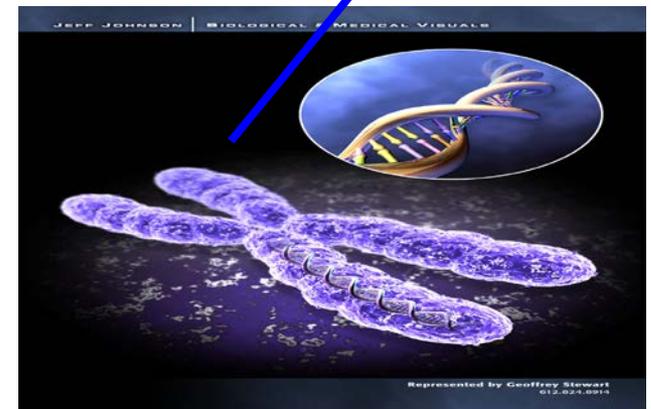
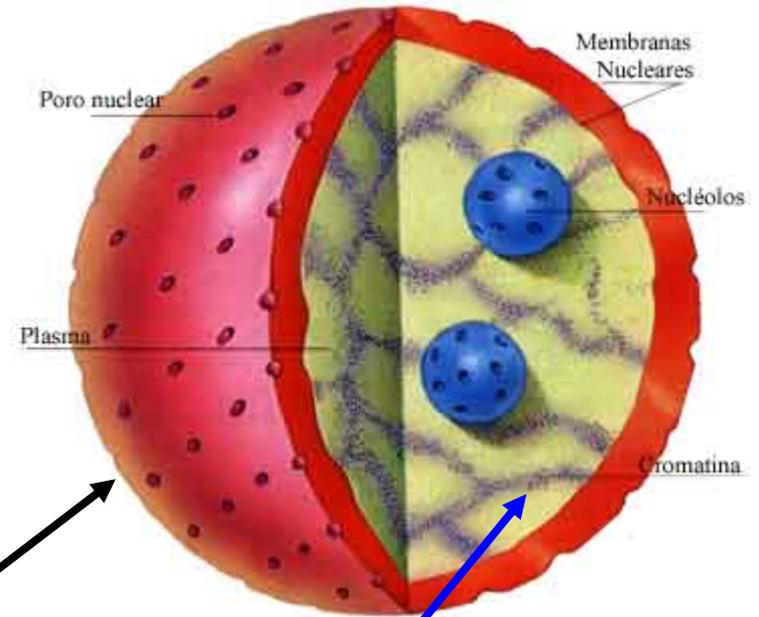
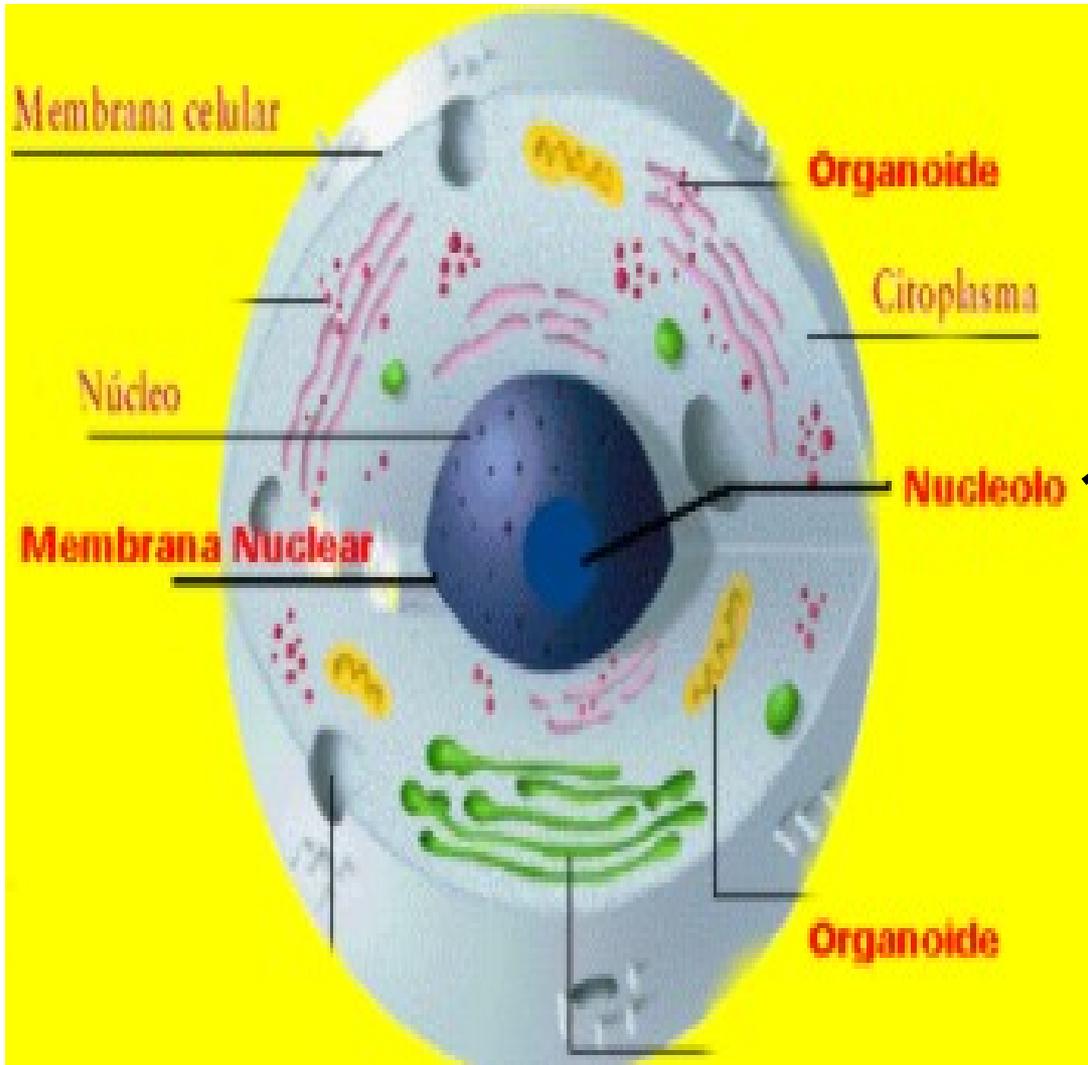


RIESGOS POR RADIACIÓN

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE
LAS
RADIACIONES IONIZANTES



Célula Humana

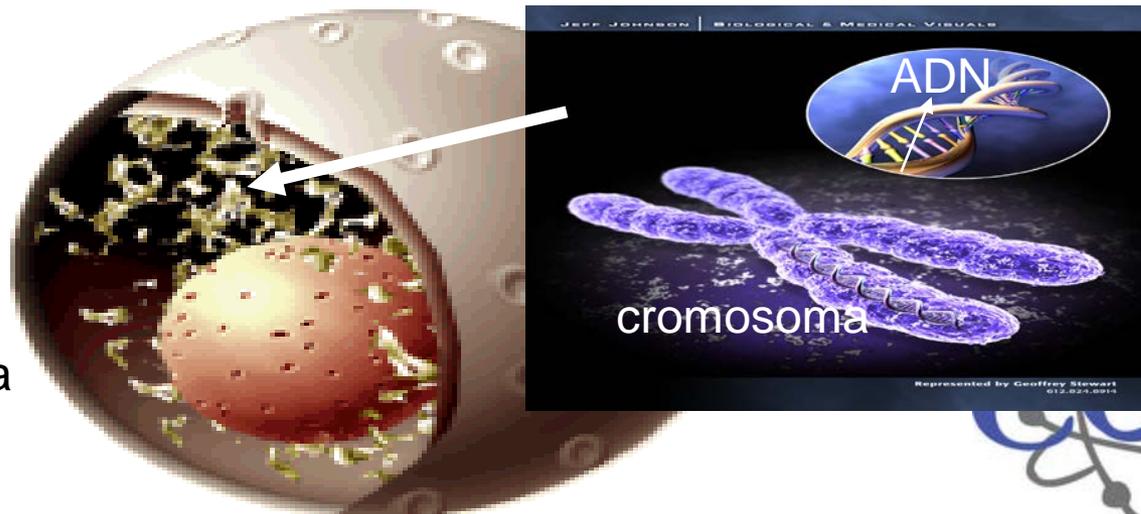


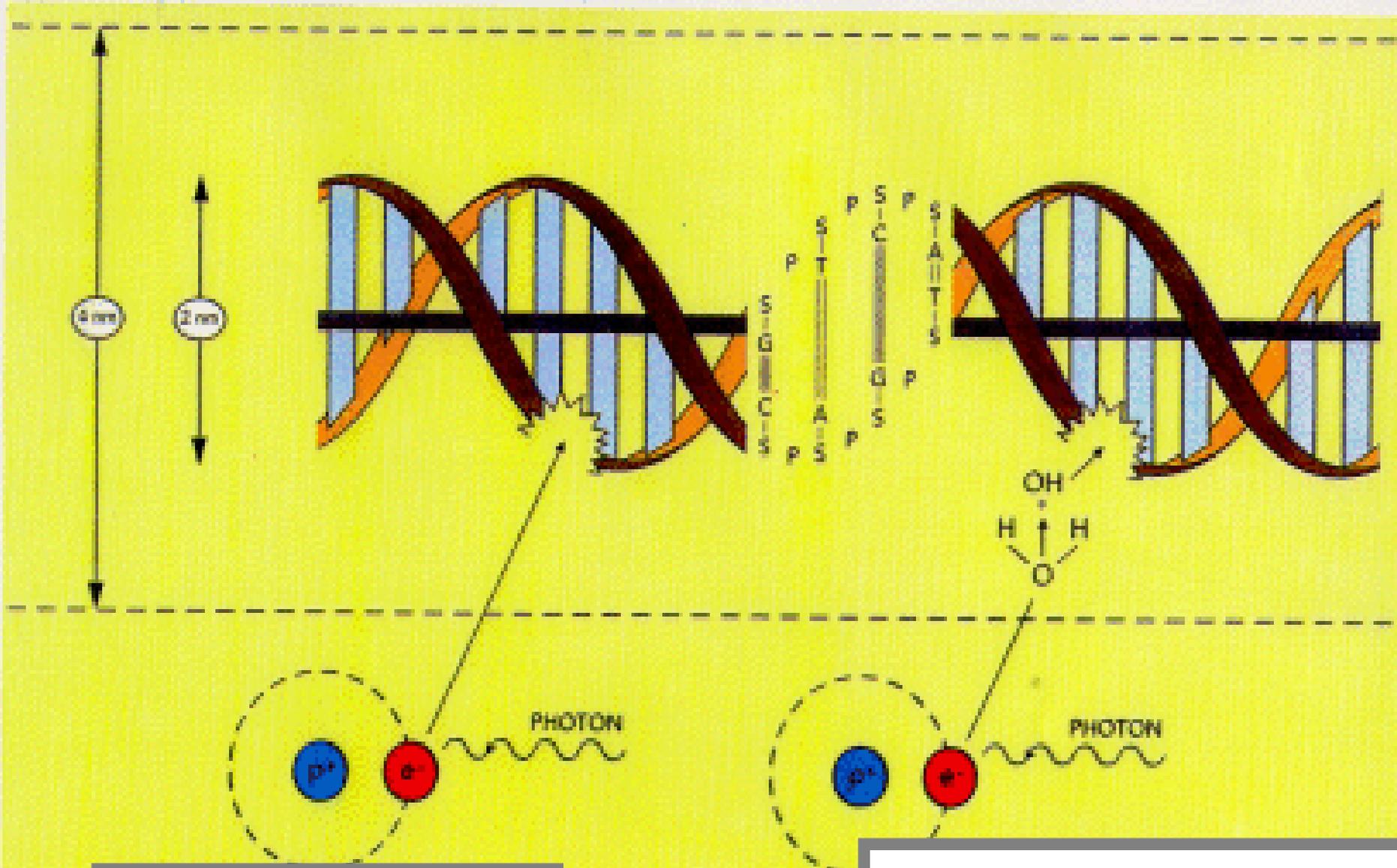
CROMOSOMA

El ADN es el ingrediente esencial de los 23 pares de cromosomas humanos

- El ADN contiene los códigos genéticos para la reproducción celular
- El ADN es la parte más radiosensible de la célula
- La Radiación Ionizante induce a cambios en el ADN.

El ADN está en el núcleo de la célula





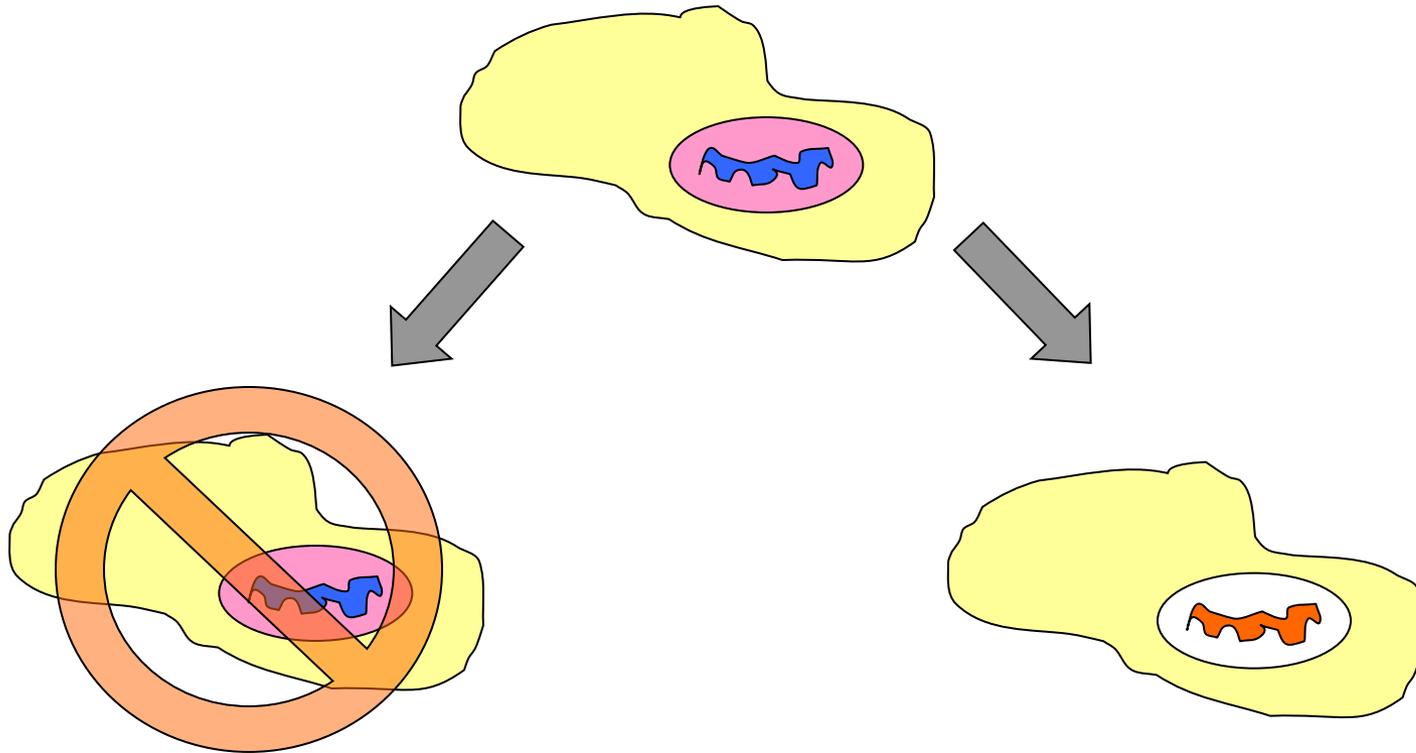
ACCION DIRECTA

Impacta directamente al ADN

ACCION INDIRECTA

Genera radicales libres en el Citoplasma que actúan sobre el ADN

Resultado de la acción de las radiaciones a nivel celular



Muerte celular

Célula mutada

Factores que determinan el tipo de efecto biológico

- Dosis total recibida
- Tasa de dosis
- Energía del radiación
- Factor de calidad de la radiación
- Parte del cuerpo expuesta
- Sensibilidad individual



Tipos de efectos biológicos

EFFECTOS DETERMINÍSTICOS:

Ocurren cuando un gran número de células son dañadas al punto que mueren inmediatamente o poco después de la irradiación. El cuerpo puede sustituir un número pequeño de células pero no un gran número de ellas resultando en un daño severo

La dosis debe sobrepasar un nivel umbral característico para cada tejido. La severidad aumenta con la dosis por ej. radiolesiones en la piel



EFFECTOS ESTOCÁSTICOS:

Ocurren cuando una célula dañada sobrevive el efecto de la irradiación y el cuerpo la repara defectuosamente de modo que sus descendientes también serán defectuosas y al transcurrir el tiempo se acumulará un gran masa de ellas desencadenando un cáncer

Son de naturaleza aleatoria y el riesgo de este tipo de efecto aumenta con la dosis
No tienen dosis umbral.



Tipos de efectos biológicos

- Los procedimientos de Protección Radiológica establecidos en la Institución están encaminados a:
 - 1- minimizar la probabilidad de ocurrencia de efectos determinísticos que ocurren a altas dosis, previniendo a los TOE de Dosis accidentales
 - 2- disminuir la probabilidad de efectos probabilísticos minimizando la Dosis que reciben los TOE durante el trabajo cotidiano

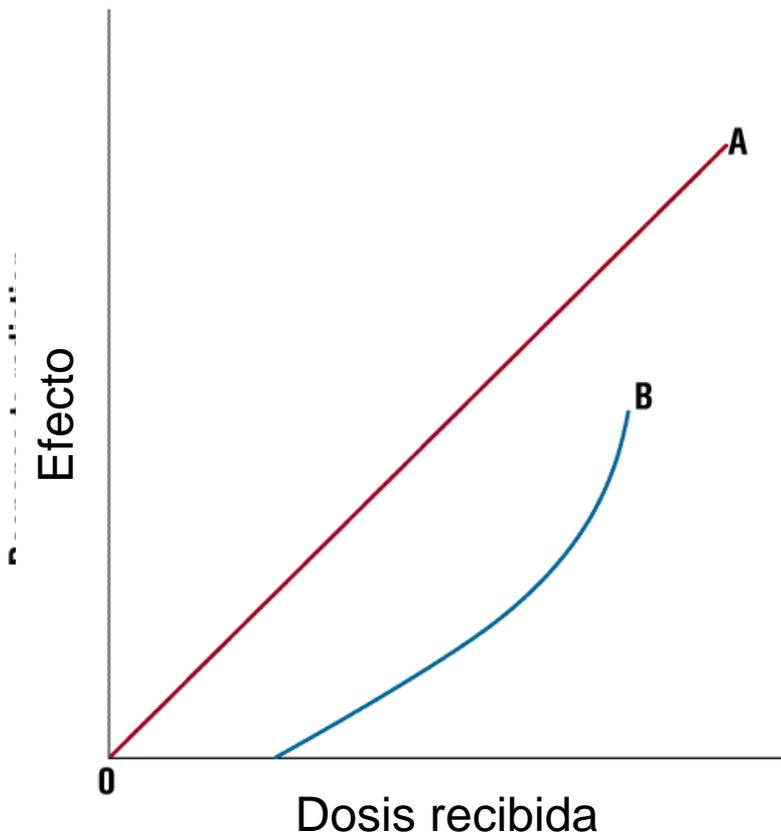


Tipos de efectos biológicos

- A = ESTOCÁSTICOS
CÁNCER
Probabilidad \propto dosis

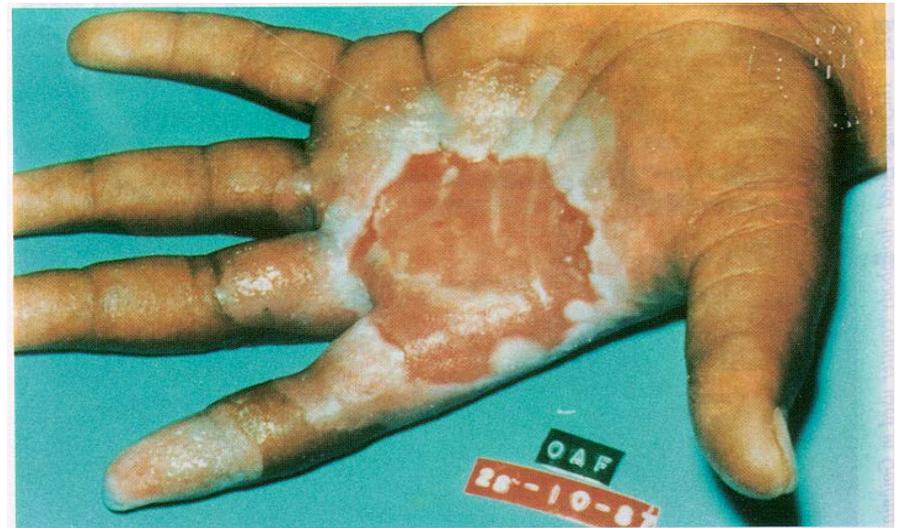
B = DETERMINÍSTICOS
EFECTOS DE UMBRAL

- Cataratas
- Esterilidad
- Eritema
- Depilación
- Malformaciones fetales



Efecto Determinístico

- Debido a muerte celular ELEVADA \Rightarrow
- Desequilibrio entre tasas de pérdida y sustitución celular
- Tienen un umbral de dosis (unidades de Gy)
- Especifico para cada tejido
- La severidad o gravedad del daño depende de la dosis



Daño por radiación producido por una fuente de uso industrial

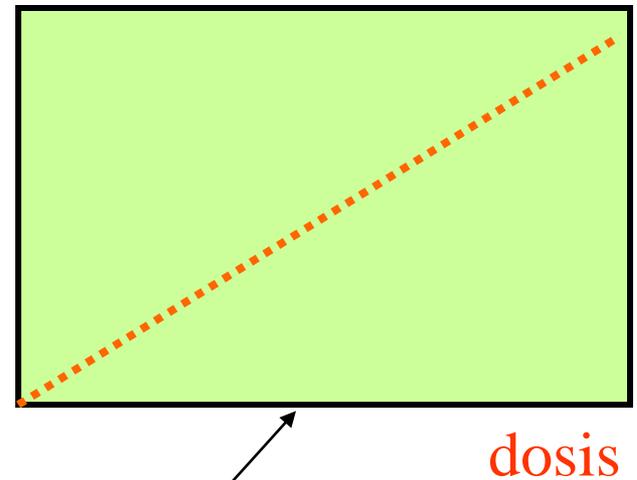
Los efectos deterministas causados por muerte de muchas células:



Efectos Estocásticos

- Debido a modificaciones en el ADN y consecuente proliferación de clones cancerígenos
- Una sola célula mutada puede desencadenar en un cáncer
- La probabilidad del efecto se incrementa con la dosis
- La severidad o gravedad (cáncer) no depende de la dosis
- No existe una dosis umbral por debajo de la cual el riesgo sea cero
- Ejemplo: carcinogénesis radioinducida

Probabilidad
del efecto

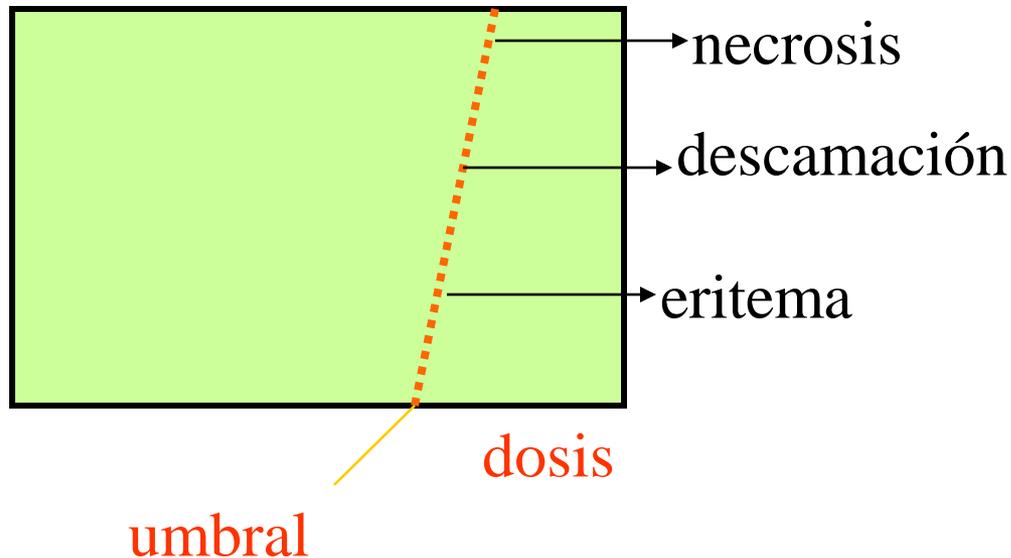


Modelo dosis-efecto lineal
sin umbral

Efecto Determinístico en piel

Severidad del efecto

Ejemplo daño en piel:



Efectos determinísticos en Piel

Vista histológica de la piel



From "Atlas de Histología...". J. Boya

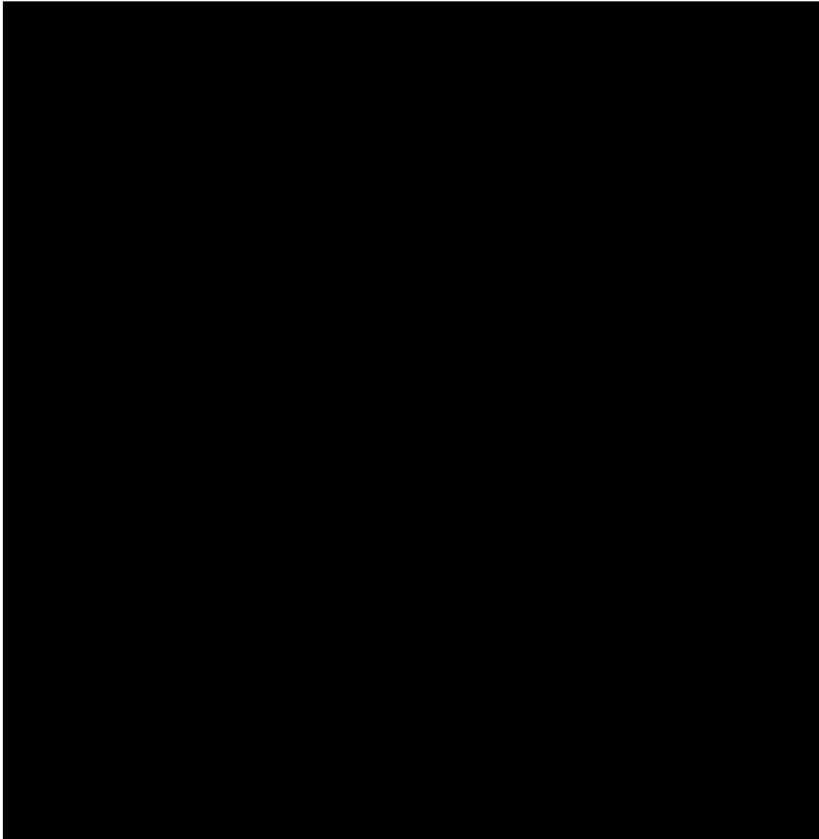
Células del estrato basal de la epidermis, algunas de ellas con melanina son las responsables de la pigmentación.

- Las células mas radiosensibles de la piel son las del estrato basal de la epidermis
- Los efectos son:
 - **Eritema inmediato**: 1 a 24 horas después de la irradiación **de cerca de 2 Gy**
 - Eritema principal: 1 a 2 semanas **6 Gy**
 - **Alopecia**: **3Gy es reversible**; **7Gy es irreversible**.
 - **Descamación seca o húmeda**: se traduce en hipoplasia de la epidermis (dosis \cong 14 Gy).
 - **Necrosis**: \cong 10 semanas -**18 Gy**
 - **Efectos retardados**: teleangiectasia, fibrosis.

**Casos de daños en piel
producidos por RX
diagnósticos
(Ocurren mayormente en
la radiología
intervencionista)**

Daño en piel

- Procedimiento de estudio electrofisiológico y ablación con catéter



Eritema en la espalda pero el brazo requiere un injerto.

Lecciones aprendidas de pacientes con daño por radiaciones

- **Caso #1:** Procedimiento de ablación electrofisiológica.
- Después de un segundo intento, erróneamente se creyó que el daño había sido causado por falta de puesta a tierra [eléctrica] del equipo, que también impidió que se tuviera éxito en los intentos de ablación.
- Se hace un tercer intento con un daño aún mayor.
- Las lesiones en la espalda se hallaban en proceso de curación, pero el brazo requiere un injerto.

Más de 100 min de fluoroscopia



Eritema en la espalda en proceso de curación pero el brazo requiere un injerto.

El brazo se encontraba innecesariamente dentro del haz útil



• Procedimiento de ablación electrofisiológica en una paciente de 49 años de edad



Eritema tardío a las 3 semanas



Necrosis dérmica Isquémica a los 5 meses



Ulceración profunda a los 6.5 meses

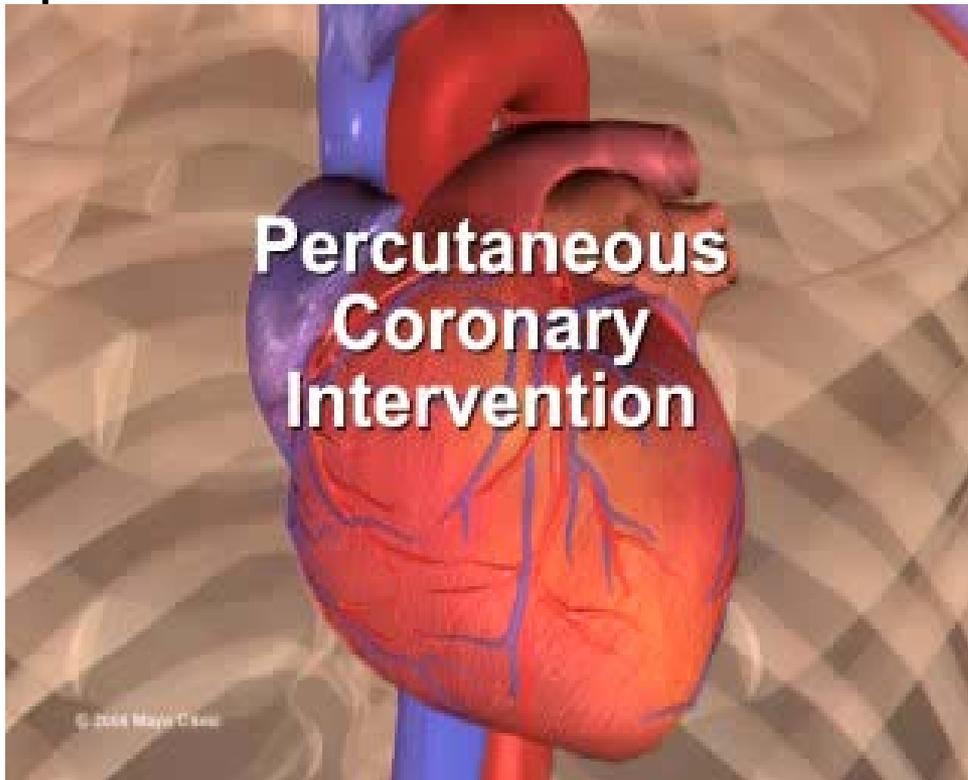


Injerto

Daño en piel

APTC (Angioplastia Percutánea Transluminal Coronaria) y Colocación de un “stent” en ACD (Arteria Coronaria Derecha), paciente de 48 años

63 min de fluoro y 5000 imágenes de cine



Lesión que requiere injerto.

Lecciones aprendidas de pacientes con daño por radiaciones

Causa del daño, inicialmente y equivocadamente atribuida a la producida por la presión del desfibrilador.



Lesión que requiere injerto.

Daño en piel

APTC (Angioplastia Percutánea Transluminal Coronaria).

51 min de fluoro y 74s de cine



Lesión que requiere injerto

Radiodermatitis crónica en una paciente de 17 años dos años después de dos procedimientos de ablación electrofisiológica

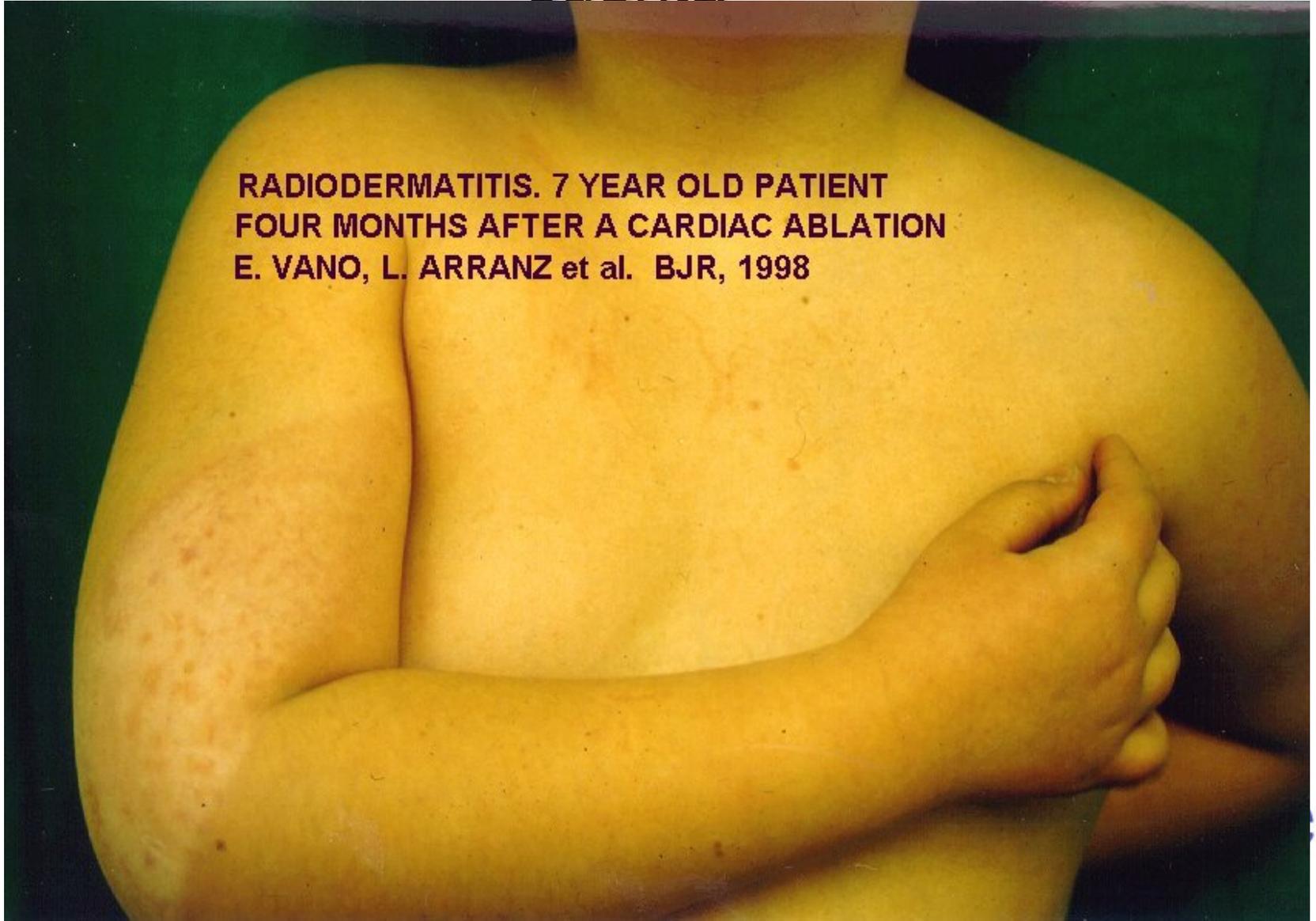
Hiper e hipo pigmentación de la piel con Telangiectasia

Induración de la piel



(REPORTED BY E. VANO, 1997)

También pacientes muy jóvenes en los que el incremento de riesgo da cáncer debe tenerse en cuenta



**RADIODERMATITIS. 7 YEAR OLD PATIENT
FOUR MONTHS AFTER A CARDIAC ABLATION
E. VANO, L. ARRANZ et al. BJR, 1998**

Ejemplo de daño crónico en piel debido a una dosis acumulada de ~20 Gy por dos Angiografías Coronarias y una Angioplastía realizadas en el mismo día



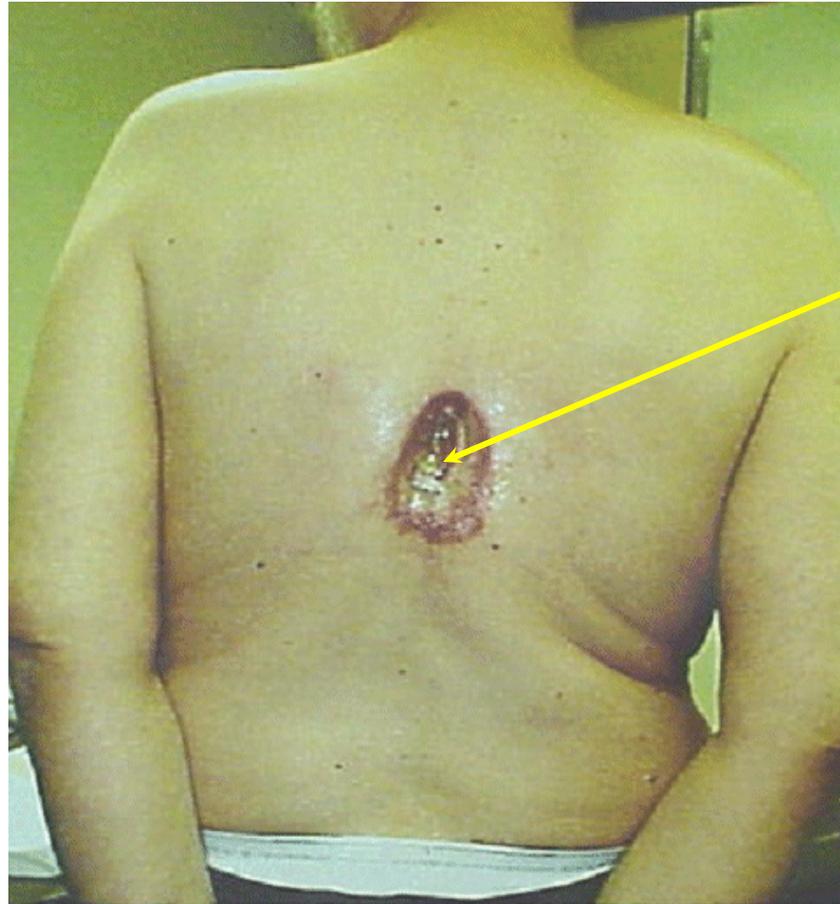
6-8 semanas

16-21 semanas

Ejemplo de daño crónico en piel debido a una dosis acumulada de ~20 Gy por dos Angiografías Coronarias y una Angioplastía realizadas en el mismo día



Close-up



21 meses después del primer procedimiento se observa necrosis en la piel (Obsérvese el período de latencia de este daño)

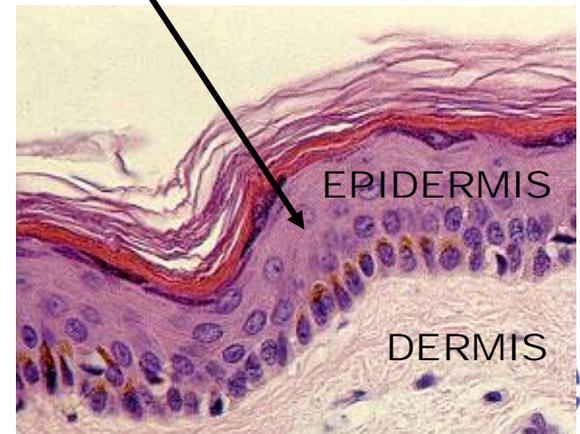
Después de injerto de piel



Como reconocer el daño Causado por radiación mediante los efectos asociados

Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

- Los RX dañan (matan) fundamentalmente las células del estrato basal de la epidermis más que las capas externas de la piel. Estas células son las responsables de remplazar las capas de piel externa que mueren a diario (se mudan a diario)



Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

- Al no ser reemplazadas las células de la piel externa las quemaduras con RX sanan lentamente y en algunos casos, dependiendo de la dosis, nunca sanan requiriendo de un injerto

Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

- Los síntomas pueden ocurrir inmediatamente o después de algunas horas, días o semanas.
- El retardo depende básicamente de la dosis absorbida en piel.
- La experiencia mas común es que pasan entre una y tres semanas hasta que el paciente se percata del síntoma.
- La demora puede ser notable cuando el síntoma no es visualmente evidente (ej., ocurre en una parte de la piel no observable por el paciente).

Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

- Las lesiones causadas por la fluoro tienen bordes definidos cuando el haz de RX permanece fijo en un lugar por tiempo prolongado
- La biopsia no es recomendada en estos casos porque puede resultar en una úlcera difícil de curar.

Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

Eritema inmediato transitorio (No es observado habitualmente)

- El umbral de dosis en piel para este efecto es aproximadamente de 2Gy y el rango entre 2-5Gy
- El enrojecimiento ocurre en áreas expuestas a rayos X.
- La piel en cuestión de horas torna de color rosado pálido y luego gradualmente desaparece en el término de 24 horas

Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

Pérdida de pelo (depilación):

- Dosis umbral para la caída de pelo transitoria es de aprox. ~3 Gy.
- A los ~ 7 Gy la pérdida de pelo puede ser permanente
- Si el pelo vuelve a crecer puede ser más fino y de diferentes tonos de color.

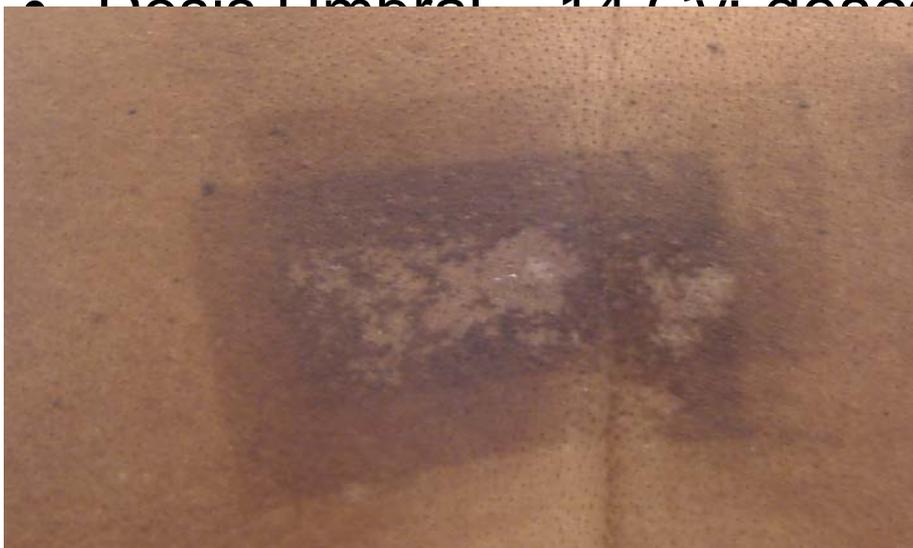
Efecto en piel grado 1



Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

Efectos severidad intermedia (entre la 3 y la 8 semana):

- En el rango 10-15Gy efecto grado 2
- Dosis Umbral = 14 Gy de decamación seca (radiodermatitis



Efecto en piel grado 2

Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

Efectos severos (entre la 8 y 20 semanas)

- Dosis por encima de 15Gy efectos grados 3 y 4 (a mayor dosis mayor severidad)
- Descamación húmeda: dosis umbral ~15Gy (claro predictor de lesiones a largo plazo)
- Necrosis de piel: Dosis umbral ~ 18 Gy

Reconociendo el daño causado por radiación con los efectos asociados

Efectos severos (grado 3 y 4):



Descamación húmeda



Necrosis

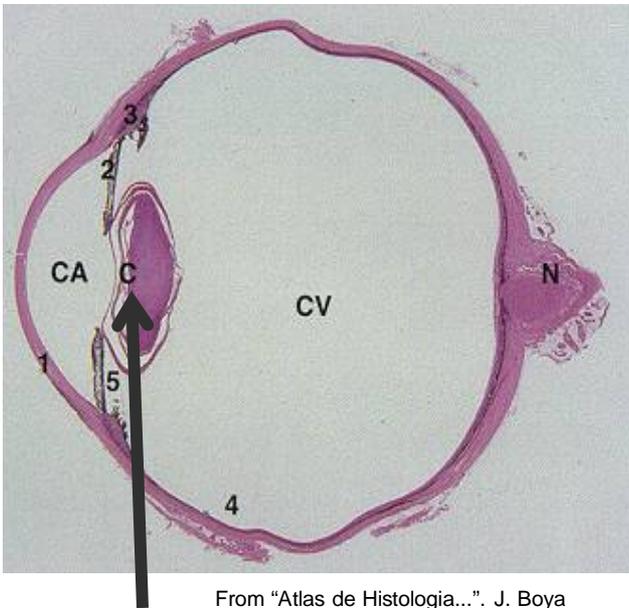
Daños por radiación inducidos en piel, FDA, Set 1994, “Avoidance of serious x-ray induced skin injuries to patients during fluoroscopically-guided procedures”

Efecto	Dosis umbral	Tiempo de fluoro para alcanzar el umbral		Tiempo para inicio del efecto
		Fluoro en modo Normal 20 mGy/min	Fluoro en modo High level 20 mGy/min	
Eritema transitorio	2 Gy	1 hr 42 min	10 min	horas
Depilación temporal	3 Gy	2½ hr	15 min	3 sem
Eritema principal	6 Gy	5 hr	30 min	10 días
Depilación permanente	7 Gy	6 hr	35 min	3 sem
Descamación seca	10 Gy	8 hr	50 min	4 sem
Fibrosis invasiva	10 Gy	8 hr	50 min	
Atrofia dérmica	11 Gy	9 hr	55 min	> 14 sem
Talangectacia	12 Gy	10 hr	1 hr	> 52 sem
Descamación húmeda	15 Gy	12½ hr	1 hr 15 min	4 sem
Eritema tardío	15 Gy	12½ hr	1 hr 15 min	6-10 sem
Necrosis dérmica	18 Gy	15 hr	1 hr 30 min	> 10 sem
Ulceración secundaria	20 Gy	17 hr	1 hr 40 min	> 6 sem

} Se sanan solos
Entre 2-8 sem

Efectos determinísticos en los ojos

Vista histológica del ojo



From "Atlas de Histologia...". J. Boya

El cristalino es el más radiosensible.

- La coagulación de proteínas ocurre con dosis mayores a 2 Gy.
- Las Cataratas es el efecto principal y pueden ocurrir:
 - Después de una exposición aguda de entre 2-3Gy y se manifiesta en 1 año
 - Después de varias exposiciones de bajas dosis hasta acumular entre 5-6Gy y se manifiesta en 4 ó 5 años

Efecto en ojos



Catarata inducida por radiaciones en un especialista en radiología sujeto a un alto nivel de radiación dispersa sin la debida protección

Efectos determinísticos

ESTERILIDAD PERMANENTE

–hombres 5Gy

–mujeres 3.5-6Gy

ESTERILIDAD TEMPORAL

–hombres 2.5Gy

–mujeres 1.5Gy



ACCIDENTES RADIOLOGICOS

PRACTICA MEDICA

- ❖ Brasil fuente en deshuso
- ❖ Costa Rica Mala calibracion



PRACTICA INDUSTRIAL

- ❖ Iyanango PERU



ACCIDENTES RADIOLOGICOS



Ciudad: Goiânia

Lugar: Instituto Goiano de radioprotección (IGR). Unidad de teleterapia abandonada

Fecha del accidente: 13/Sept./87

GOIÂNIA,
Brasil



¿Qué ocurrió?

- **A finales de 1985 un instituto de radioterapia privado cambio de domicilio, dejando abandonado un equipo de teleterapia de Cs-137 sin notificar a la Autoridad Reguladora**
- **El instituto donde se abandonó el equipo fue demolido parcialmente**
- **El 13 de Septiembre de 1987, dos personas que estaban informadas sobre el abandono del equipo, removieron el cabezal con la fuente y lo trasladaron a su casa en un caretila**
- **Allí desmantelaron el equipamiento, extrayendo la cápsula de Cs137 de su carcasa de protección**



Ruptura de la fuente

- Los dos hombres intentaron abrir la cápsula, pero no lo consiguieron. Pocos días después, sin embargo, uno de ellos rompió la ventana de iridio, lo que le permitió observar que el cloruro de cesio emitía una profunda luz azul. A pesar de intentar extraerlo, finalmente acabó rindiéndose.



Venta y desmantelamiento de la fuente

- El 18 de septiembre los dos hombres que hurtaron la fuente le vendieron las piezas a una chatarrería cercana.
- Esa noche el propietario de la chatarrería, estaba en el garaje y vio el resplandor azul de la cápsula de cesio. En los días siguientes invitó a amigos y familiares a ver la sustancia luminosa.
- Muchas personas que visitaron la chatarrería y el hogar del chatarrero entraron en contacto con el polvo, resultando contaminadas y desperdigándolo por la ciudad.
- El hermano del chatarrero logró extraer el polvo de Cs137 y lo usó el polvo para pintarse una cruz azul resplandeciente en el abdomen y el resto lo espacio en el suelo. Su hija de seis años, estuvo posteriormente comiendo sentada en el suelo, con lo que absorbió parte del material radiactivo (1GBq, suponiendo una dosis de 6 Gy), estaba tan fascinada con el resplandor azul del suelo que se lo untó en su cuerpo y se lo mostró a su madre.



¿Cómo fue descubierto el accidente?

- La esposa del chatarrero fue la primera que se dio cuenta de la relación entre la presencia del material y la enfermedad de varias personas de su entorno
- El 28 de septiembre, dos semanas después del robo de la fuente, fue en autobús con uno de los empleados de la chatarrería a un hospital, transportando la fuente en una bolsa plástica.
- Esta acción inicio una cadena de eventos que permitieron descubrir el accidente



Dosis a 1m de la fuente 4,6Gy/h

Comparación de tasas de radiactividad		
		TBq
Fuente de Goiânia	1971	74
	En el momento del robo (1987)	50.9
	Tras ser recuperada	44
	Liberado durante el período de robo	7
	Liberado (cantidad a la que ha decaído a 2011)	4.0

Hechos Básicos

• Individuos monitoreados	=	112.800
• Personas contaminadas	=	271
– ropas y zapatos	=	120
– interna y externa	=	151
• Lesiones localizadas	=	28
• Hospitalización	=	20
• Daños en médula ósea	=	4
• Síndrome Agudo de Radiación	=	8
• Casos fatales	=	4

Accidente de Goiânia



- Trabajos de descontaminación (calle 57)

Accidente de Goiânia



- Cabezal de la fuente Cs-137 recuperado

CABEZAL

Accidente de Goiânia



- Personas afectadas durante el accidente

ACCIDENTES RADIOLOGICOS

SAN JOSÉ, Costa Rica

22/Agosto/1996



Síntesis del accidente

■ ¿Donde ocurrió?

- En el hospital de San Juan de Dios en San José, Costa Rica, al remplazarse la fuente de Co^{60} del equipo el 22 de Agosto de 1996

■ ¿Qué sucedió?

- Al calibrarse el equipo con la nueva fuente, se comete un error en el cálculo de la tasa de dosis



■ **¿Qué sucedió?**

- **Lo anterior provocó que se le suministrara a los pacientes una dosis mayor a la prescrita (50 al 60%)**
- **El 27 de Septiembre de 1996 se detienen los tratamientos (34 días después). Hasta ese entonces se habían tratado 112 pacientes**
- **Ante la gravedad de las lesiones se solicita ayuda oficial al OIEA y OPS**

Consecuencias en pacientes



- **Úlcera severa incurable**
(necrosis grado 3)
(dosis de 15 Gy/fracción)

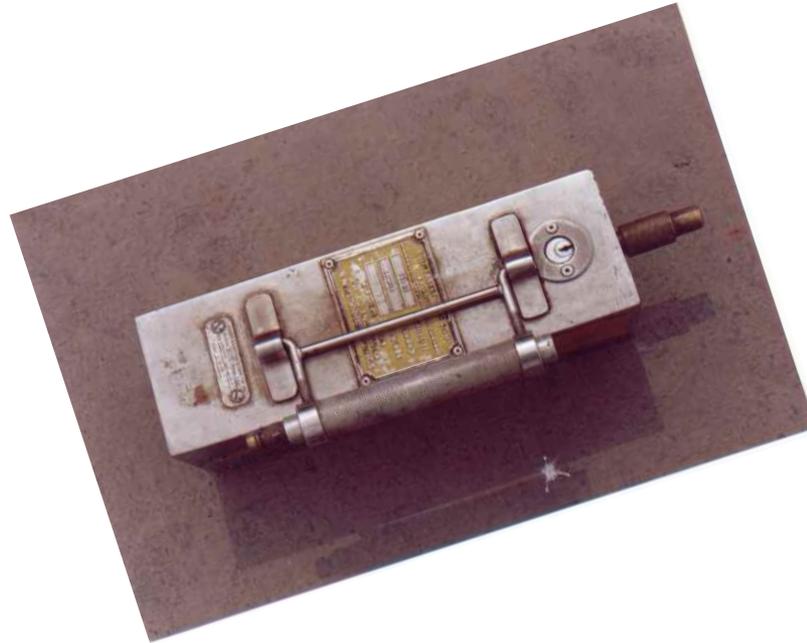


- **Pacientes con depilación permanente** como resultado de una sobreexposición y con altos riesgos de necrosis cerebral y daños en la médula espinal



- **Pigmentación profunda, sobreexposición del intestino, provocando diarrea con sangre persistente, obstrucción intestinal y anemia.**

ACCIDENTES RADIOLOGICOS



YANANGO, Perú

20/Febrero/1999



Síntesis del accidente

- ¿Donde ocurrió?

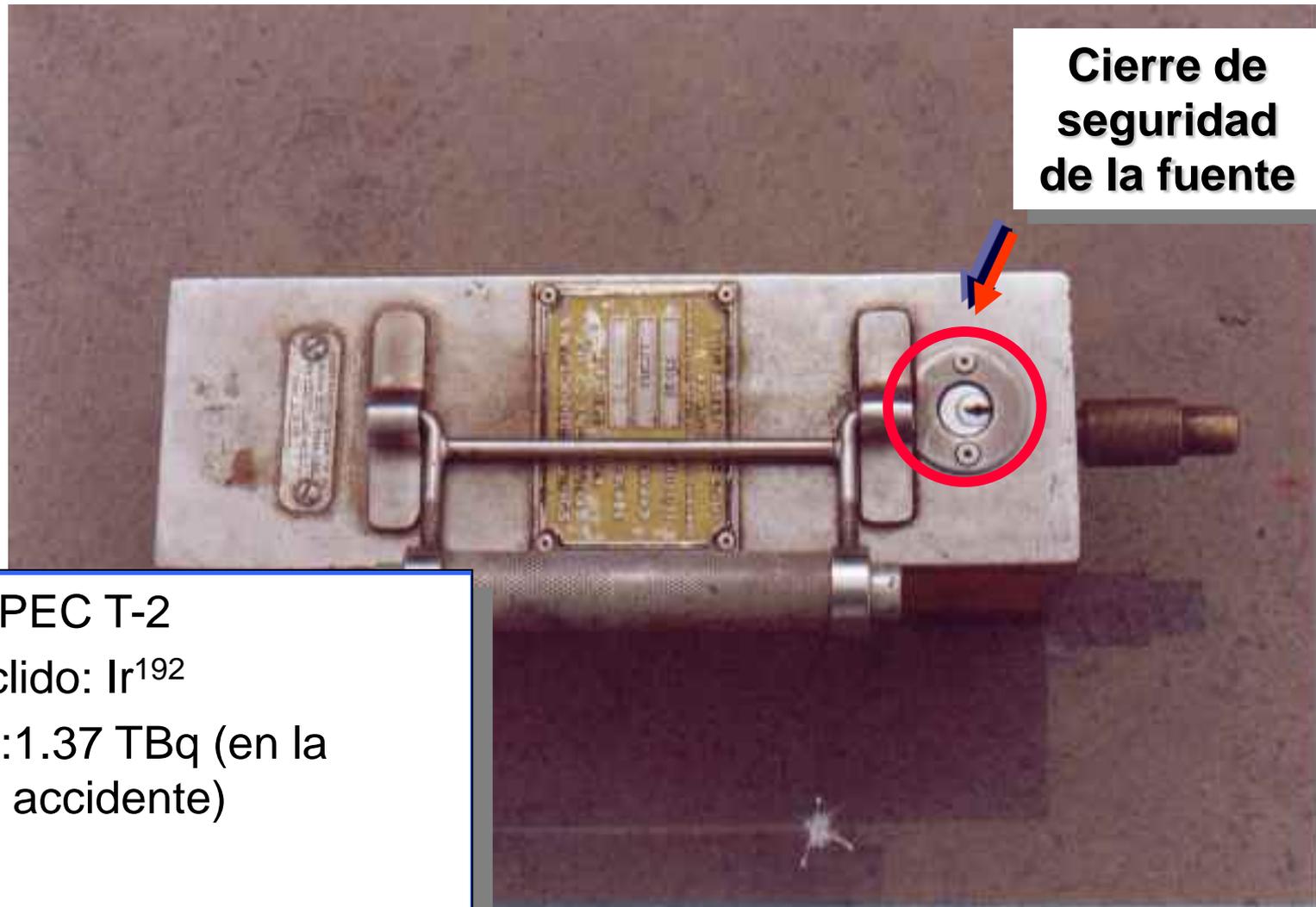
- Emplazamiento en construcción de una central hidroeléctrica en Yanango
- Distancia de Lima: 300 km., al este
- Distrito: San Roman, Dpto de Junín

- ¿Qué sucedió?

- ◆ Una persona no autorizada afloja los tornillos del cierre de seguridad para liberar la fuente radiactiva (2-3 minutos demora esta operación)
- ◆ No se requiere de la llave para liberar la fuente, solo con un destornillador



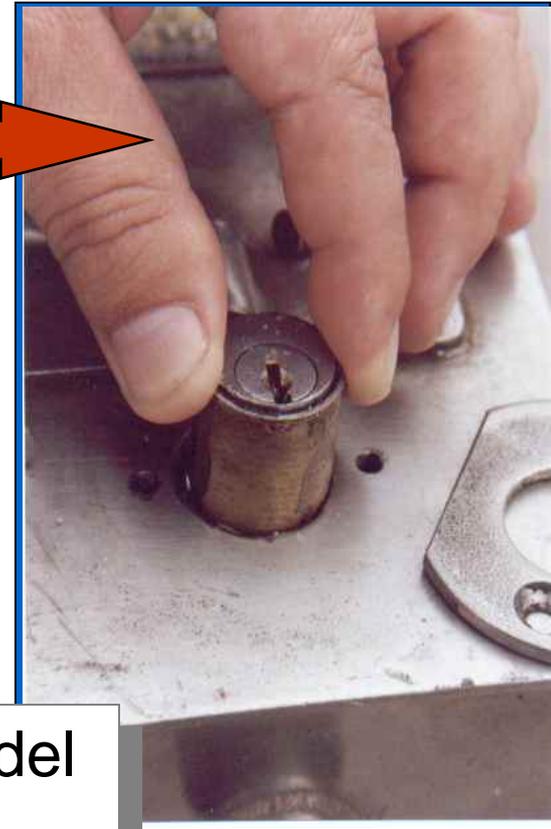
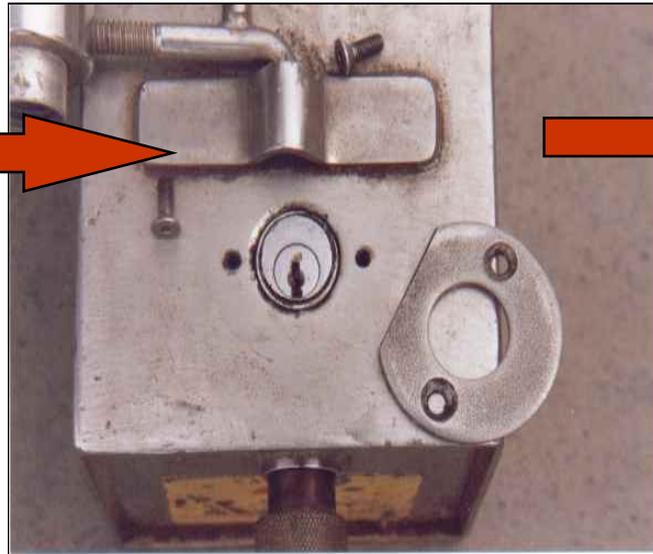
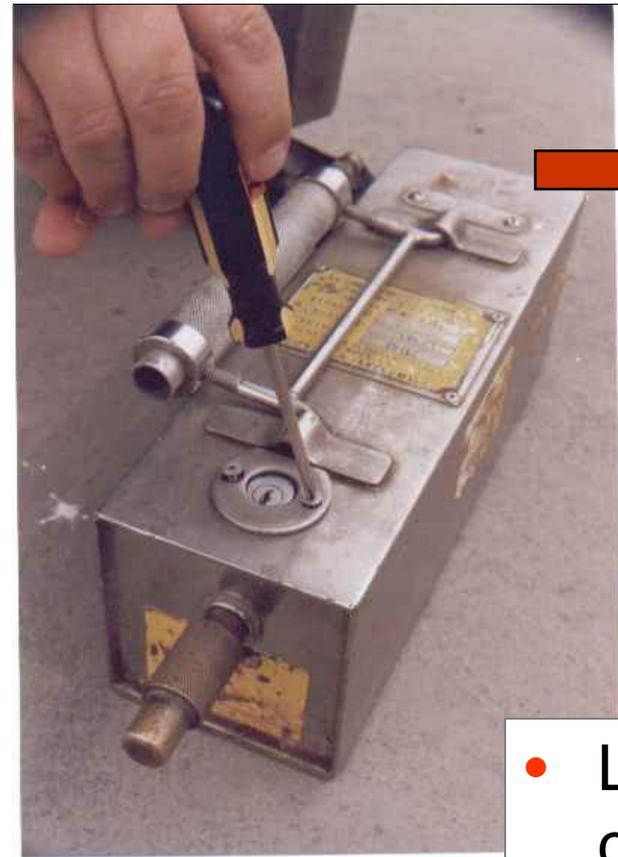
Características del equipo



Cierre de seguridad de la fuente

- Marca: SPEC T-2
- Radionúclido: Ir¹⁹²
- Actividad: 1.37 TBq (en la fecha del accidente)

Síntesis del accidente



- Liberación de los tornillos del cierre de seguridad
- La fuente puede quedar libre

Síntesis del accidente (cont.)

- 4:00 pm: Un trabajador (**soldador**) en el emplazamiento, por desconocimiento, recoge una fuente de gammagrafía ^{192}Ir abandonada dentro de una tubería
- La guarda en su bolsillo trasero de su pantalón

Síntesis del accidente (cont.)

- Viaja en Omnibus a su casa
- Durante el viaje (30 minutos) estuvo acompañado por 15 personas (a una distancia entre 0.5 - 2 m).
- El enrojecimiento de la piel lo asocia a una picada de insecto
- Se aplica compresas calientes
- La esposa estuvo sentada sobre el pantalón con la fuente (5 - 10 minutos) mientras lactaba a su bebé (18 meses de edad)

Consecuencias

- Sobreirradiación: 1 persona
- Exposición: 18 personas



- Efectos en la pierna (13:00 h, 21/02/99)



- Dos días después (23/02/99)



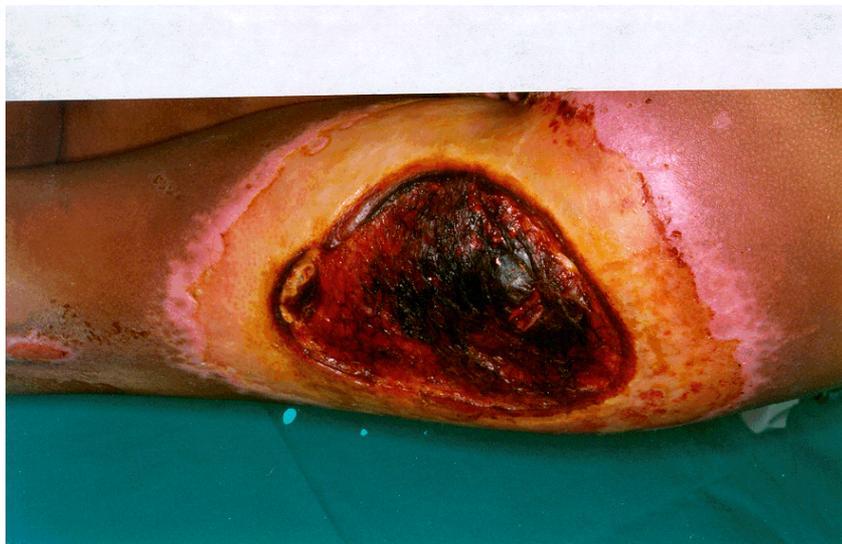
- Lesión 16 días después del accidente (8/marzo/99)



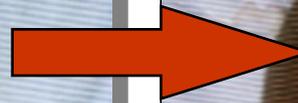
- Efectos en la pierna (70 días después del accidente; 3/mayo/99)



Dosis estimada en piel a 1cm de profundidas 10 kGy.



Consecuencias



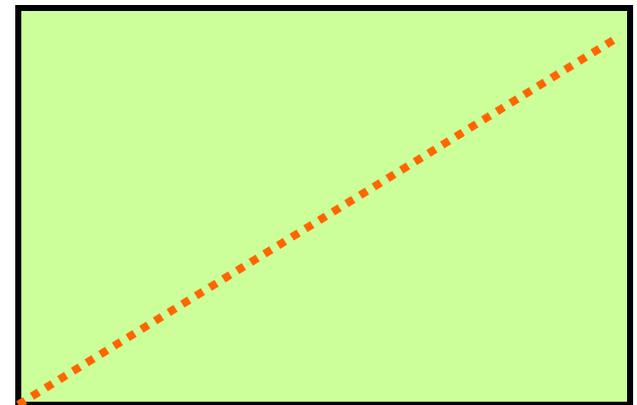
- Amputación de la pierna 8 meses después (18/octubre/99)

- Infección severa 10 meses después (14/diciembre/99)

Efectos Estocásticos

- Debido a modificaciones en el ADN y consecuente proliferación de clones cancerígenos
- Una sola célula mutada puede desencadenar en un cáncer
- La probabilidad del efecto se incrementa con la dosis
- La severidad o gravedad (cáncer) no depende de la dosis
- No existe una dosis umbral por debajo de la cual el riesgo sea cero

Probabilidad
del efecto



dosis

Modelo dosis-efecto lineal
sin umbral

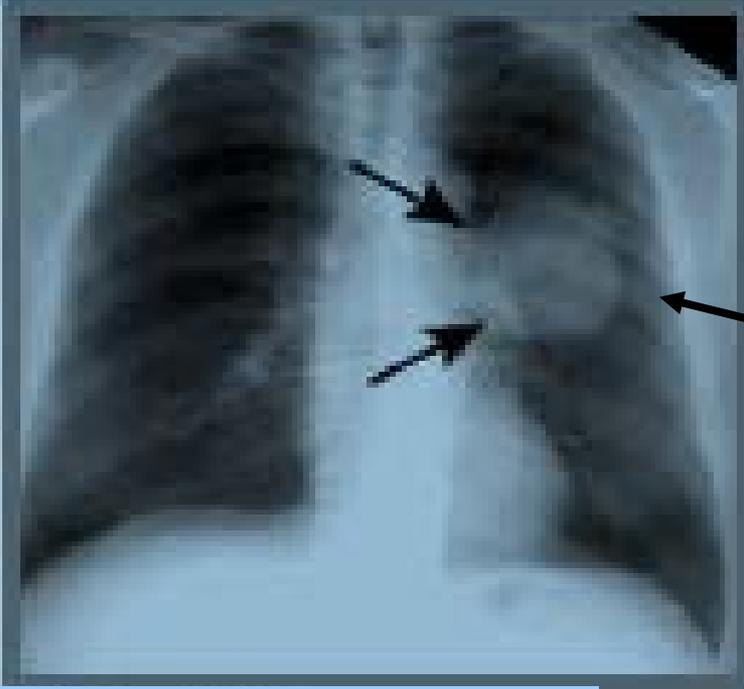
Efectos estocásticos (mutación)

- Carcinogénesis
- Efectos hereditarios
- Efectos en el embrión/feto

Es el efecto estocástico mas importante es:

- **INDUCCIÓN DE CÁNCER**
(carcinogénesis radioinducida)

Carcinogénesis radioinducida



Cáncer de pulmón probablemente inducido por radiación



Daño en piel causado por radiaciones



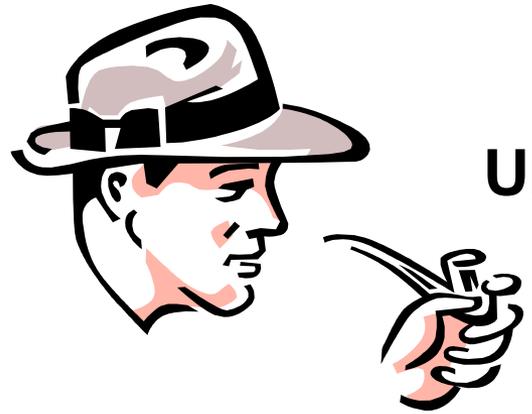
Bien, entiendo que los efectos de la radiación son del tipo probabilista, según estudios de los supervivientes de las bombas, etc.,

Pero me gustaría saber si YO, puedo inducir uno de éstos



Se preocupa por estos riesgos?

Realmente no

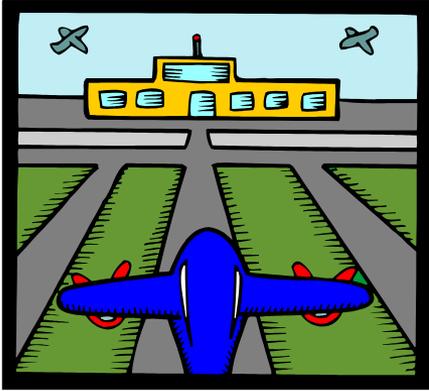


Un poco

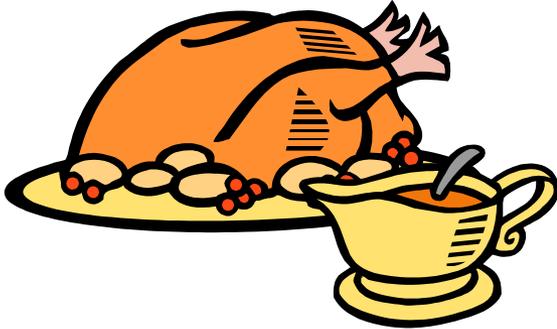


Si y mucho

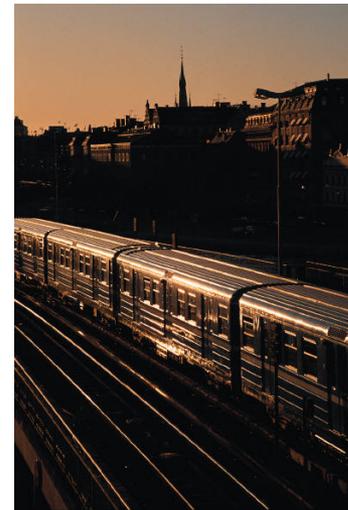




Y por éstos ?



Si Ud. trabaja de tal forma que se mantiene por debajo de la dosis límite indicado en la norma de 20 mSv por año para toda la vida profesional desde 18 a 65 años, su probabilidad de un cáncer adicional es menor de 1 en 1000.



Nota: Los cálculos probabilistas son para grupos de personas y no para casos individuales



Esto parece ser interesante.

¿Es posible trabajar de tal forma de mantenerme por debajo de 20mSv / año?

Debería ser posible, incluso por debajo de $\approx 3\text{mSv} / \text{año}$

Efectos que se puede heredar

Efectos observables en los descendientes cuyo padre y madre (o uno de ellos) han sido irradiados antes de la concepción

Efectos hereditarios

Irradiación antes de la concepción

- La irradiación pre-concepción de las gónadas de ambos padres **NO** ha mostrado un incremento del riesgo de cáncer o malformaciones en niños

Efectos hereditarios

Se estudiaron los descendientes de los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki

**Y no se detectaron
anormalidades
estadísticamente
significativas**

Efectos deterministas en feto

- Riesgo de Radiación para el Feto: Depende de *estadío del embarazo y la dosis absorbida*
- Los riesgos son más significativos durante la organogénesis y en el período temprano del feto (1er trimestre), siendo menor en el 2do trimestre y aun menor en el 3er trimestre

Mayor riesgo



Menos



Menos



Efectos deterministas en feto

Malformaciones Radio-inducidas

- Las malformaciones tienen un **umbral de 100-200 mGy** y están típicamente asociadas con problemas del sistema nervioso central
- La dosis fetal de 100 mGy **no se alcanza** incluso con 3 TAC de pelvis o 20 exámenes de rayos X en radiografía convencional
- Estos niveles **pueden** alcanzarse con procedimientos de intervencionismo guiados con fluoroscopia en pelvis y con radioterapia



Efectos deterministas en feto

- Sólo son posibles a partir de 100mSv
(Véase la publicación ICRP 84)

Niña cuyo cerebro no está en el cráneo, este una entidad separada en la parte posterior de su cabeza



Incremento de las malformaciones congénitas



- Niño de la ciudad de Belarus padece de leucemia
- El 70% de la lluvia radioactiva de Chernobyl cayó en Belarus





- Esta niña nació en 1990 en una villa muy contaminada por el accidente de Chernobyl en 1986.
- Un tumor cerebral canceroso a la edad de 4 años marcó el fin de su infancia y el comienzo de una vida de dolor y enfermedad
- Ella tiene ahora 19 años y ha pasado su vida entrando y saliendo de hospitales