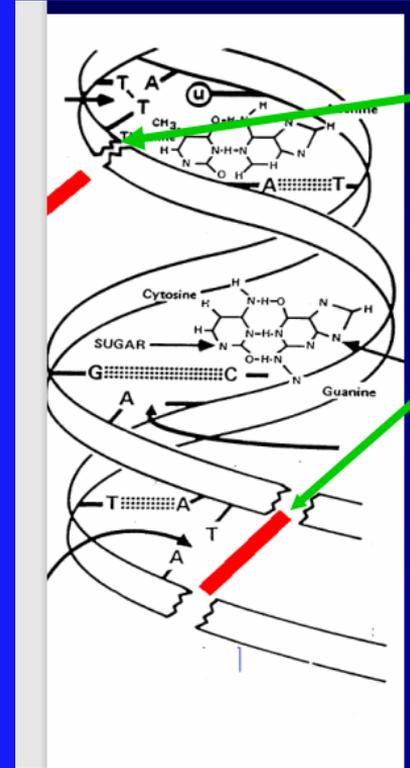


**Curso de capacitación continuada en  
materia de radioprotección para  
Responsables de Protección  
Radiológica.**

**P-03 Efectos biológicos de las  
radiaciones ionizantes.**

# Objetivo

- Que los participantes conozcan sobre los efectos biológicos de las radiaciones ionizante. Efectos sobre el ADN, efectos sobre las células y factores que influyen en la manifestación de los efectos biológicos.



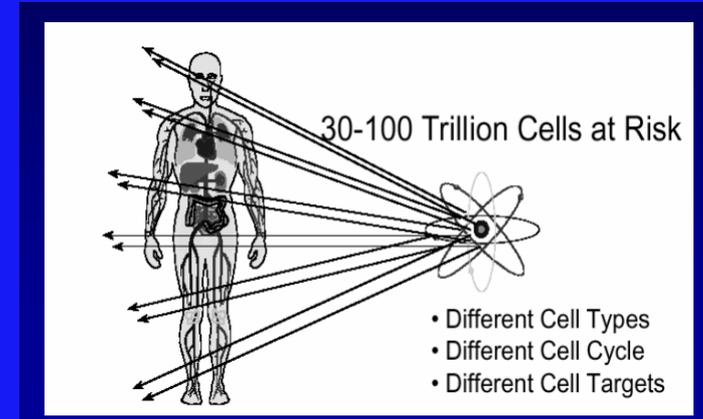
# Contenido

- Breve reseña histórica.
- Interacción de las radiaciones ionizantes con el material biológico.
- Modificaciones radioinducidas en la molécula de Ácido Desoxirribonucleico (ADN).
- Efectos en el ámbito celular.
- Factores que influyen en la manifestación de los efectos biológicos.
- Tipos de efectos biológicos y sus características.
- Efectos de la irradiación prenatal.

# Breve reseña histórica.

El ser humano ha estado expuesto por miles de años a la radiación natural ionizante y no se puede atribuir efectos dañinos a esos niveles de exposición.

Como promedio una persona recibe una dosis anual atribuible a la radiación natural de 2,4 mSv/año.



# Breve reseña histórica.

## Breve reseña histórica. Primeras evidencias de la aparición de los Efectos Biológicos

1895 Descubrimiento de los rayos X

1896 Descubrimiento de la radiactividad natural



Exposición personas a altas dosis de radiación



1896- Eritemas, Dermatitis, Caída del pelo

1902- Cáncer de piel

1903- Leucopenia

1905- Esterilidad en jóvenes trabajadores en fábricas de tubos de rayos X

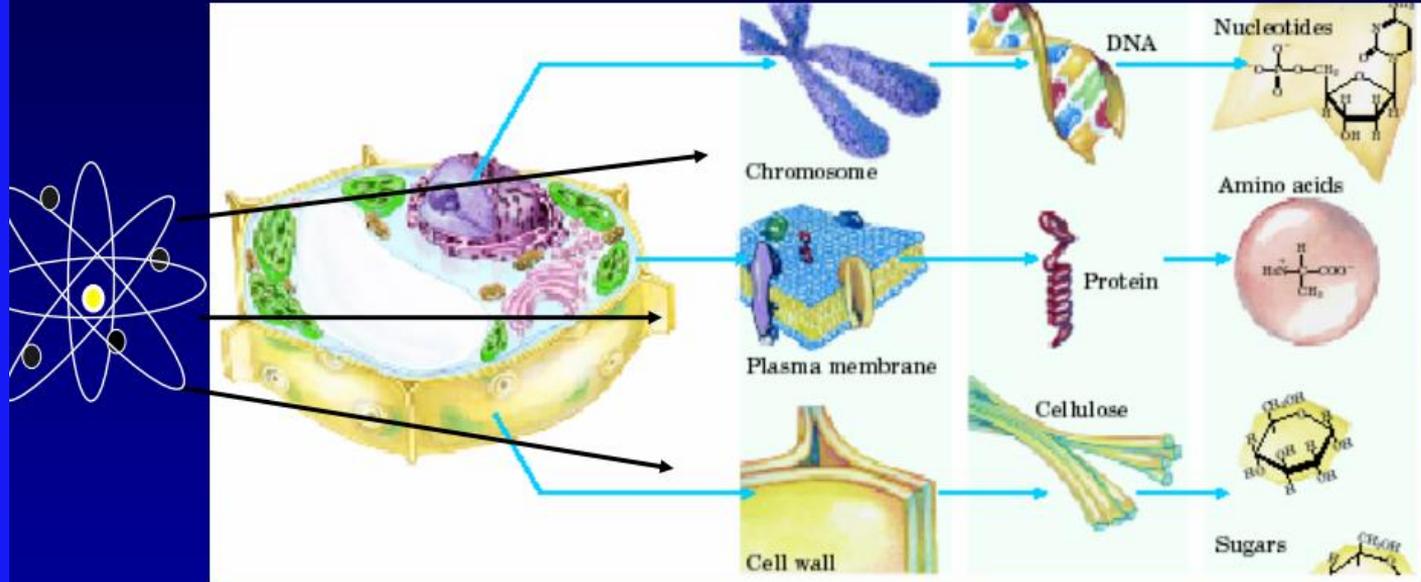
# Breve reseña histórica.

Ante la evidencia de daños se hizo necesario estudiar los efectos biológicos de las Radiaciones ionizantes. Para ello, los estudios se han basado en tres fuentes fundamentales que son:

- 
- 1. Estudios epidemiológicos:**
    - Sobrevivientes Bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki**
    - Pacientes espondilitis anquilopoyética (1930-1940)**
    - Pacientes tuberculosos, fluoroscopia (1950-1960)**
  - 2. Estudios pacientes tratamientos de radioterapia y trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones (TOE)**
  - 3. Estudios celulares, en animales de experimentación**

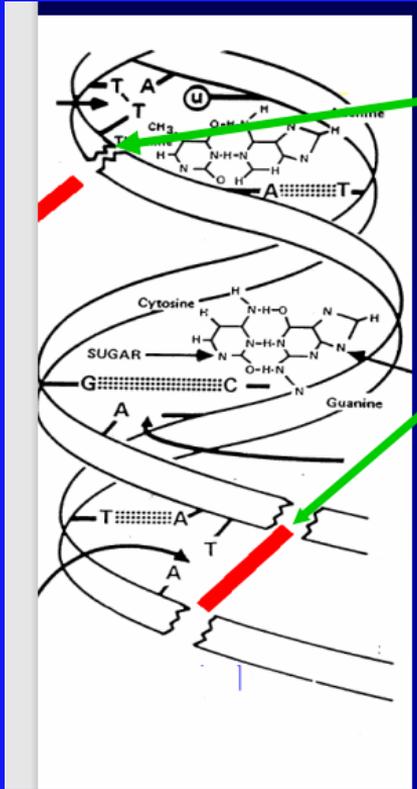
# Interacción de las radiaciones ionizantes con el material biológico

## Efectos en el ámbito molecular



1. Proteínas.
2. Lípidos.
3. Carbohidratos.
4. ADN

# Modificaciones radioinducidas en la molécula de ADN.



Interacciones con el ADN, mecanismos de reparación

## 1. Lesiones en una cadena que pueden ser:

- Roturas simples (reparables).
- Modificaciones de bases (mutaciones puntuales).

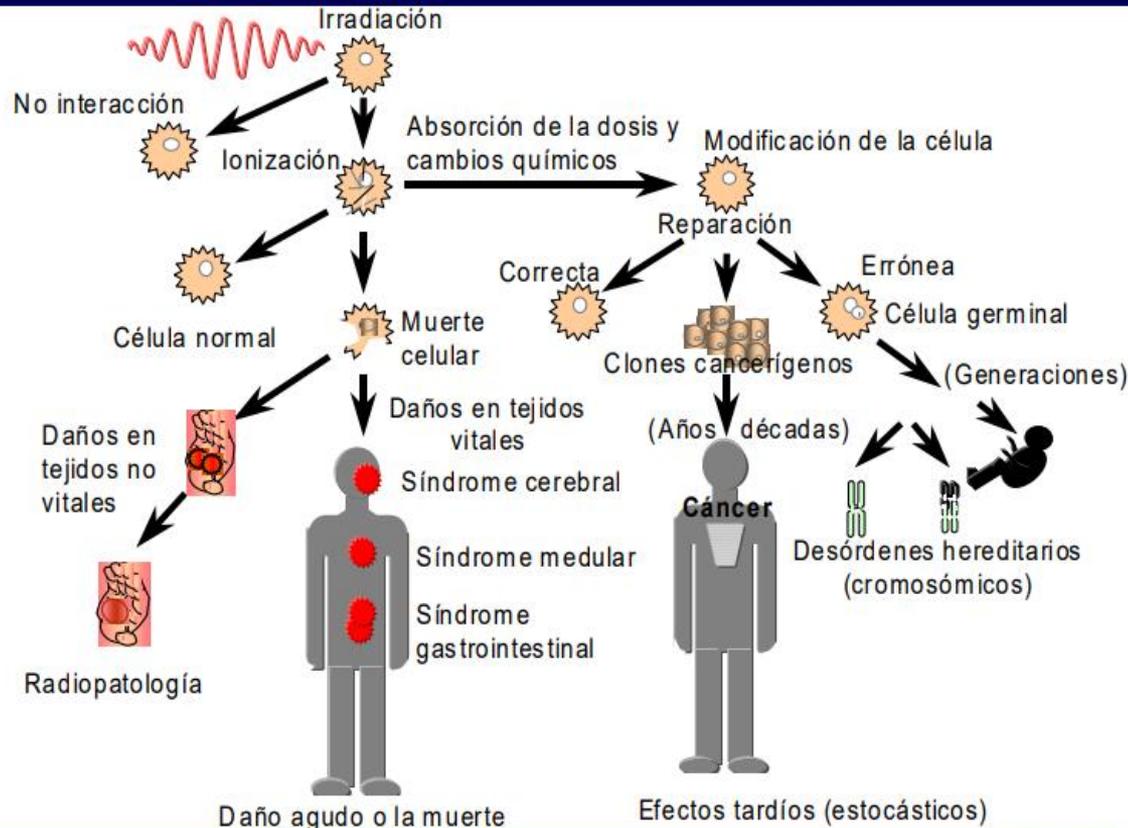
## 2. Lesiones en dos cadenas que pueden ser:

- Roturas dobles.
- Entrecruzamientos.
- Coincidencia espacial de dos lesiones.

La ocurrencia de **lesiones en dos cadenas son de difícil reparación y puede provocar mutaciones** consistentes en la pérdida de grandes segmentos de la cadena y reordenamiento de estos.

# Efectos en el ámbito celular

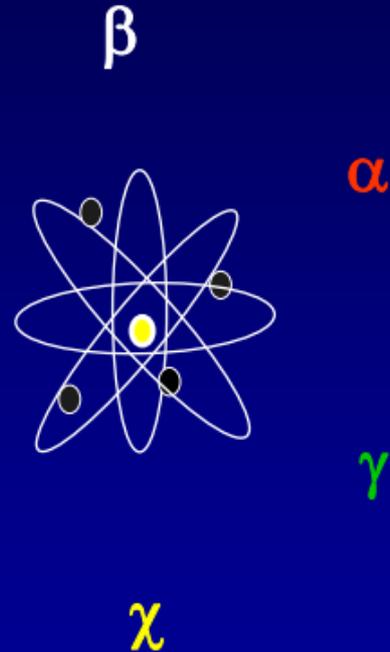
## Efectos en el ámbito celular...organismo



# Factores que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

## FACTORES FÍSICOS

- ✓ Tipo de radiación (TLE)
- ✓ Dosis
- ✓ Tasa de dosis
- ✓ Fraccionamiento de la dosis



# Factores que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

## FACTORES BIOLÓGICOS



- ✓ Fase del ciclo celular en que ocurre la irradiación
- ✓ Tipo de célula o tejido irradiado (reparación, proliferación, especialización)
- ✓ Presencia de sustancias radioprotectoras o sensibilizadoras
- ✓ Parte del organismo que se irradia

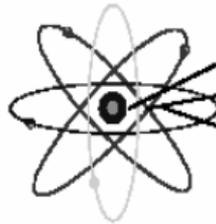
# Factores físicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

## Factores físicos. Tipo de Radiación

✓ Transferencia lineal energía (TLE): Baja o alta

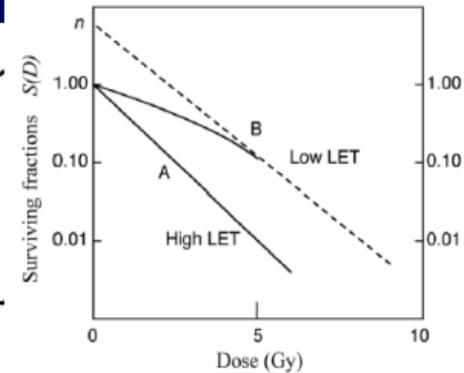
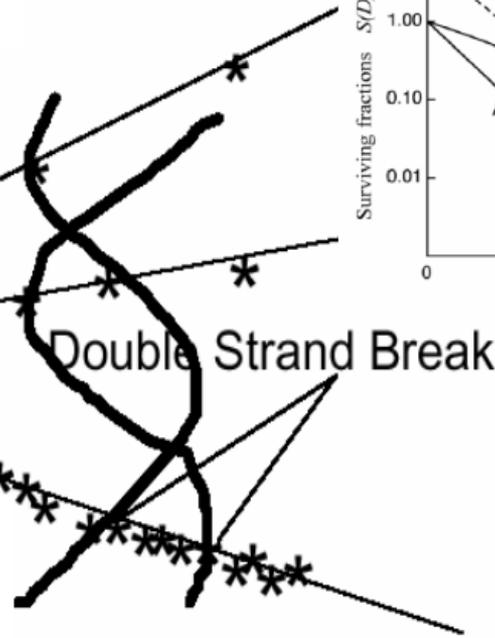
Baja TLE: X, gamma

Roturas simples



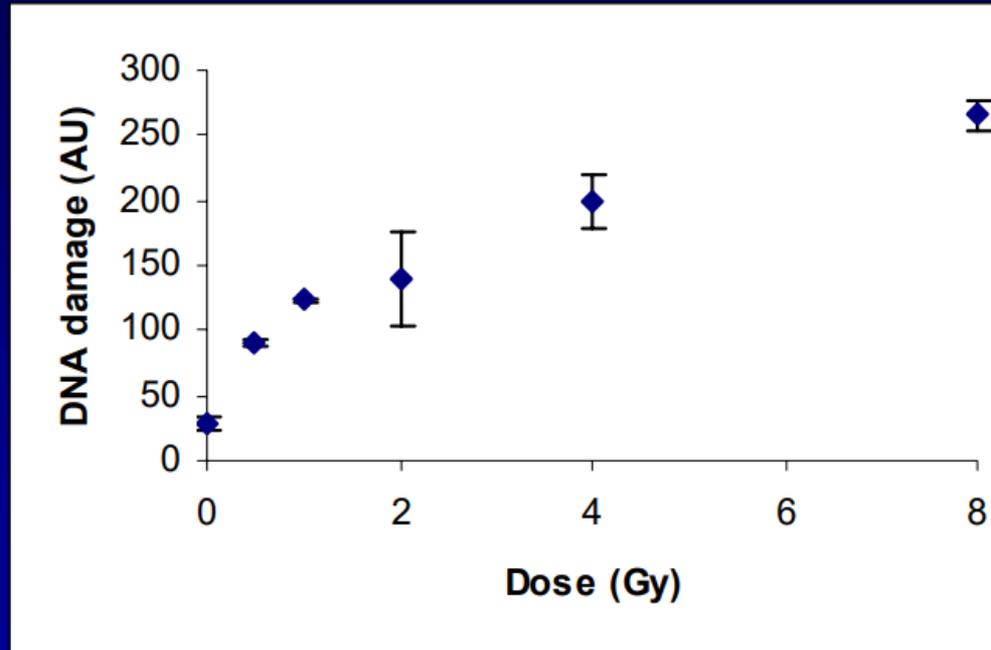
Alta TLE: alfa, neutrones

Roturas dobles



# Factores físicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

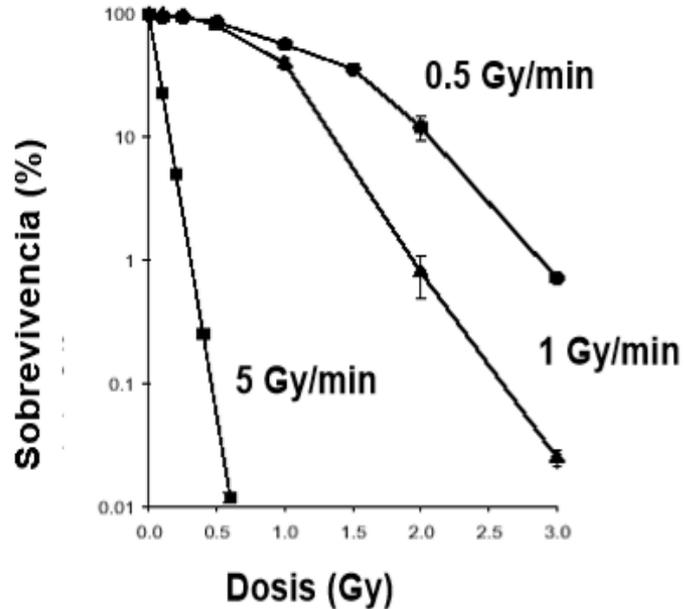
## Factores físicos. Dosis de Radiación



**Mientras mayor es la dosis mayor es el efecto**

# Factores físicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

## Factores físicos. Tasa de Dosis de Radiación

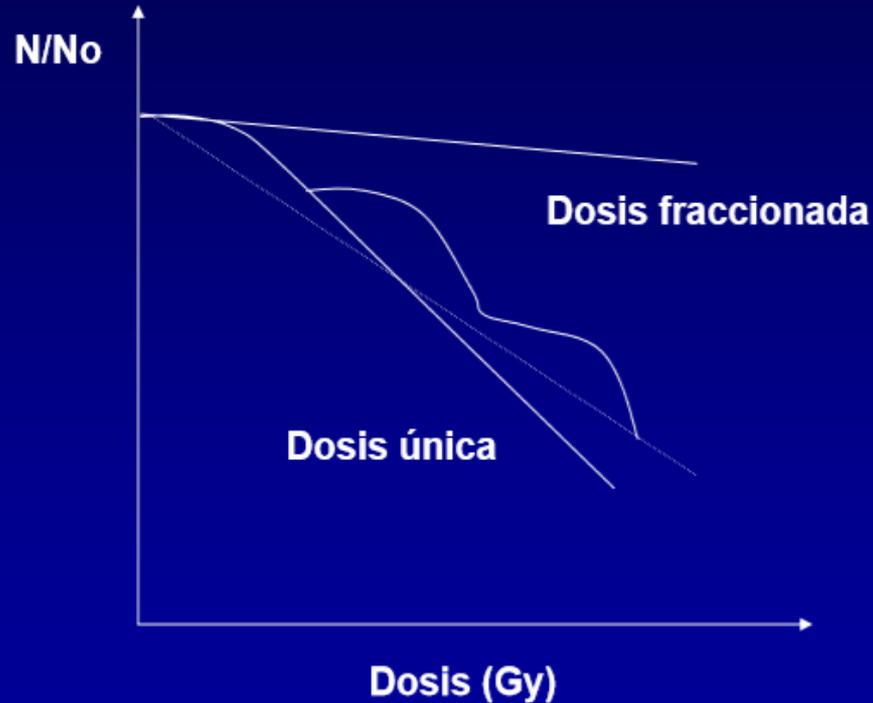


**Mientras mayor es la tasa de dosis mayor es el efecto**

# Factores físicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

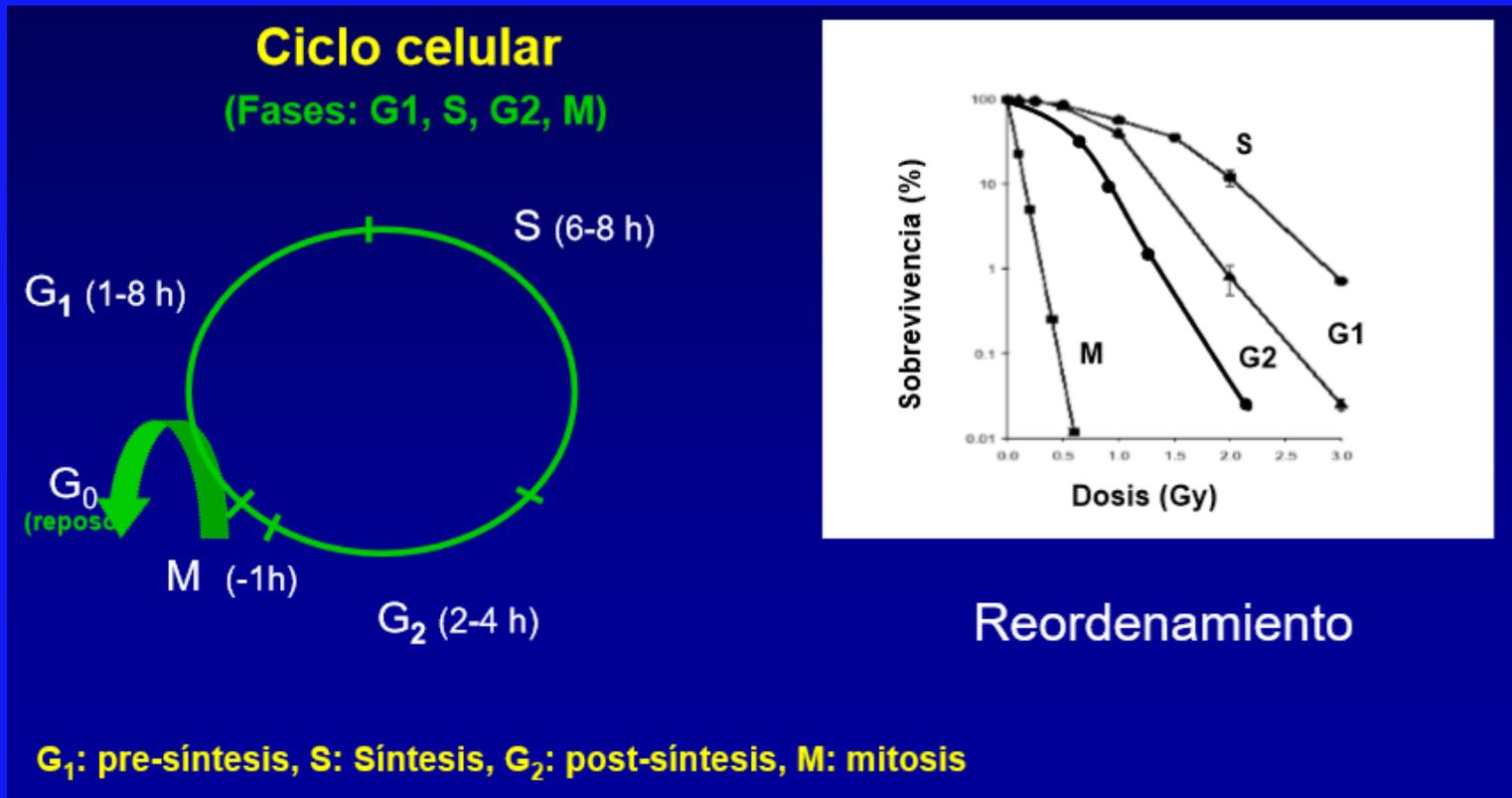
## Factores físicos. Fraccionamiento de la Dosis

Una misma dosis  
suministrada en  
mayor tiempo  
permite a la célula  
reparar el efecto



# Factores biológicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

## Factores biológicos. Fase del ciclo celular.

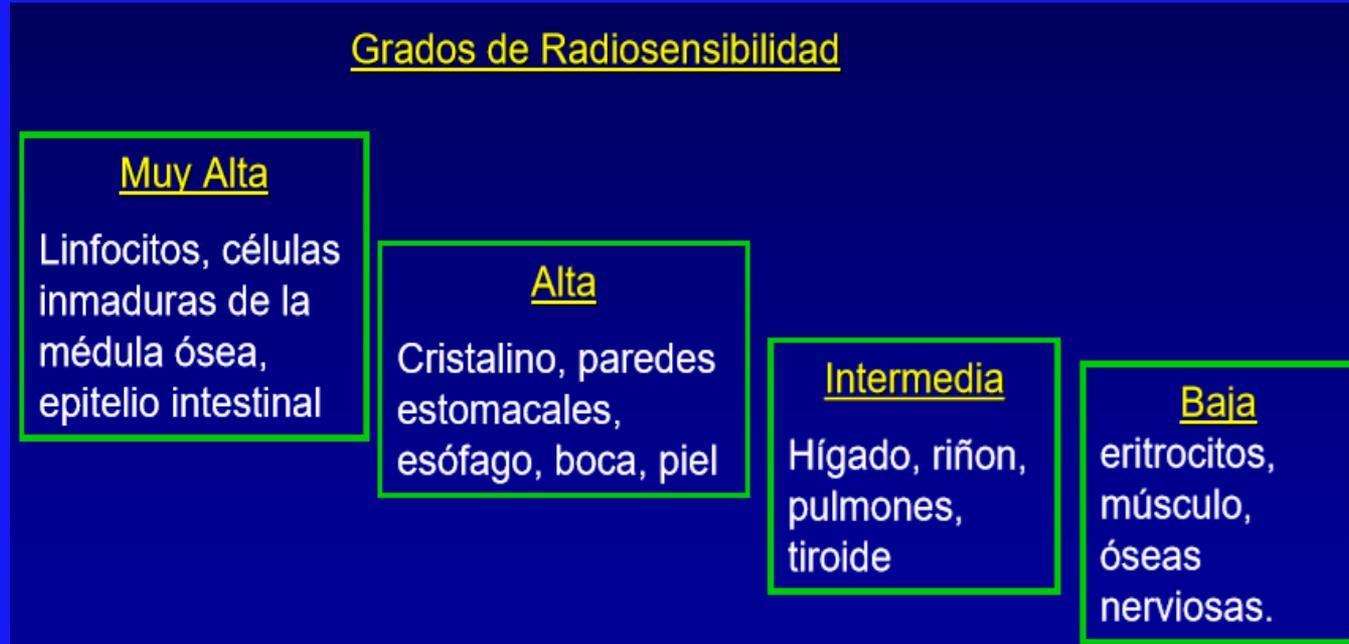


# Factores biológicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

Factores biológicos. Tipo de célula o tejido.

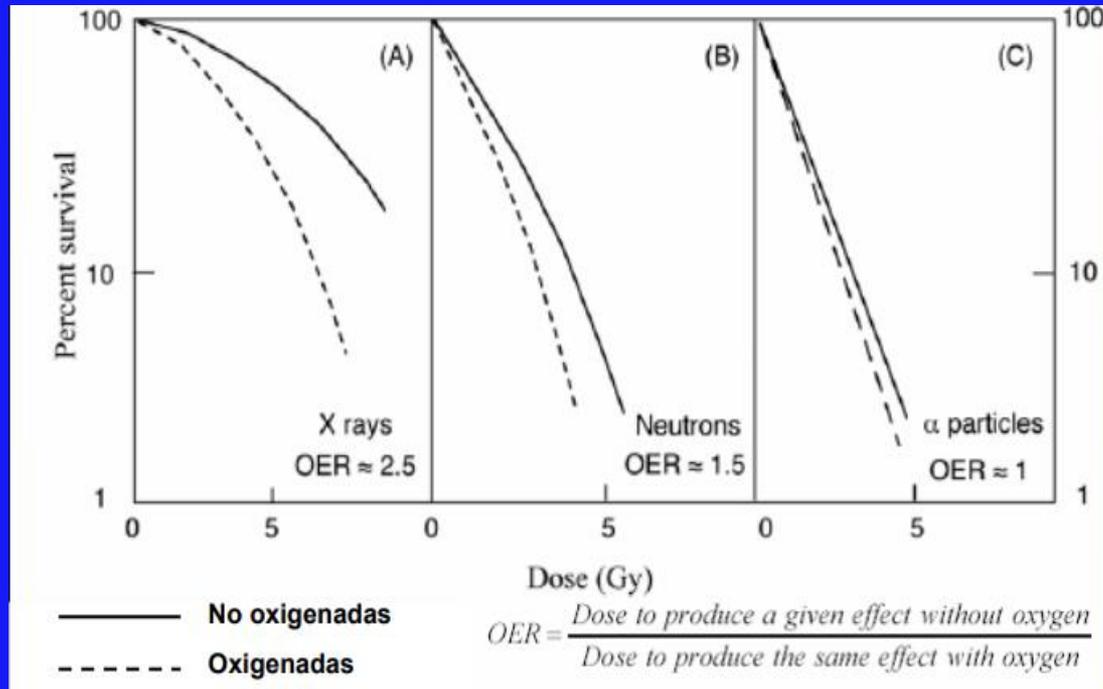
Ley Bergonie-Tribondeau

$RS \cong \text{Velocidad proliferación} / \text{Grado de especialización}$



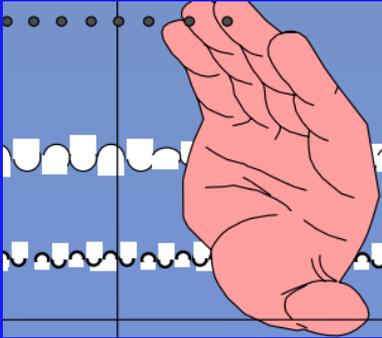
# Factores biológicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

## Factores biológicos. Presencia de sustancias radioprotectoras o sensibilizadoras.



# Factores biológicos que influyen en la manifestación de los efectos biológicos

Factores biológicos. Parte del organismo que es irradiada.



Un daño local en un tejido no vital conduce a una Radiopatología local de ese tejido (por ejemplo necrosis)

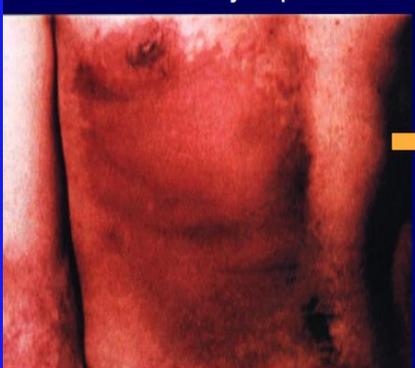


Un daño en tejidos vitales conduce a la muerte de la persona irradiada

# Clasificación de los efectos biológicos

Los efectos biológicos se clasifican en:

1. Efectos deterministas.
2. Efectos estocásticos.



- Eritema 11 días después de exponerse fte  $^{192}\text{Ir}$  (185 GBq, 5 Ci). Fuente puesta 2 h en el bolsillo del overoll de un trabajador)

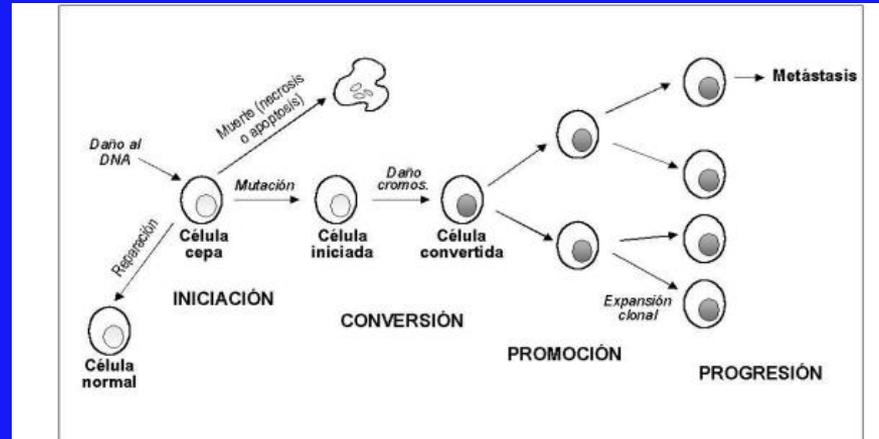


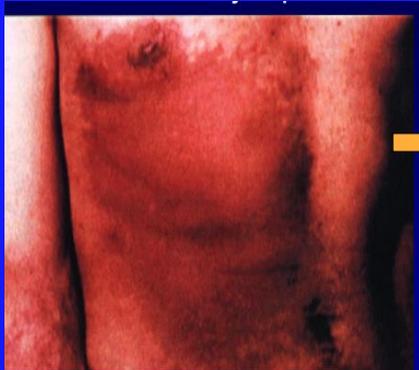
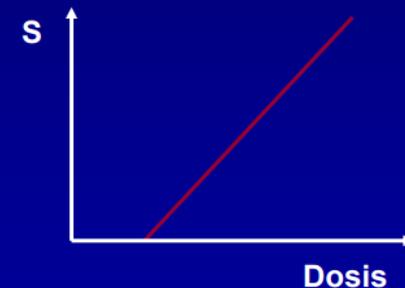
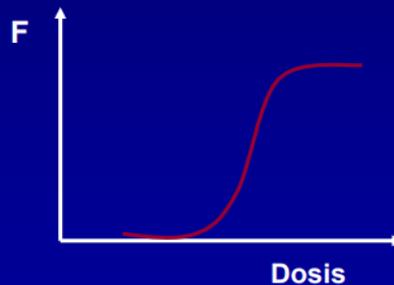
Figura 6. Esquema del proceso carcinogénico según el modelo multietapa.

# Clasificación de los efectos biológicos

## Efectos deterministas.

### Se caracterizan por:

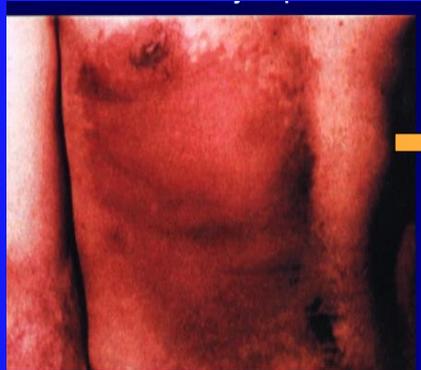
- ✓ Dosis umbral (Efecto en 1-5 % de los expuestos)
- ✓ La severidad y la frecuencia aumenta con la dosis y la tasa de dosis
- ✓ El número de células afectadas influye proporcionalmente en la severidad del efecto.



- Eritema 11 días después de exponerse a  $^{192}\text{Ir}$  (185 GBq, 5 Ci). Fuente puesta 2 h en el bolsillo del overol de un trabajador)

# Clasificación de los efectos biológicos

## Efectos deterministas. Dosis umbral



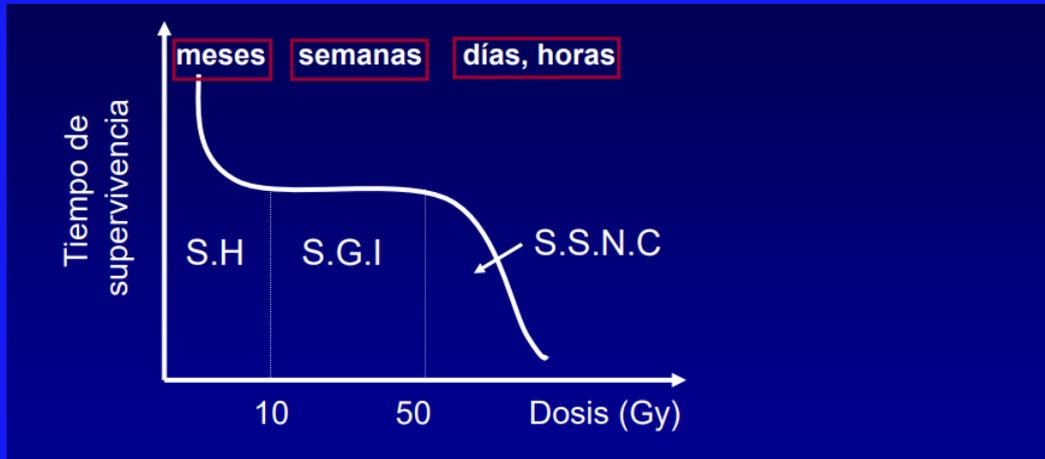
- Eritema 11 días después de exponerse fte  $^{192}\text{Ir}$  (185 GBq, 5 Ci). Fuente puesta 2 h en el bolsillo del overall de un trabajador)

### Estimaciones en adultos de los umbrales de efectos deterministas

| Efecto                       | Irradiación aguda (Gy) | Irradiación crónica (Gy/año) |
|------------------------------|------------------------|------------------------------|
| Esterilidad temporal masc.   | 0.15                   | 0.4                          |
| Esterilidad permanente masc. | 3.5-6                  | 2                            |
| Esterilidad temporal fem.    | 2.5-6                  | >0.22                        |
| Depresión médula ósea        | 0.5                    | >0.4                         |
| Opacidad cristalino          | 2-10                   | >0.1                         |

# Clasificación de los efectos biológicos

## Efectos Deterministas. Síndrome agudo por radiaciones.



Nota: Los tiempos de supervivencia dependen de la condición clínica de la persona irradiada y de la asistencia médica recibida.

El SAR es el efecto determinista más extremo y puede afectar varios sistemas de la persona e incluye.

- Síndrome Hematopoyético (S.H).
- Síndrome gastrointestinal (S.G.I).
- Síndrome del sistema nervioso central (S.S.N.C)..

# Clasificación de los efectos biológicos

## Efectos estocásticos.

### Se caracterizan por:

- ⇒ No existe dosis umbral
- ⇒ La probabilidad de ocurrencia aumenta con la dosis y la tasa de dosis
- ⇒ Su severidad es independiente de la dosis
- ⇒ Ocurre en un plazo relativamente largo después de ocurrida la exposición

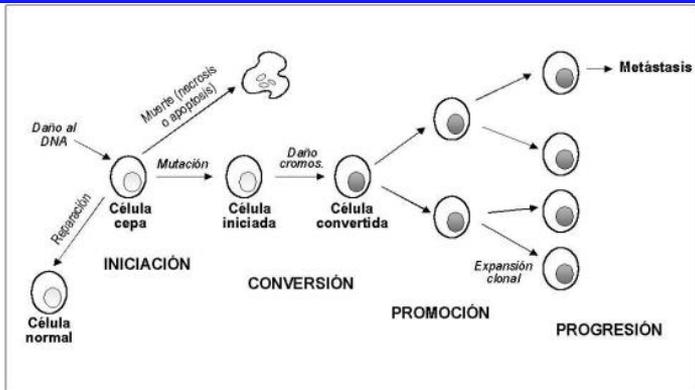
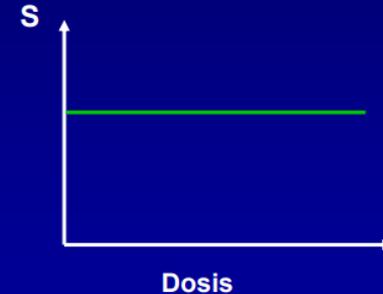
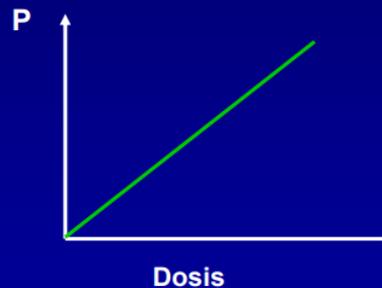


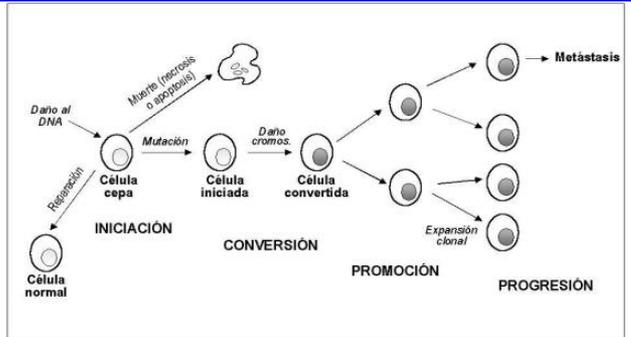
Figura 6. Esquema del proceso carcinogénico según el modelo multietapa.



Ejemplos: Cáncer, Efectos hereditarios

# Clasificación de los efectos biológicos

## Efectos estocásticos. Cáncer



### Factores biológicos que influyen en la inducción de cáncer

- ✓ Edad en el momento de la exposición (riesgo es mayor en niños)
- ✓ Edad alcanzada después de la exposición
- ✓ Sexo
- ✓ Predisposición individual (hábitos, carga genética, factores raciales)

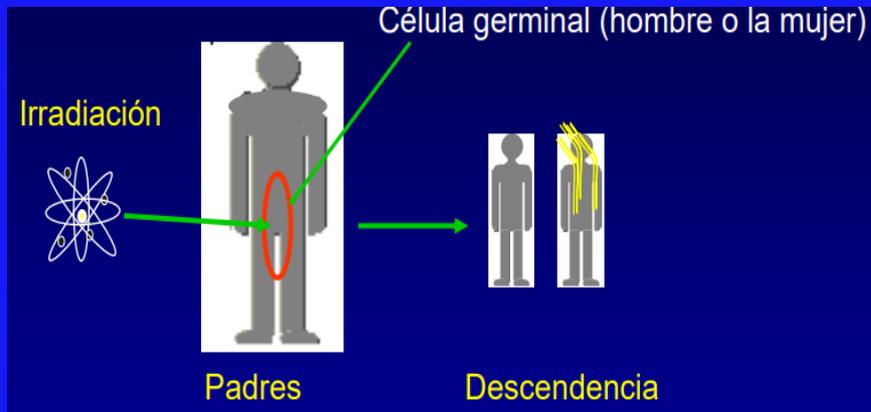
**Detección mayor incidencia cáncer radioinducido**

Estudios epidemiológicos

Se ha comprobado para algunos tipos de cánceres mediante el estudio de 120000 personas sobrevivientes de los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki

# Clasificación de los efectos biológicos

## Efectos estocásticos. Efectos hereditarios



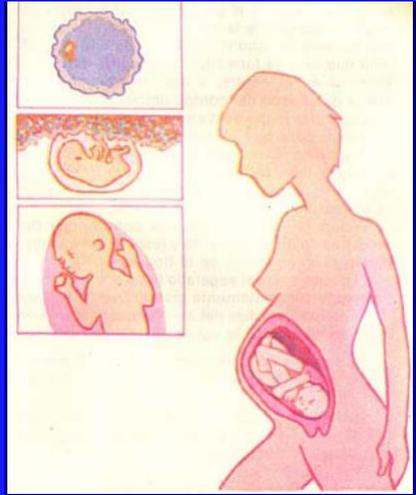
La detección de este tipo de efecto puede ser:

- **Directa:** observando las mutaciones en genes de descendientes.
- **Indirecta:** observando la incidencia de malformaciones congénitas, enfermedades hereditarias y abortos en la descendencia.

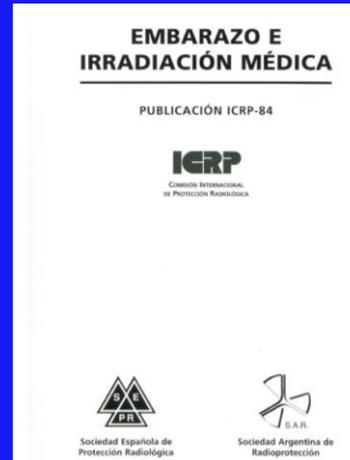
Los estudios realizados a población expuesta a altas dosis de radiación en Hiroshima y Nagasaki NO han detectado un incremento en los efectos hereditarios.

# Efectos de la irradiación prenatal

## Efectos en el embrión y el feto.

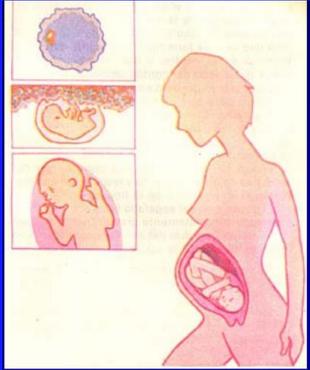


La publicación ICRP 84 es el documento de referencia en el tema.  
([https://www.icrp.org/docs/P084\\_Spanish.pdf](https://www.icrp.org/docs/P084_Spanish.pdf))



# Efectos de la irradiación prenatal

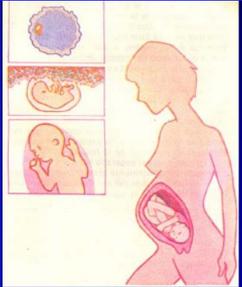
## Efectos en el embrión y el feto.



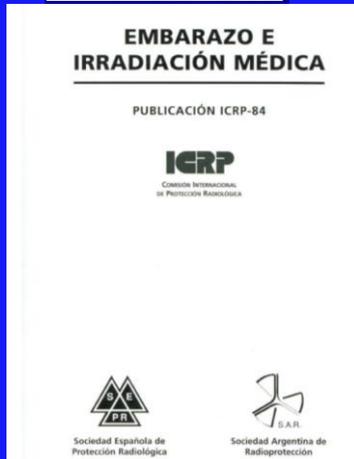
| Período pre-ovulatorio          | Pre-implantación             | Organogénesis                    | Desarrollo cerebral                       | Crecimiento fetal  |                                 |        |
|---------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|---------------------------------|--------|
| 0                               | 14 días                      | 20 días                          | 8 sem.                                    | 15 sem             | 25 sem                          | 40 sem |
| Última menstruación             | Ovulación<br>Fecundación     | Anidación                        |                                           |                    |                                 |        |
| Efecto sin peligro para el feto | Abortos espontáneos (30-50%) | Teratogénesis (Malformación SNC) | Inducción de retardo mental               | R.M 10 veces menor | Reducción del crecimiento fetal |        |
|                                 | embrión                      |                                  |                                           | feto               |                                 |        |
| <b>D umbral</b>                 | 0.1 Gy                       | 0.05-0.1 Gy                      | 0.1, 0.2 Coef.<br>R=4x10 <sup>-3</sup> Sv |                    | 0.1 Gy                          |        |
| <b>Demostración</b>             | A                            | A                                | H y N                                     |                    | A                               |        |

# Efectos de la irradiación prenatal

## Efectos en el embrión y el feto. Radioterapia



- En pacientes embarazadas, si los tumores están alejados de la pelvis, pueden ser normalmente tratados con radioterapia;
- Los tumores localizados en la pelvis no pueden ser tratados adecuadamente con radioterapia durante el embarazo sin que ocurran consecuencias severas o letales para el feto.



## *Conclusiones:*

- 1) Desde el mismo descubrimiento y después de los primeros usos dados a las radiaciones ionizantes se pudo corroborar la ocurrencia de los efectos biológicos adversos.
- 2) Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se manifiestan en el ámbito molecular y en el ámbito celular.
- 3) Existen factores físicos y factores biológicos que influyen en la forma de manifestarse los efectos biológicos.
- 4) Los efectos biológicos se clasifican en efectos deterministas y efectos estocásticos.
- 5) Existen suficientes evidencias que demuestran los efectos de las radiaciones ionizantes en el embrión y el feto.

