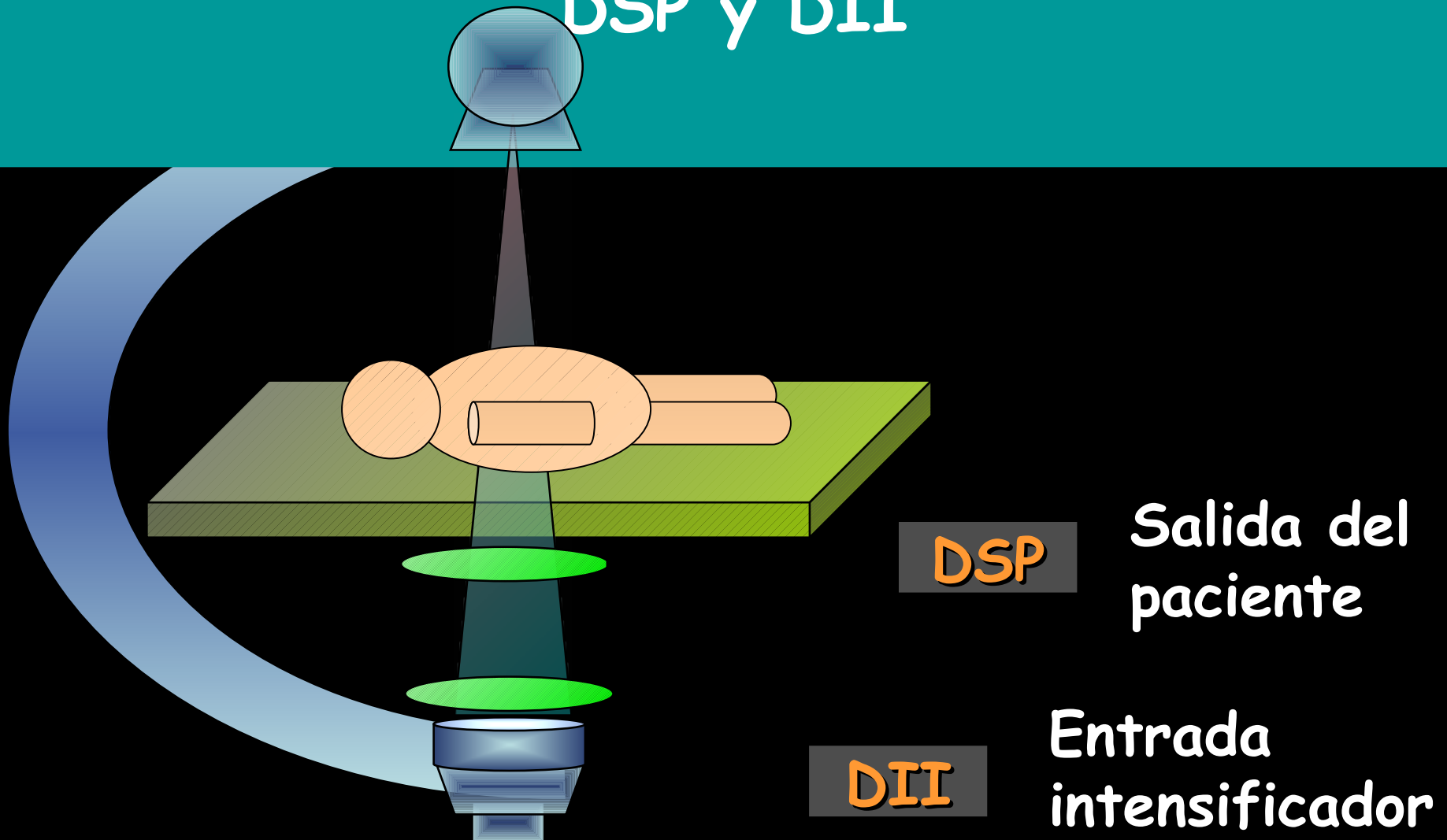


KASE y DSE

- Existen varios sistemas para dar mapa de dosis en piel en tiempo real (Care Graph) mediante el cálculo en un modelo anatómico general.



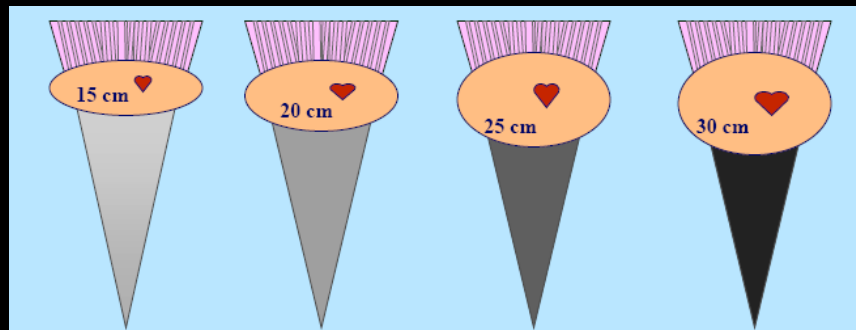
- Se miden a la salida del paciente debajo de este o en la entrada del intensificador



DSP y DII

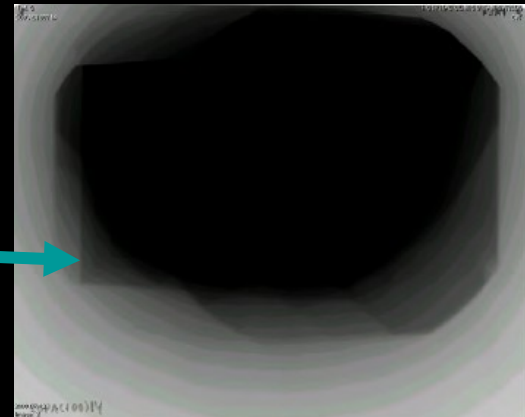
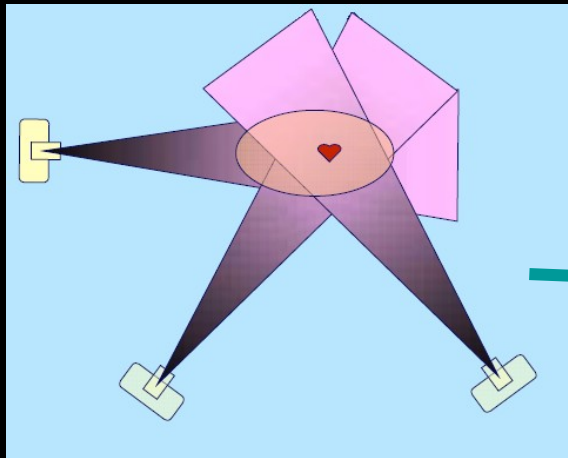
pueden utilizar cámaras de PDA para su medida

- Llevan información real de la absorción de dosis por el paciente que tiene en cuenta entre otras cosas su **espesor**.



DSP y DII

- Aún utilizando placas fotográficas en el intensificador se pierde el mapa de dosis porque el intensificador no es solidario al paciente.



Niveles de Referencia

- Un exceso sobre el NRD no significa que el procedimiento sea incorrecto. En la evaluación del nivel de dosis se deben tener en cuenta otros parámetros como la **distribución de la dosis en piel**, el **índice de masa corporal** del paciente, la **calidad del haz** utilizado, angulación y distancia al tubo, etc.



Niveles de Referencia

Procedimiento	PDA (Gy.cm ²)
TIPS	353.7
Embolización hepática	81.68
Drenaje biliar	68.87
Manometría hepática	25.3
Arteriografía cerebral	68.16
Valvuloplastia	96.42
Angioplastia transluminal percutánea coronaria	87.5
Arteriografía renal	92.92
Arteriografía de miembros inferiores	66.63
Fistulografía de miembros superiores	8.71
Flebografía de miembros inferiores	2.94
Coronariografía	66.51
Arteriografía aórtica	24.7

Tabla 9.3. Dosis efectiva en algunos procedimientos intervencionistas.

Procedimiento	Dosis efectiva media (mSv)
Angiografía cerebral	7.4
Angiografía carótida	4.9
Angiografía de miembros superiores	0.3
Angiografía fistula AV	0.2
Angiografía torácica	11.9
Nefrostografía	2.4
Angiografía renal	6.4
Colangiografía transhepática percutánea	12.8
Portografía arterial con tomografía computerizada*	12.9
Angiografía hepática	21.7
Biopsia hepática transyugular	5.5
Angiografía abdominal	18.9
Angiografía femoral	7.5
Angiografía de extremidades inferiores	0.8
Embolización cerebral	10.5
Angioplastia de fistula AV	0.3
Procedimientos terapéuticos torácicos	16.3
Inserción/retirada de stent biliar	6.9
TIPS	83.9
Nefrostomía	6.9
Angioplastia renal	13.6
Otros procedimientos terapéuticos abdominales (excluyendo renales y hepáticos)	26.9

* sólo incluye procedimientos angiográficos previos a la tomografía computerizada

1.- En RI todas las cantidades: Exposición, Kerma, Dosis, Dosis Efectiva y Dosis Equivalente están relacionadas y midiendo cualquiera de ellas se puede estimar el riesgo.

2.- En ausencia de maniquíes sólo se puede medir a la entrada y salida del haz

3.- La **dosis equivalente (H)** es la dosis que recibe el paciente **ponderada** por un factor que tiene en cuenta los distintos tipos de radiación.

4.- La **dosis efectiva (E)** es la dosis que recibe el paciente **ponderada** para cada órgano por un factor que tiene en cuenta el daño que puede producir la dosis en dicho órgano.

4.- Para valorar los riesgos **estocásticos** (cáncer, malformaciones en el feto, etc.) en los trabajadores se usa la **Dosis Efectiva (E)** que aparece en los informes dosimétricos y que es la **dosis profunda** recibida (a 1cm de profundidad).

5.- Para valorar los riesgos **deterministas** debe usarse la **Dosis Equivalente (H)**.

Resumiendo

- Para aquellos procedimientos en los que se prevea una especial concentración de la dosis en piel o una distribución inhomogénea de la misma es preferible el uso del KASE o la DSE mediante TLD o placa fotográfica o bien usando diodos o MOSFET en tiempo real con carácter preventivo. Permite una mejor determinación de efectos deterministas.