

# Radiobiología

# Índice

- Introducción a la radiobiología
  - Definición, interacción con materia viva, fases de interacción y consecuencias
- Efectos a nivel radiobiológico.
  - Clasificación de efectos, efectos sobre órganos y tejidos, efectos sobre el embrión y feto.
- Radiogenética.
  - Efectos de la radiación a nivel genético.
- Factores influyentes en la absorción de la radiación por parte de la materia viva.
  - Dependientes de la radiación, que afectan propiamente a la radiosensibilidad, ciclo celular, tipos muerte celular.
- Síndrome de irradiación aguda
  - Fases, síndromes, tratamiento
- Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones.
  - Índice terapéutico, radiosensibilidad, 5R radioterapia.

# Índice

- **Introducción a la radiobiología**
  - Definición, interacción con materia viva, fases de interacción y consecuencias
- **Efectos a nivel radiobiológico.**
  - Clasificación de efectos, efectos sobre órganos y tejidos, efectos sobre el embrión y feto.
- **Radiogenética.**
  - Efectos de la radiación a nivel genético.
- *Factores influyentes en la absorción de la radiación por parte de la materia viva.*
  - Dependientes de la radiación, que afectan propiamente a la radiosensibilidad, ciclo celular, tipos muerte celular.
- *Síndrome de irradiación aguda*
  - Fases, síndromes, tratamiento
- *Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones.*
  - Índice terapéutico, radiosensibilidad, 5R radioterapia.

# Índice

- **Introducción a la radiobiología**
  - Definición, interacción con materia viva, fases de interacción y consecuencias
- **Efectos a nivel radiobiológico.**
  - Clasificación de efectos, efectos sobre órganos y tejidos, efectos sobre el embrión y feto.
- **Radiogenética.**
  - Efectos de la radiación a nivel genético.
- *Factores influyentes en la absorción de la radiación por parte de la materia viva.*
  - Dependientes de la radiación, que afectan propiamente a la radiosensibilidad, ciclo celular, tipos muerte celular.
- *Síndrome de irradiación aguda*
  - Fases, síndromes, tratamiento
- *Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones.*
  - Índice terapéutico, radiosensibilidad, 5R radioterapia.

# Radiobiología: definición

- Ciencia que estudia la interacción de la radiación ionizante con la materia viva.
- Ciencia que combina dos disciplinas: La física de la radiación y la biología.
- La ciencia que estudia los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes que comienza con las interacciones físicas hasta las manifestaciones patológicas.



# Antecedentes históricos (cronológicamente)

- **1895:** Röentgen descubre un tipo de radiación con carácter artificial a la que denomina X, estudiando los tubos de rayos catódicos (1901 Nobel por este descubrimiento)
- **1901:** En ese mismo año que Röentgen recibe el Nobel, Becquerel sufre, al transportar de forma accidental un trozo de mineral de uranio, una “quemadura” en la piel, justo en la zona del bolsillo en la que lo llevaba, estudiaría su propia lesión y la documentaría.
- **1902:** Pierre Curie se causa intencionadamente una lesión en el antebrazo con material radiactivo, con la finalidad de describir de manera minuciosa todo el proceso, las reacciones, los efectos, y presentar estudios en la literatura científica.
- **1906:** J Bergonié y L Tribondeau realizan experimentos con roedores estudiando los efectos de la radiación sobre sus organismos, estableciendo la ley que lleva sus nombres sobre la radiosensibilidad de los diferentes tejidos y su relación con la actividad mitótica y diferenciación celular.
- **1925:** Ancel y Vitemberg modifican la ley de J Bergonié y L Tribondeau exponiendo que la sensibilidad de toda célula que experimenta lesiones por la radiación es la misma, lo que cambia es el tiempo de aparición de estas lesiones que varía según los distintos tipos de células.



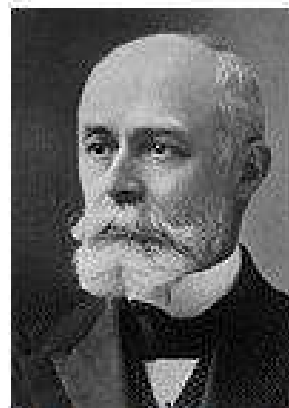
**Jean Alban BERGONIE**  
(1857-1925)



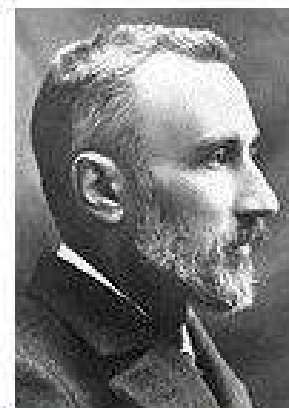
**Louis TRIBONDEAU**  
(1872-1918)



**Wilhelm Conrad  
Röntgen**



**Antoine Henri  
Becquerel**



**Pierre Curie**



**Marie Curie, née  
Skłodowska**

# Antecedentes históricos (cronológicamente)


- **1928:** se crea la ICRP, bajo los auspicios del Congreso Internacional de Radiología como un ente independiente para elaborar normas en esta materia debido a los sucesos que estaban aconteciendo y a la urgencia de regular los procesos.
- **1956:** Puck y Marcus inician experiencias de radiobiología creando curvas de supervivencia sobre células cancerosas cuando sobre ellas se aplicaba radiación ionizante. Aunque sus estudios tuvieron muchos detractores debido a que no se realizaban en medios vivos sino artificiales.
- **1960:** Dr David Gould comienza sus primeros ensayos en estudios “In vivo” referidos a curvas de supervivencia con dosis de radiación-respuesta celular dándose resultados similares a los estudios anteriores realizados en medios artificiales.
- Las siguientes décadas, y hasta en la actualidad, se realizan distintos estudios a nivel de radiobiología en distintos tejidos (Clifton y Gould) sobre distintos ciclos celulares y la respuesta a la radiación en sus diferentes fases (Terasima y Tolmach). Además también se estudian los diferentes radiosensibilizadores (Swartz o Bagshaw) y radioprotectores (Patt)




# Interacción de la radiación con la materia viva.

- El ser humano siempre ha estado expuesto a radiación de tipo ionizante de forma natural (rayos cósmicos, materiales radiactivo de la corteza terrestre, sustancias radiactivas dentro del organismo...)
- Para el estudio de los efectos que produce la interacción de la radiación con la materia viva interesan las fuentes de radiación antropogénicas (países desarrollados es la mayor causa de exposición a radiación)

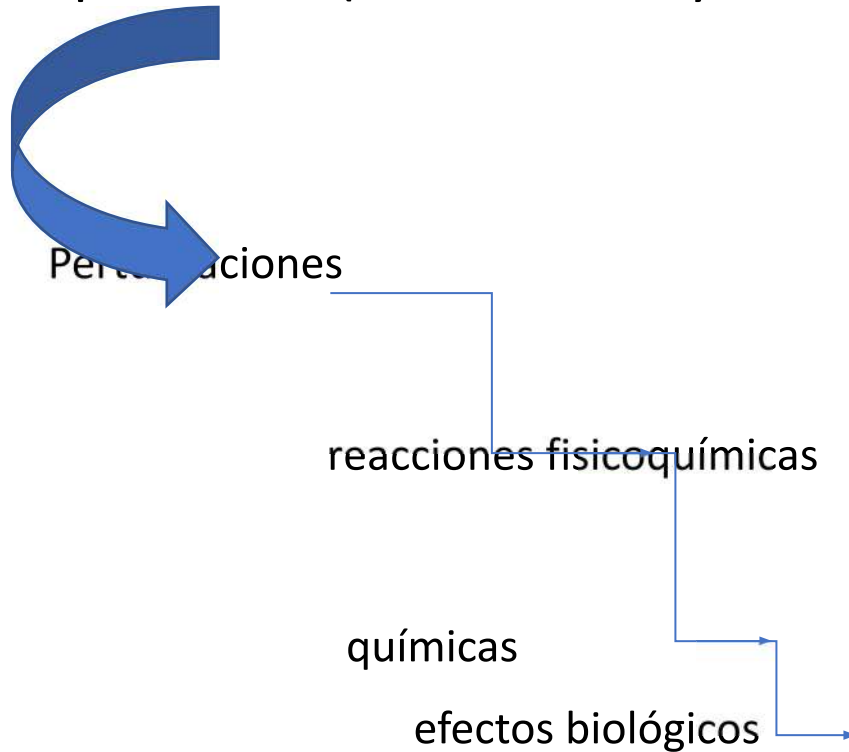
# Interacción de la radiación con la materia viva.

 Radiación no ionizante (solo produce excitaciones, no modifica átomos)

 Radiación ionizante (tiene capacidad para producir ionizaciones, para arrancar e- de la corteza y por lo tanto originar cambios)

# Interacción de la radiación con la materia viva.

Eventos primarios (ionizaciones y excitaciones)



# Interacción de la radiación con la materia viva.

- Cuando una radiación ionizante interacciona con la materia viva ocasiona su ionización.
- Los átomos pierden electrones corticales (estado inestable)
- Tienden a recuperar su estado esencial recobrando e- extraídos
- Se inicia así una serie de reacciones en cadena que conlleva un efecto biológico
- El efecto biológico se puede manifestar en forma de daño o lesión, y su gravedad va a depender de:
  - Nº células afectadas
  - Importancia en el órgano que haya sido irradiado

# Interacción de la radiación con la materia viva.

**Recordatorio:** para extraer un electrón de estas estructuras y provocar una ionización es necesario entregar una energía igual a su potencial de ionización.

El potencial de ionización del electrón más periférico corresponde al primer potencial de ionización y es aproximadamente de 10eV (13,6eV para el átomo de H)

# Fases de la interacción de la radiación con la materia

- **Fase Física:** se produce la ionización de los átomos (formación de pares iónicos)
- **Fase Química:** Se origina en el momento en el que se producen las reacciones moleculares en cadena, como consecuencia de la ionización.

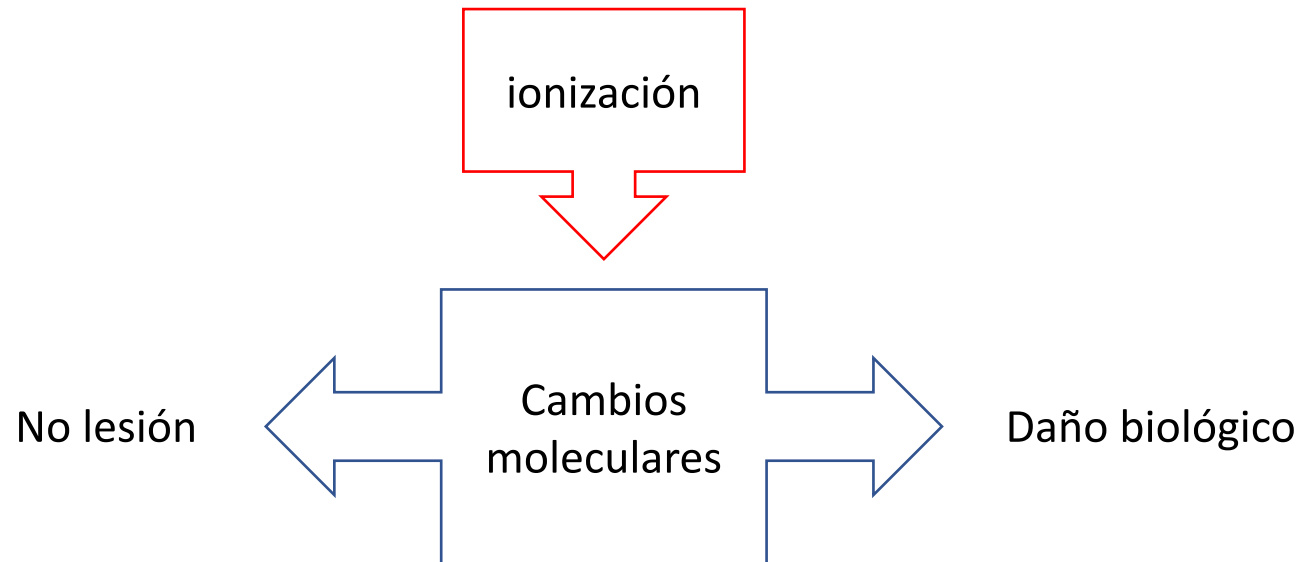
Dos tipos cambios  
moleculares



- Directos: ADN
- Indirectos: moléculas reactivas

# Fases de la interacción de la radiación con la materia

- **Fase Biológica:** Es la etapa que se produce como consecuencia de los cambios moleculares y se traduce o no en cambios biológicos de daño o lesión.



# Propiedades generales de la interacción de la radiación ionizante con la materia viva.



# Propiedades rad. ioniz-mat. viva

## ·Aleatoriedad:

Función de probabilidad de daño o no (efecto lotería).

Puede considerarse como efecto estocástico (azar)

Interacción o no

(puede tener consecuencias o no tenerlas)

No obstante, la probabilidad del daño, aumenta con la dosis.



# Propiedades rad. ioniz-mat. viva

## ·Instantaneidad:

Los efectos que se producen por la interacción son rapidísimos.

Rad. Electromag. Viaja a la velocidad de la luz en el vacío.

Absorción es fulminante:  $10^{-17}$  segundos



## ·No selectividad:

La facultad de la radiación sobre la NO discriminación con que interacciona.

No tiene la capacidad de escoger a una célula u órgano, ni ocasionarle un daño u otro.

# Propiedades rad. ioniz-mat. viva

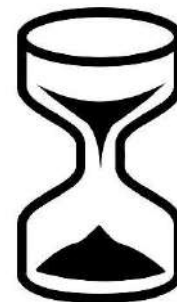
## ·Inespecificidad:

Las lesiones producidas por la radiación no son específicas.

## ·Poseer latencia:

Latencia es el periodo que transcurre entre la acción del agente causal y la aparición de los primeros síntomas.

Tiempo que tarda en aparecer algunos cambios biológicos, pasados minutos, horas, días, años...



# Propiedades rad. ioniz-mat. viva

## ·Umbrales:

Algunos efectos de la interacción radiación/materia solo aparecen si se alcanza o se supera un determinado valor de dosis.

A la cantidad de radiación-> Dosis umbral

Efectos que NO se ciñen a dosis umbral  Efectos probabilísticos o efectos estocásticos.

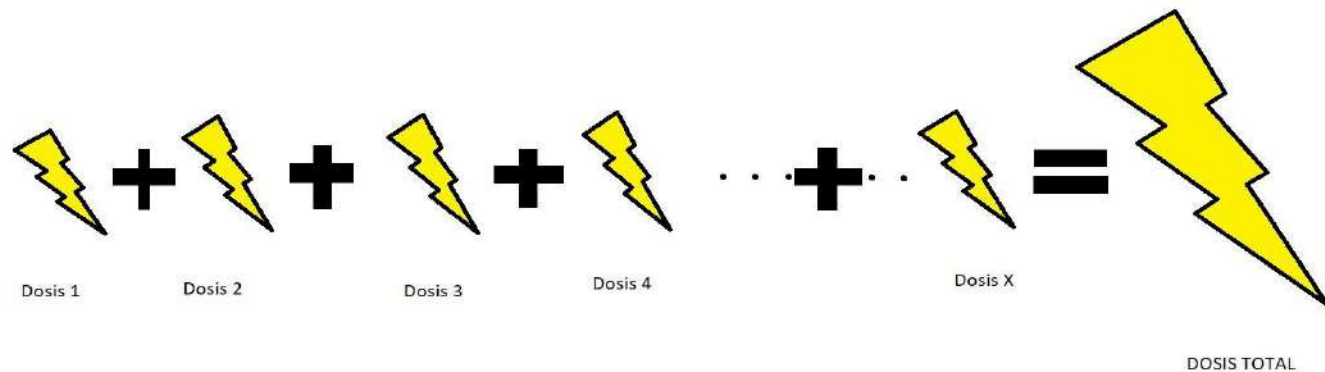


# Propiedades rad. ioniz-mat. viva

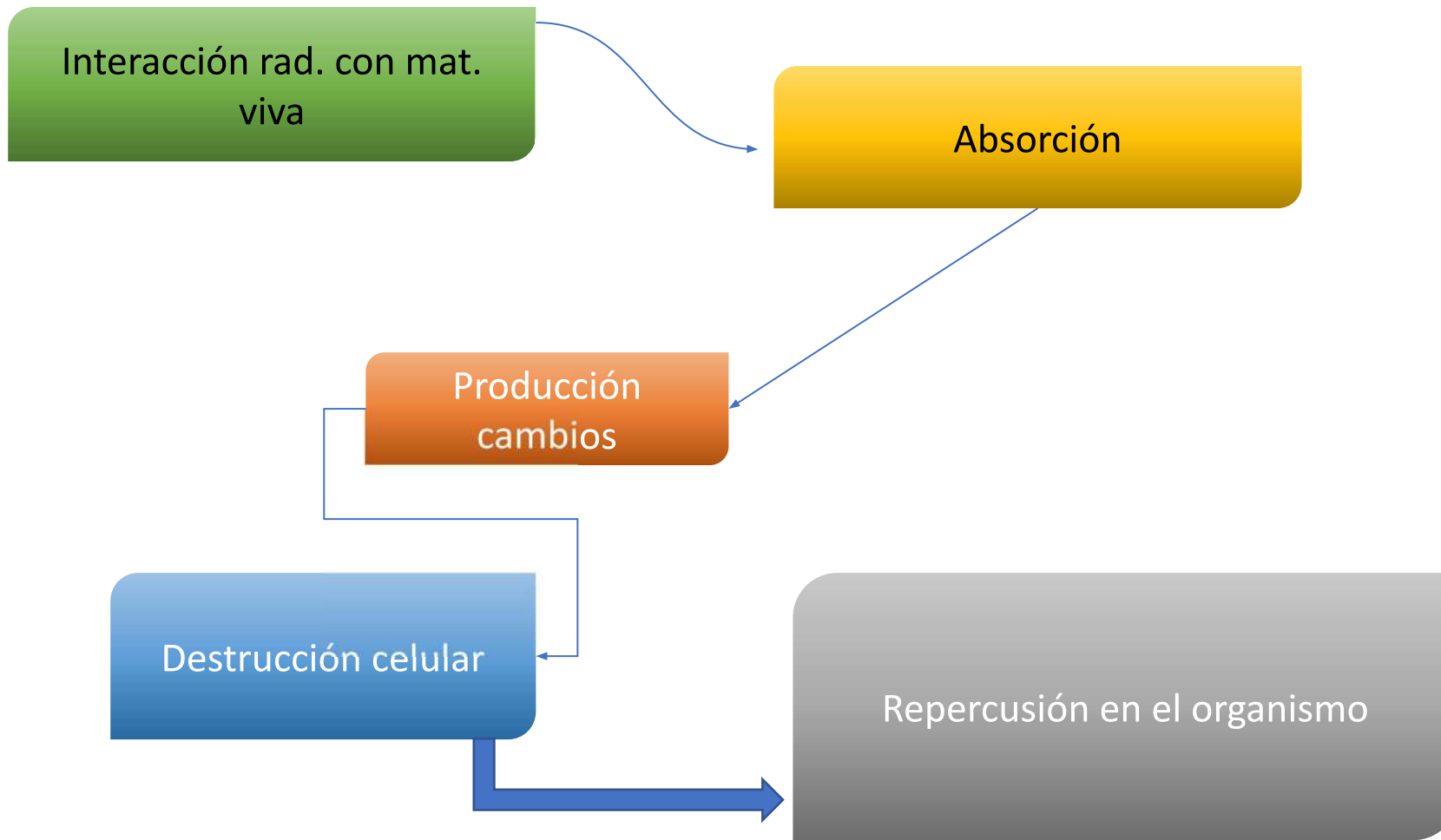
## ·Acción acumulativa:

La acción de una dosis se puede sumar a la acción de dosis anteriores, y ocasionar en el tiempo efectos acumulativos.

Depende del factor tiempo y de como las células del sujeto intentan reparar los daños o cambios biológicos.





La secuencia de una lesión por exposición a la radiación ionizante seguirá los siguientes pasos:




# Esquema etapas a nivel clínico:

 Radiación: se somete al individuo a una exposición a radiación

 Periodo de latencia: tiempo en el que no existen manifestaciones

 Periodo clínico: Ya si aparecen manifestaciones clínicas.

 Periodo de recuperación: El organismo genera respuesta.

# Consecuencias de la absorción de la radiación por la materia viva.

Estas van a depender de la dosis absorbida y de esa dosis depende a su vez:

- La gravedad de la lesión: A mayor dosis, mas intensas son las lesiones que aparecen (en efectos estocásticos solo aumenta la probabilidad de que estos se den)
- El tiempo de aparición de la lesión: días/años (dosis altas/dosis bajas)



# Consecuencias de la absorción de la radiación por la materia viva.

-Tiempo de respuesta orgánica: El organismo va a realizar esfuerzos para compensar los efectos de la radiación ha producido, que son fundamentalmente:

- Regeneración: hay poca alteración del parénquima, pero pueden aparecer trastornos funcionales

- Reparación: hay mucha alteración del parénquima y se repara con células del estroma, sin funcionalidad específica.

- Localizada: fibrosis local (cicatriz en órgano)

- Diseminada: producirá esclerosis (endurecimiento intersticial)

# EFFECTOS PRODUCIDOS POR LA RADIACION IONIZANTE EN LA MATERIA VIVA

# Clasificación de los efectos

Los efectos que se producen en la interacción rad/mat viva se pueden clasificar dependiendo del punto de vista desde el que se analicen, entre los cuales están y se desarrollaran:

- Desde el punto de vista del efecto lotería.
- Desde el punto de vista de célula afectada.
- Desde el punto de vista del tiempo de aparición.
- Desde el punto de vista del nivel estructural en el que se han producido los efectos.

# Clasificación de efectos desde la aleatoriedad

Se dividen clásicamente en dos tipos a saber:

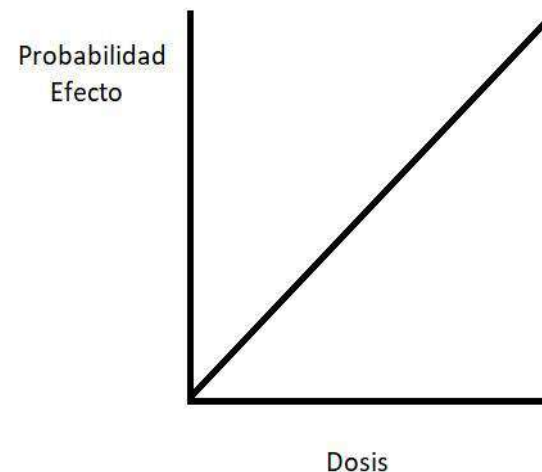
## -Efectos o cambios probabilísticos (estocásticos)

Características:

• La probabilidad depende de la dosis: amentando la dosis, aumentamos la probabilidad de que estos se den.

Tienen lugar tras exposiciones a dosis bajas.

La gravedad va a depender del tipo de célula afectada y el mecanismo de acción que interviene.



# Clasificación de efectos desde la aleatoriedad

Características efectos estocásticos:

- Carecen de dosis umbral: No tienen un valor concreto (OJO, controversia) incluso con dosis bajas puede existir probabilidad de modificación celular. Dosis bajas  $< 0,2\text{Gy}$ ; Tasas de dosis bajas  $< 0,1\text{mGy}/\text{min}$ .
- Efectos una vez producidos suelen ser más graves.
- Efectos cuyo periodo de latencia es largo. (suelen aparecer en años).
- Pueden considerarse somáticos o hereditarios: dependiendo del tipo de célula irradiada.

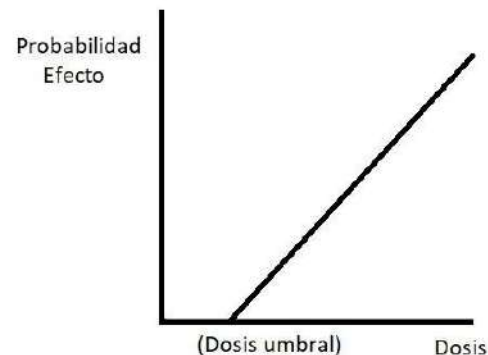
EJEMPLOS: carcinogénesis, alteraciones genéticas (+representativos) (acción directa sobre el ADN)

# Clasificación de efectos desde la aleatoriedad

## - Efecto o cambios deterministas (no estocásticos).

Características:

· Poseen dosis umbral: Obedecen a una relación causa-efecto, por lo tanto necesitamos cantidad determinada de radiación para producir efecto. Por debajo de esa dosis umbral, el número de células afectadas es insignificante para que se ponga de manifiesto efecto alguno.



# Clasificación de efectos desde la aleatoriedad

Características efectos deterministas:

- Gravedad depende de la dosis: El numero de células afectadas se relaciona con la dosis, la gravedad resulta proporcional a la dosis recibida.
- Periodo de latencia corto: Ocurren tras dosis altas, los efectos aparecen al poco (único efecto determinista con latencia larga: catarata radioinducida)
- Se manifiestan al producir muerte celular: Entendiendo por muerte, células que no proliferan, pierden función, muerte mitótica.....

# Clasificación de efectos desde la aleatoriedad

	Efectos estocásticos	Efectos deterministas
<b>Mecanismo</b>	Lesión subletal (pocas células)	Lesión letal (muchas células)
<b>Naturaleza</b>	Somática o hereditaria	Somática
<b>Gravedad</b>	Independiente de la dosis	Dependiente de la dosis
<b>Dosis umbral</b>	No	Si
<b>Relación dosis-efecto</b>	Lineal-cuadrática	Lineal
<b>Aparición</b>	Tardía	Inmediata o a corto plazo
<b>Mecanismo de acción</b>	Acción directa ADN	Acción indirecta
<b>Tipo de daño</b>	Graves	Leve a graves



# Clasificación de efectos desde la célula afectada

## Recordatorio:

En el cuerpo humano existen 2 tipos de células

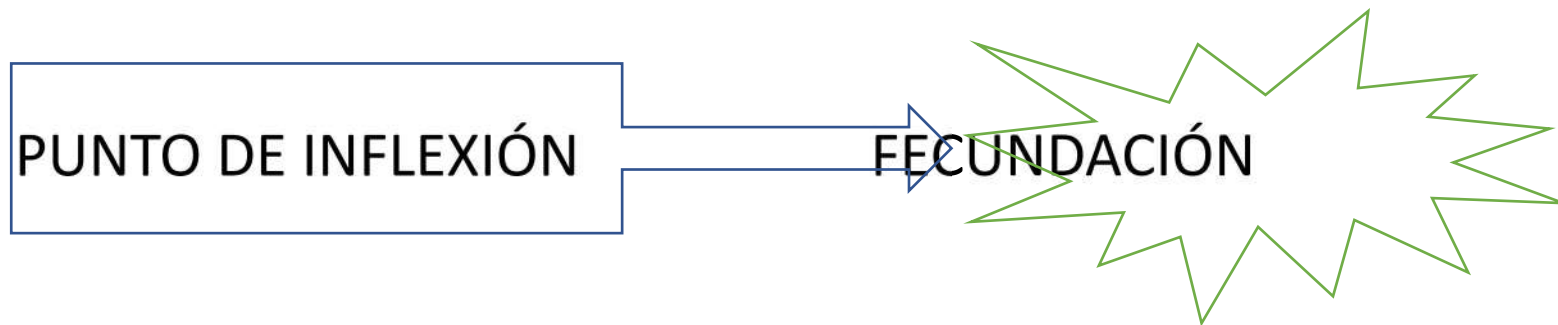
*Somáticas o diploides*: aquellas relacionadas con nuestra corporalidad, poseen el doble de cromosomas de la especie 46

*Genéticas o haploides*: aquellas intervienen en la herencia, tienen 23 cromosomas (meiosis)

# Clasificación de efectos desde la célula afectada

-Efectos somáticos: Afectan a células corporales o diploides. Cambios en el propio sujeto (en cualquier etapa de la vida) prenatal-neonatal, post natal.

-Efectos genéticos: Suceden cuando afectan a células sexuales o genéticas (óvulos y/o espermatozoides) y los cambios aparecen en la descendencia, generación tras generación por mutaciones ADN.

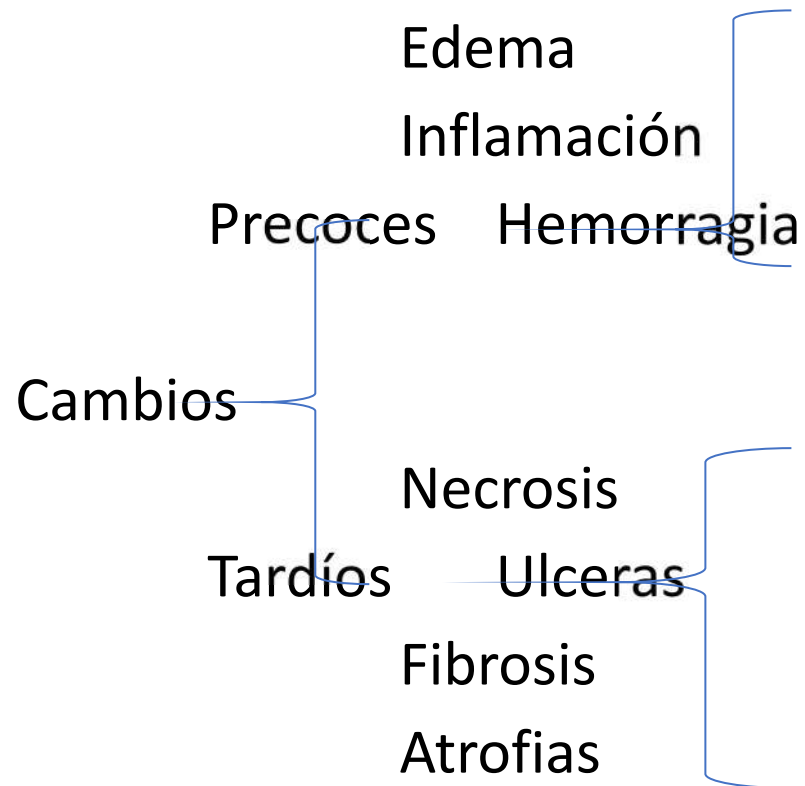


# Clasificación de efectos desde el tiempo de aparición

Según la patocronía o tiempo de aparición de las radiolesiones, los cambios se dividen en dos categorías:

- Cambios precoces o inmediatos: Su tiempo de latencia es mínimo, y suelen darse principalmente por efectos deterministas (su origen es la muerte celular)
- Cambios diferidos o efectos tardíos: existe periodo mas largo entre irradiación y el efecto (suelen ser + frecuentes en efectos estocásticos y su origen es la mutación)

# Clasificación de efectos desde el tiempo de aparición



# Clasificación de efectos desde el nivel estructural en el que se han producido los efectos.

- 1)Cambios químicos: (moleculares) con una acción directa o indirecta las moléculas de la célula.
- 2)Cambios celulares: Muy diversos (alteraciones de la membrana citoplasmática y de las mitocondrias)
- 3)Cambios tisulares: Dependen esencialmente de la radiosensibilidad de los tejidos, de su jerarquización, y están muy relacionados con el ciclo de las células.

# Clasificación efectos a nivel estructural

## 1) Cambios químicos o moleculares:

Efectos derivan del daño que la radiación produce en la estructura química de las células (ADN)

El ADN contiene toda la información necesaria para el control de funciones celulares y la información necesaria para transmitir a las células descendientes.

Directa (ADN/ARN/PROTEINAS)

La rad. Ioniz, efecta al ADN

Indirecta (molécula del agua)

# Clasificación efectos a nivel estructural (cambios químicos)

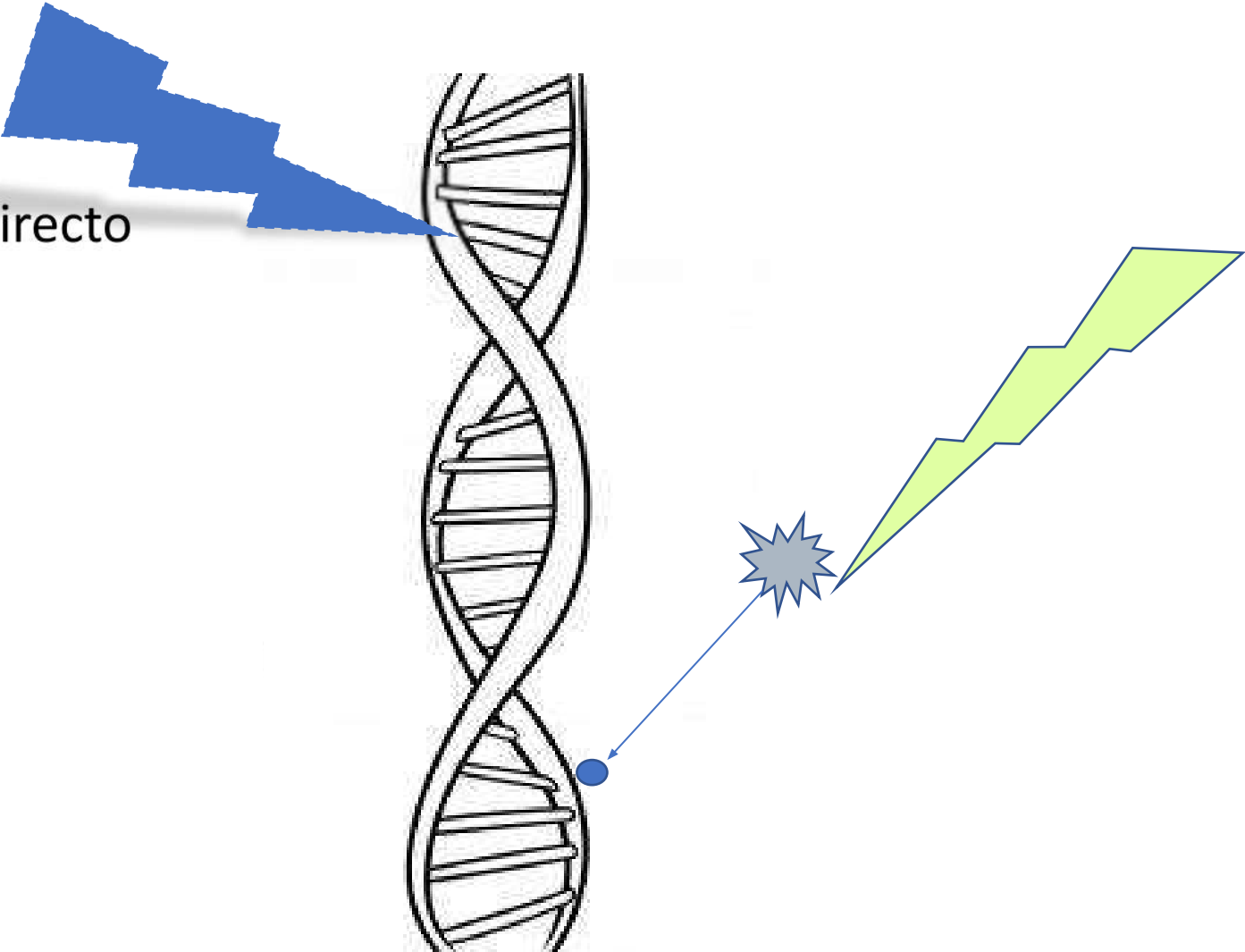
- Efectos directos: (35%)

Cuando las trayectorias de la radiación depositan directamente su energía sobre el ADN/ARN/proteínas.

- Efectos indirectos: (65%)

las trayectorias de la radiación depositan su energía en otras moléculas (principalmente moléculas de agua) generando radicales libres.

Daño directo





# Afectación de la radiación ionizante sobre el ADN

Las lesiones en el ADN pueden darse en forma de lesiones y/o roturas de las siguientes partes de esta molécula:

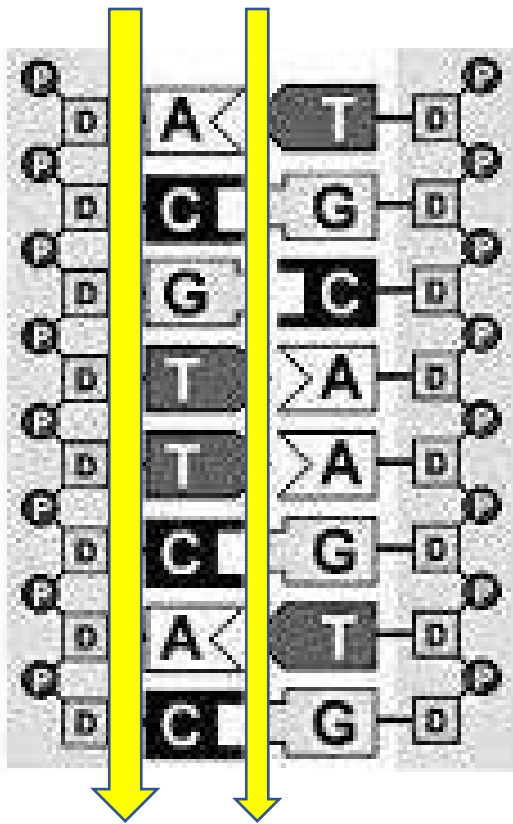
- Rotura de la estructura helicoidal (pudiendo producirse de dos maneras diferentes)

-*Verticales*: en peldaños, escalones o barandas, originándose a nivel de la unión de las bases púricas y pirimidinas (rompiéndose así los puentes de H) o a nivel de las bases con los azúcares (desoxirribosa)

-*Horizontales*: cuando se llevan a cabo a nivel del ácido ortofosfórico, y estas a su vez pueden ser:

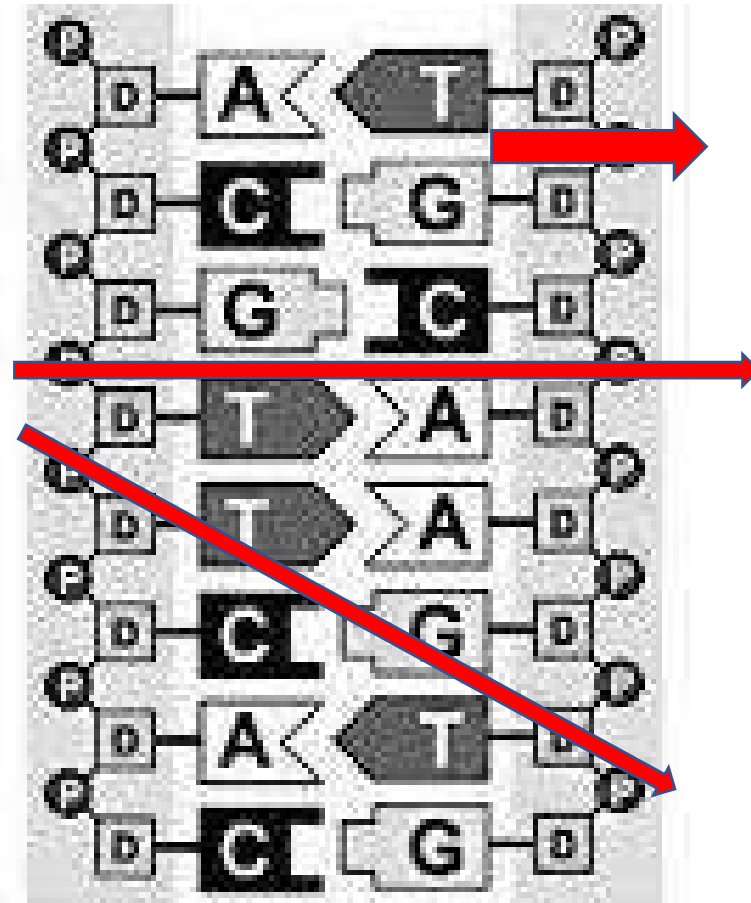
-**Simples**: Rotura horizontal incompleta (> nº de veces) Lesión subletal

-**Completas**: Rotura doble ( horizontal u oblicua) Lesión letal



Ejemplos de roturas verticales

Ejemplos de roturas horizontales



Tipo de daño	Frecuencia (Nº de defectos por Gy)
Roturas de cadena sencilla	1000
Daño en las bases	500
Entrecruzamientos ADN-proteína	150
Roturas de doble cadena	40

Tabla obtenida tema 5 curso operadores instalaciones radiactivas CSN

# Afectación de la radiación ionizante sobre el ADN

## ☐ Lesiones de los elementos estructurales

Cambio o pérdida de los elementos moleculares que constituyen el ácido nucleico

-Lesiones de las bases nitrogenadas

Timina, citosina, adenina y guanina

-Lesiones en los azúcares pentosas (desoxirribosa)

-Otras lesiones



# Afectación de la radiación ionizante sobre otras moléculas de importancia

## PROTEINAS:

Las radiolesiones mas importantes de forma directa y que no son sobre el ADN se producen sobre las proteínas, pudiendo ocasionar perdidas en sus estructuras y desorganizaciones estructurales.

En términos generales, las consecuencias procederán de alterar la funcionalidad de la célula.

Son de mayor trascendencia los efectos a nivel enzimático, provocará una perdida de su estereoespecificidad (incapacidad para realizar función)

# Afectación de la radiación ionizante sobre otras moléculas de importancia

OTRAS MOLECULAS:

Lesión en los lípidos: formación de peróxidos, afectación de permeabilidad

Lesión en los azúcares: destrucción o alteración de funcionalidad

# Afectación de la radiación sobre molécula de agua

Una gran parte de nuestra corporalidad la constituye la molécula del agua, por lo tanto es bastante probable que la radiación interaccione con esta produciendo lo que se conoce como la radiolisis del agua.

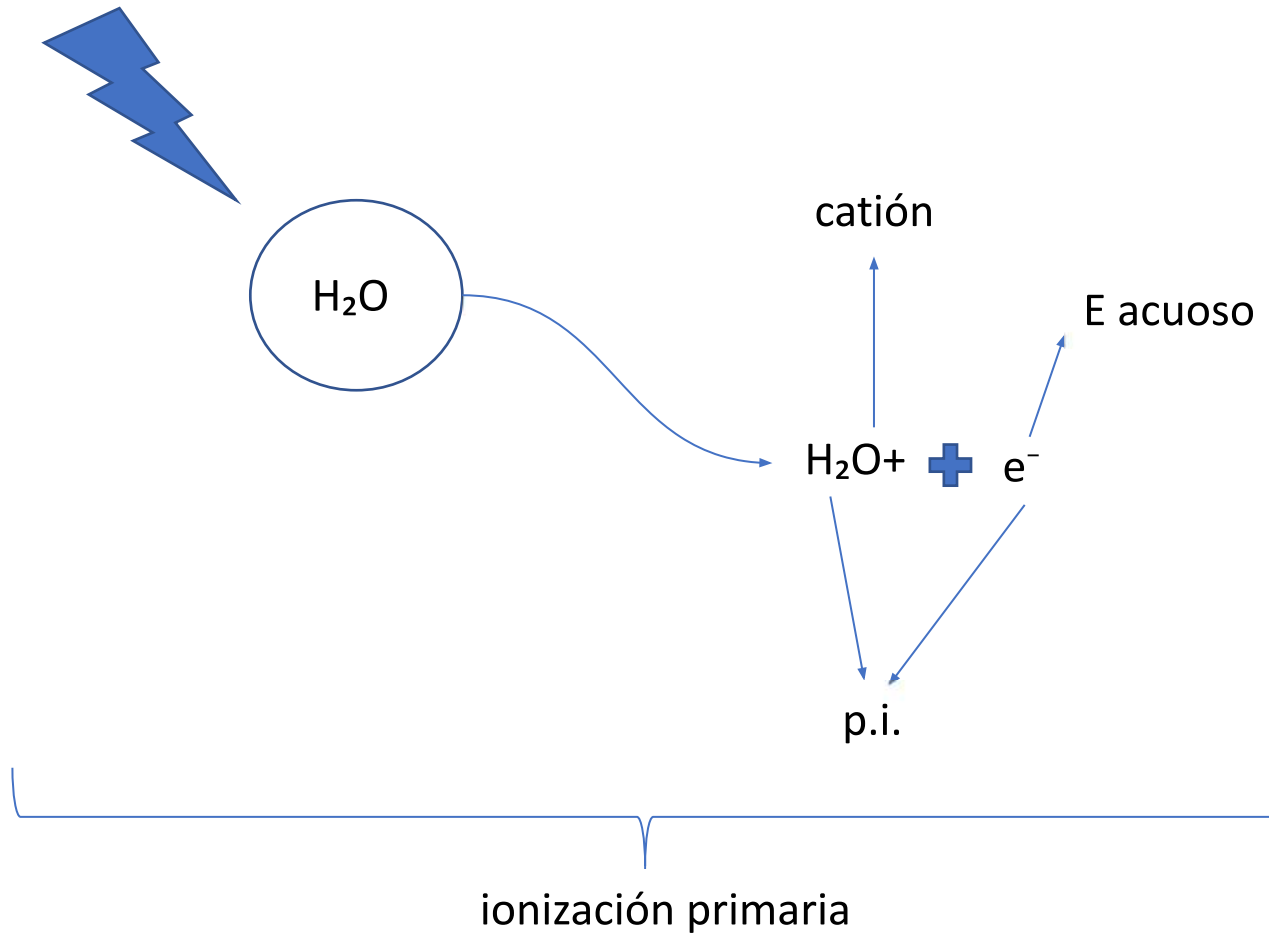


Este fenómeno de radiolisis del agua la vamos a descomponer en dos fases:

Ionización primaria

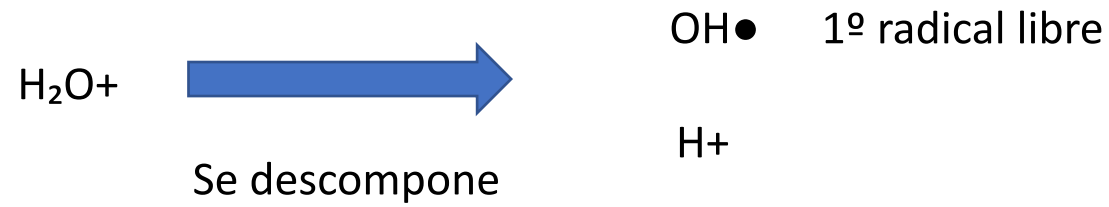
Ionización secundaria

# Radiolisis agua

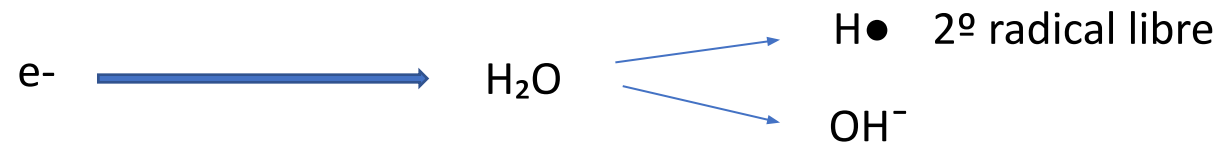




# Radiolisis agua



1ª reacción

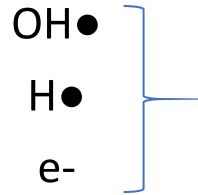


2ª reacción

Ionización  
secundaria

# Radiolisis agua

Radicales libres □



OH• es el mas agresivo,  
combinándose con O = H<sup>2</sup>O<sup>2</sup>

No todos los radicales libres actúan ocasionando daños



# Consecuencias de las lesiones en el ADN



# Clasificación de efectos desde el nivel estructural en el que se han producido los efectos.

- 1) ~~Cambios químicos: (moleculares) con una acción directa o indirecta las moléculas de la célula.~~
- 2) Cambios celulares: Muy diversos (alteraciones de la membrana citoplasmática y a nivel nuclear)
- 3) Cambios tisulares: Dependen esencialmente de la radiosensibilidad de los tejidos, de su jerarquización, y están muy relacionados con el ciclo de las células.

# Clasificación de efectos desde el nivel estructural en el que se han producido los efectos.

2) Efectos de la radiación a nivel celular.

-**Lesiones citoplasmáticas:** (fuera del núcleo)

Principalmente en dos orgánulos (cuya lesión es mas trascendente para la célula)

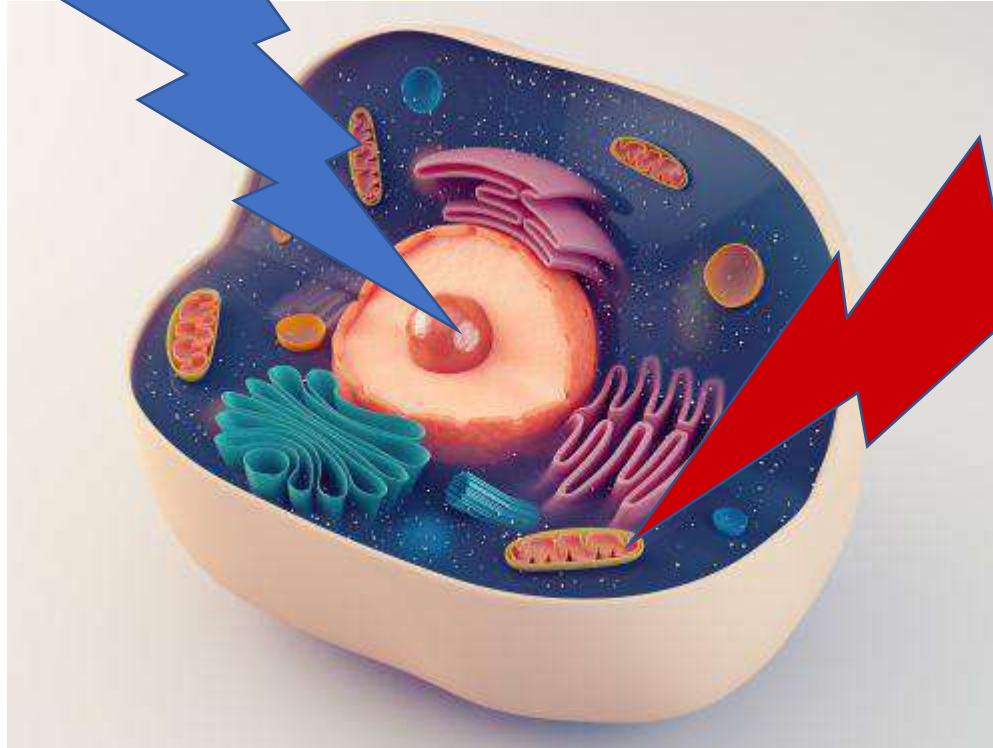
·Mitocondrias: Tumefacción y perdida de energía nuclear.  
(muerte celular inmediata)

·Lisosomas: Cambios estructurales que sacan al citoplasma enzimas hidrolíticas (muerte celular por autodigestión)

-**Lesiones nucleares:**

# Lesiones nucleares

## Lesiones citoplasmáticas



# Clasificación de efectos desde el nivel estructural en el que se han producido los efectos.

-**Lesiones nucleares:** (tipos)

·Adherencias: cuando los cromosomas se quedan pegados entre si.

·Retracción de cromosomas: encogidos y se deforman.

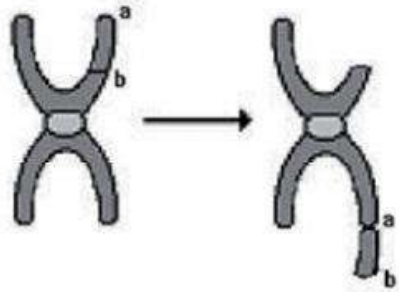
·Fragmentación de cromosomas: cuando un trozo de cromosoma se rompe y se despega (pudiendo ocasionar los siguientes fenómenos)

-*Delección*: pérdida de 1 fragmento/trozo

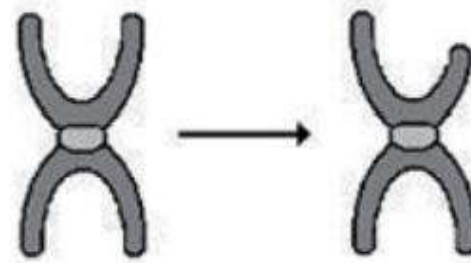
-*Inversión*: fragmento se coloca al revés

-*Traslocación*: un fragmento se coloca en otro lugar

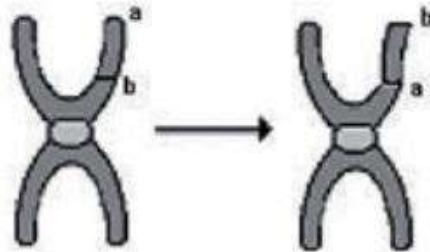
·Poliploidía: como consecuencia de la radiación la célula no ha conseguido dividirse, tiene nº mayor de cromosomas (células gigante)



*Representación de una traslocación cromosómica*



*Representación de una deleción cromosómica*



*Representación de una inversión cromosómica*

Imágenes obtenidas del libro: Radiobiología para profesionales sanitarios: radiosensibilidad Vs radioresistencia. Ed MAD



# Clasificación de efectos desde el nivel estructural en el que se han producido los efectos.

- ~~·1) Cambios químicos: (moleculares) con una acción directa o indirecta las moléculas de la célula.~~
- ~~·2) Cambios celulares: Muy diversos (alteraciones de la membrana citoplasmática y a nivel nuclear)~~
- 3) Cambios tisulares: Dependen esencialmente de la radiosensibilidad de los tejidos, de su jerarquización, y están muy relacionados con el ciclo de las células.

# Clasificación de efectos desde el nivel tisular

3) Efectos de la radiación a nivel tisular.

**RADIOSENSIBILIDAD**: sensibilidad que tiene una célula, grupo de células, tejido...etc a la radiación.

Esta sensibilidad vendrá dada por: cantidad y calidad de las lesiones en poblaciones celulares con igual cantidad y calidad de radiación. (nivel mínimo de radiación capaz de producir efectos estocásticos)

Radiosensibilidad de los tejidos  organización jerárquica

Tejidos con radiosensibilidad alta	Medula ósea, tejido linfoide, tejido germinal y epitelio intestinal
Tejidos con radiosensibilidad media- alta	Tejido epidérmico piloso, epitelio vesical, epitelio fríngeo-esofágico, cristalino
Tejidos con radiosensibilidad media	Tejido vascular (vasos finos), tejido cartilaginoso de conjunción, nervios
Tejidos con radiosensibilidad media-baja	Tejido cartilaginoso en adulto, tejido vascular (vasos gruesos) Tejido tiroideo, hepático, pancreático
Tejidos con radiosensibilidad baja	Muscular y neuronal.

# Efectos en órganos, tejidos y dosis.

Organización de los tejidos:

**-Tejidos compartimentalizados o jerárquicos:**

3 tipos de células.

1º Células madre capaces dividirse (duplicarse o producir células de grado intermedio)

2º Células con grado intermedio de especialización

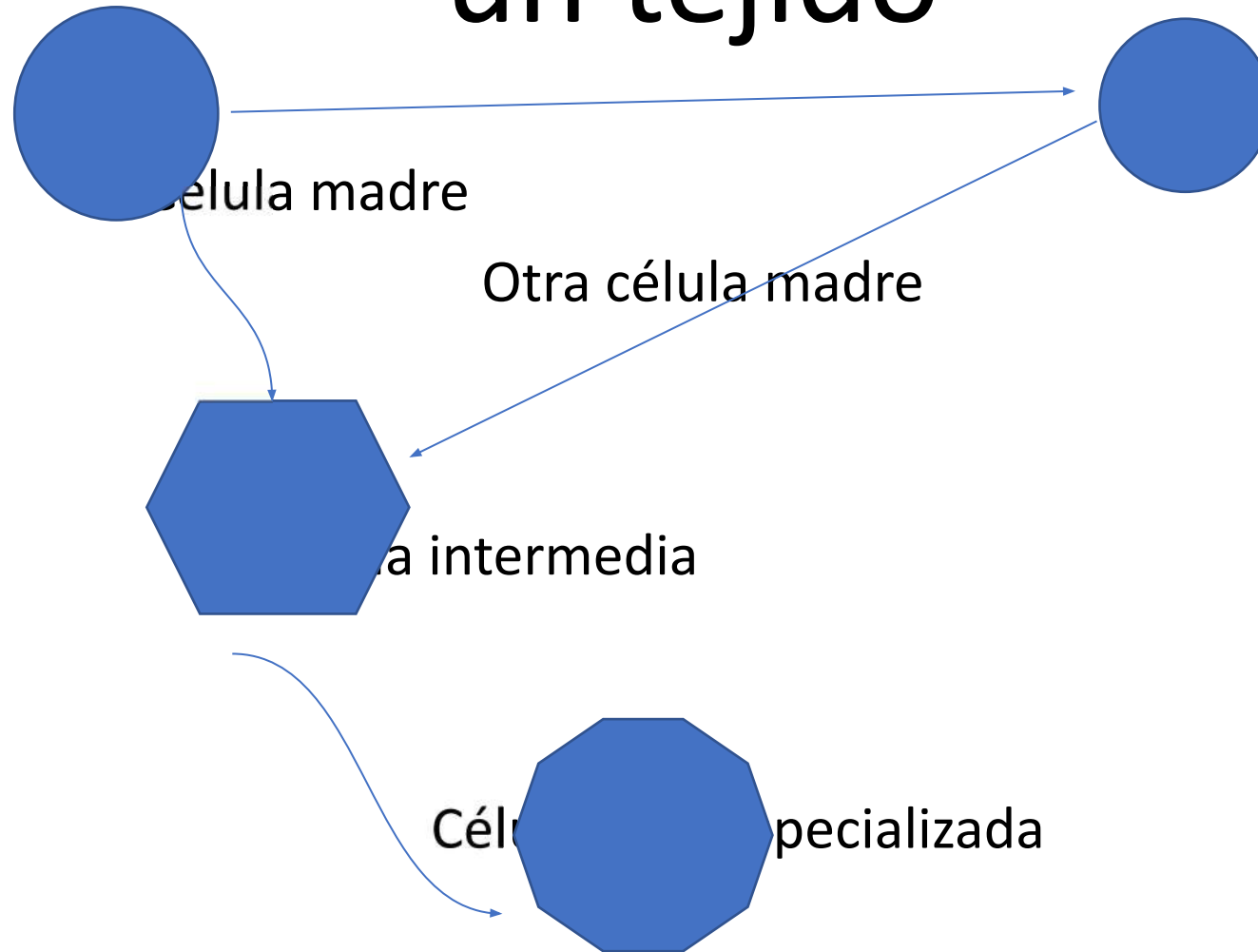
3º Células muy especializadas (no tendrán actividad proliferativa) (muerte por senescencia)

Este tipo de tejido tiene > sensibilidad a la radiación.

Se relacionan con los efectos precoces de la radiación.

Ej: Mucosas, epidermis, tejido hematopoyético...etc

# Organización jerárquica de un tejido



# Efectos en órganos, tejidos y dosis.

Organización de los tejidos:

**-Tejidos no jerárquicos o de organización flexible:**

No poseen una jerarquía celular tan estricta.

Tejidos de renovación celular lenta (células funcionales o proliferativas)

Menos sensibles a la radiación.

Se relacionan con los efectos tardíos de la radiación.

Ej: Hígado, riñón, sistema nervioso central...

# Organización tisular en serie o paralelo

Funcionalmente los tejidos se dividen en serie y en paralelo.

Las consecuencias tras irradiación van a ser diferentes.

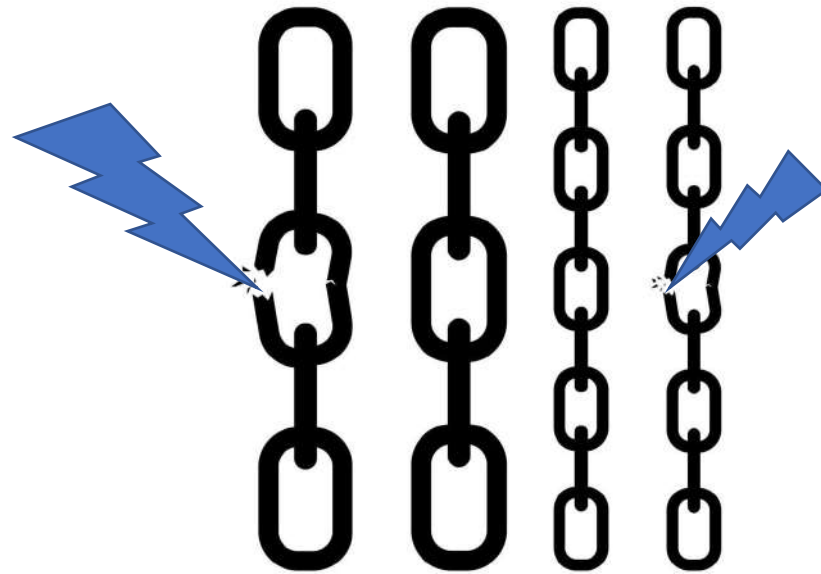
## Paralelo:

Unidades funcionales yuxtapuestas (cada unidad funcional es independiente)

Daño causado proporcional al volumen irradiado.

Unidades funcionales mas radiosensibles cuanto menor es su tamaño.

# Organización paralelo





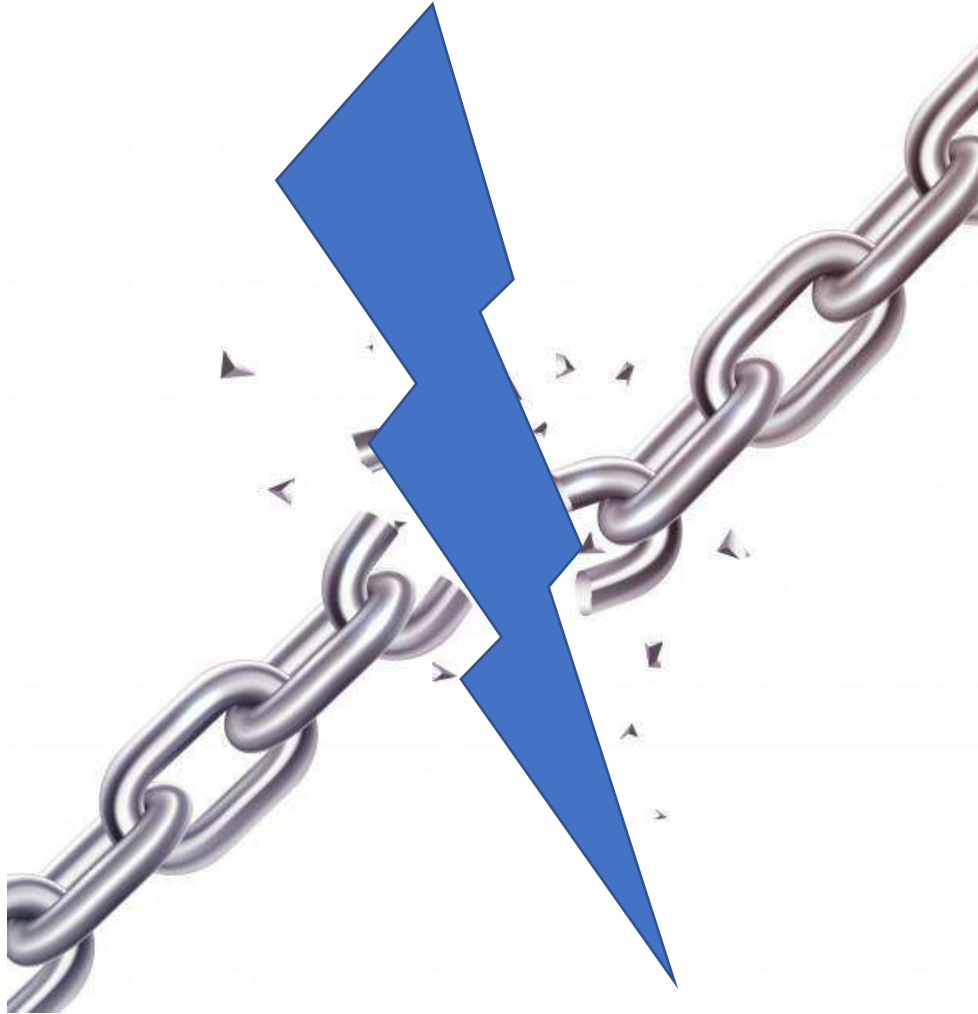
# Organización tisular en serie o paralelo

## -Serie:

Inversamente tejidos compuestos por series de unidades tisulares cuya función depende de unidades funcionales adyacentes (sistema nervioso central, medula espinal, intestino delgado)

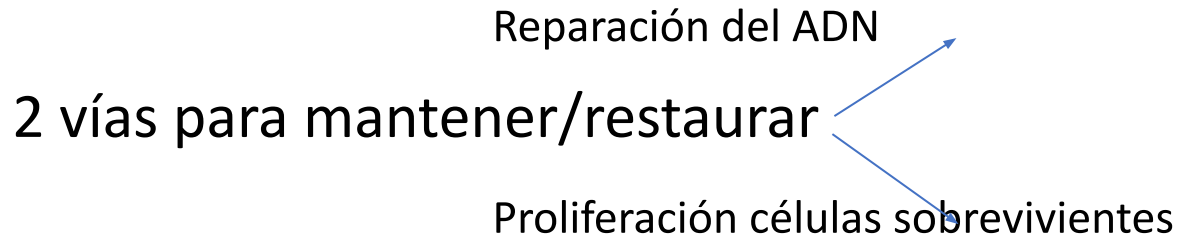
Una radiación con altas dosis puede interrumpir la función del órgano

# Organización en serie



# Efectos agudos sobre tejidos irradiados

Las reacciones mas tempranas aparecen en tejidos de renovación rápida y organizados de modo jerárquico. Piel (epitelitis), mucosas (mucositis), o la medula ósea.



# Particularidades de ciertos órganos y tejidos con respuesta aguda

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## ·Epidermis:

Piel constituida por epidermis (agudas y tardías) y dermis (tardías)

Usando Mv la dosis máxima debajo de la piel, protegiendo (relativamente)

Fraccionamiento: a partir 2º 3º semana se observa eritema

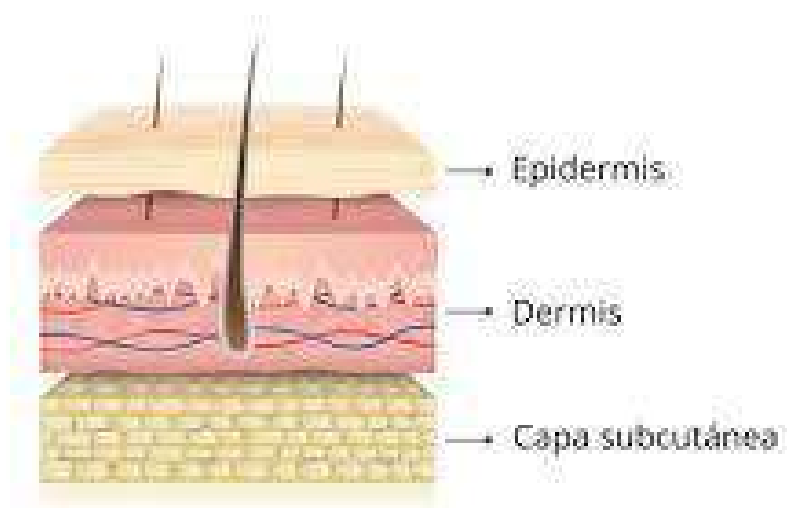
Piel enrojecida, caliente, discretamente atrofiada, a veces edematosa, asociada a infiltrado inflamatorio.

Pueden progresar a una descamación seca o exudativa.

La cicatrización se produce por una repitelización a partir de células supervivientes de la capa basal.

En la dermis son los fibroblastos y el endotelio los que representan las células más críticas.

Las lesiones tempranas dependen dosis/sesión y muy influenciadas por el fraccionamiento.



# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## ·Mucosas:

Membranas de origen epitelial, revisten interior de aparatos y/o sistemas con cavidades huecas (aparato digestivo, aparato urogenital...)

Las mucosas poseen mas cercano a la luz de la cavidad el epitelio mucoso.

Las lesiones son parecidas a las desarrolladas en la piel.

Dependiendo tipo mucosa, mayor o menor rapidez de renovación celular (todas ellas altamente radiosensibles)

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## ·Medula hematopoyética:

Contiene células madre pluripotentes (N.º pequeño capaces de reponer células aun con dosis letal)

Características esenciales:

- Capacidad de reproducción casi ilimitada

- Pluripotencialidad (distintas series precursoras)

Estado basal en reposo, 7 días en el transito de célula madre a célula especializada. (rápida aparición de aplasia medular)

La toxicidad hepatológica constituye uno de los principales factores limitantes en radioterapia.

Zonas hematopoyéticas en el adulto: vertebras, pelvis, esternón, cráneo y homoplato.

En el recién nacido, estas zonas están muy extendidas, en el anciano pelvis y lumbares.



# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## ·Órganos de la visión:

Las lesiones más importantes se producen en el cristalino.

Está constituido por un epitelio organización jerarquizada. (Muy radiosensible)

A dosis bajas (2Gy para provocar desnaturalización de las proteínas) y en largo tiempo se pueden producir opacidades sobre el cristalino por efecto cicatricial -> Catarata radioinducida

Se debe a lesión en la zona germinal del epitelio del cristalino. El largo intervalo entre radiación y aparición es por la lentitud de renovación celular.

Por eso es el único efecto determinista con carácter tardío.

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## *·Aparato respiratorio:*

Relativamente radioresistente (mas sensible el árbol bronquial que los pulmones)

Las unidades funcionales del pulmón, los bronquiolos y el parénquima pulmonar están organizados en paralelo (gravedad de daños relacionada con volumen irradiado)

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## ·Aparato urinario:

En general radioresistente. (solo lesiones a grandes dosis)

-Riñón presenta similitudes con pulmón e hígado en cuanto a radiosensibilidad.

Expresión de las lesiones tardías, y organización de unidades funcionales pequeñas y en paralelo explican su radiosensibilidad.

Por otra parte la gravedad de las lesiones y el volumen irradiado.

La gravedad de las lesiones y el volumen irradiado.

La dosis de tolerancia es aproximadamente de 18 a 20Gy (normofraccionado) (dosis de 20Gy en ambos riñones puede inducir a nefropatía con hipertensión arterial y anemia) (Irradiación de un solo riñón, o parte de este es mucho mejor tolerada que una irradiación bilateral)

-Vejiga: aparición de efectos agudos debidos a alteración de la mucosa (retracción de esta, disminución capacidad de retención, infecciones urinarias...)

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## ·Aparato cardiovascular:

En general podría decirse que es radioresistente.

Alteraciones variables (patología pericárdica, miocárdica, coronarias y alteraciones en la conducción)

Expresión clínica mas común: PERICARDITIS

Gravedad en función del volumen irradiado (20Gy corazón, 45Gy zona localizada)

-Vasos sanguíneos: relativamente radiosensibles.

Efecto de vasodilatación (trombosis, hemorragias)

Vasos menor calibre > sensibles

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## *·Aparato digestivo:*

Diferenciación dos zonas anatómicas del tubo digestivo con respecto a la radiosensibilidad:

-Longitudinalmente: zona + sensible: intestino delgado (células madre en mucosas)

-Trasversalmente: La zona mas sensible es la mucosa (visto) y debido a ello se produce disminución del grosor por atrofia de vellosidades intestinales.

Dadas las diversas partes del tubo digestivo, hay que destacar:

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## Aparato digestivo:

-Boca:

- Glándulas salivales: Efecto: atrofia->sequedad bucal y trastornos alimentación. (Xerostomía) Gravedad y duración dependiente de dosis total y volumen de órgano afectado.
- Lengua: Depapilación ->perdida sentido del gusto.
- Dientes: Radioresistentes (primarios o de “leche” + sensibles)

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## *·Aparato digestivo:*

-Estomago: Efecto: atrofia de la mucosa (3,5Gy) disminución de jugo gástrico.

-Intestino: Especialmente el delgado + rediosensible.

destrucción de vellosidades intestinales creando síndrome de mala absorción (disminución asimilación nutrientes)

diarreas, melenas, y adelgazamiento del individuo.

(hematemesis y rectorragias)

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## ·Hígado:

Tejido de renovación lenta (vida media hepatocitos 1 año)

Como el pulmón, unidades funcionales en paralelo (gravedad y complicaciones tras irradiación proporcionales al volumen irradiado)

En seres humanos, una irradiación hepática total con 35Gy y fraccionamiento clásico, puede llevar a una hepatitis mortal.

Es importante considerar la función hepática en el momento de la irradiación (P.e. cirrosis, constituye factor de perturbación de la respuesta)



# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## -Huesos y cartílagos:

Los cartílagos de crecimiento son especialmente sensibles a la radiación (infante 10Gy alteración del desarrollo)

Condroblastos se multiplican muy activamente (mas sensibles)

Afecta al crecimiento longitudinal de los huesos, además la maduración ósea está afectada por las lesiones microvasculares radioinducidas.

Detección irreversible del crecimiento 20Gy (solo en etapa de desarrollo, pre púber)

En adulto se toleran dosis mayores, riesgo de osteoradionecrosis del 5% para dosis de 60Gy.

No higiene bucodental agrava consecuencias tras irradiación de maxilar inferior (revisión previa a tto con RT)

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## -Tiroides:

Gran sensibilidad a bajas dosis (pudiendo llegar a hipotiroidismo y carcinogénesis) sobre todo en edad temprana.

Normalmente tiene baja proporción de células que se dividen (excepto tras tiroidectomía parcial)

En adultos la tolerancia inmediata es mayor tras tto (I-131 o RT externa) incluso a dosis elevadas.

Una atrofia, asociada generalmente a un hipofuncionamiento hormonal, puede aparecer tras 10 o 20 años.

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## -SNC:

Complicaciones neurológicas post irradiación involucran al sistema nervioso central y al periférico.

Tejido nervioso altamente diferenciado y constituido por neuronas que no se dividen.

Otros tipos de células más radiosensibles, como las gliales (oligodendrocitos y astrocitos)

La irradiación del SNC causa complicaciones tardías (4 años post irradiación)

Desmielinización transitoria puede aparecer en los 6 primeros meses, radionecrosis más tardíamente.

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## -SNC:

El compromiso de la microvascularización asociada a modificación de permeabilidad vascular y edema, precede y acompaña al desarrollo de necrosis (complicación + observada)

Complicaciones clínicas poco específicas y difíciles de caracterizar (modificaciones de personalidad, memoria, inteligencia... por alteración de la sustancia blanca)

## -Medula espinal:

Manifestación clínica: parálisis (probabilidad < 5% tras 50Gy en 5 semanas y longitud de 10cm) (55Gy en 5cm)

Autores defienden que las complicaciones neurológicas y tolerancia de la medula son función de la longitud de medula irradiada (también dependen de factores como fraccionamiento, > riesgo cuando el fraccionamiento aumenta)

(Kjellberg, Hopewell y col.)

La estimación clínica indica que una irradiación de 45Gy en 25 fracciones y en 4,5 semanas, permite evitar, en ausencia de otros ttos asociados, el riesgo de mielopatía tardía. A > dosis el riesgo aumenta sensiblemente.

Tejidos	Dosis tolerancia(Gy)			Efecto tardío
	Volumen órgano irradiado			
	1/3	2/3	3/3	
Cerebro	60	50	45	Necrosis
Nervio óptico	55	50	50	Ceguera
Quiasma	55	50	50	Ceguera bilateral
Cristalino	10	10	10	Catarata
Retina	45	45	45	Ceguera

Irradiación de la cabeza y el cuello en seres humanos: dosis de tolerancia de ciertos tejidos sanos en función del volumen o de la superficie irradiada (5x2Gy/semana, dosis total correspondiente a un riesgo estimado del 5% a los 5 años)

Datos obtenidos del libro: radiobiología, radioterapia y radioprotección, bases fundamentales. Maurice Tubiana et col.

Superficie proximal: irradiación de una parte superficial de la medula o del tronco cerebral

Superficie opuesta: irradiación transversal del conjunto del volumen de la médula o del tronco cerebral

Centro: irradiación que alcanza el centro de la medula o del tronco cerebral

	Superficie proximal	Centro	Superficie opuesta	
Tronco cerebral	64	53	48	Necrosis
Medula espinal				
< 5cm largo	64	53	48	Mielitis, necrosis
> 5cm largo	60	50	45	Mielitis, necrosis

Datos obtenidos del libro: radiobiología, radioterapia y radioprotección, bases fundamentales. Maurice Tubiana et col.

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## -Testículos:

Son los órganos más sensibles a la radiación del aparato genital masculino.

Compuesto por 3 estirpes celulares:

- Serie germinal: células madre (espermatogonias)
- Células intermedias (espermatocitos)
- Células especializadas (espermatozoides)

La espermatogénesis se inicia en la pubertad del varón, y su resultado son los espermatozoides (renovados de forma continua, implicando una alta actividad mitótica)

Existen más tipos celulares dentro de los testículos, células de sostén e intersticiales (menos importantes radiobiología)

# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## -Testículos:

Tras irradiación tto RT:

- Se mantiene fertilidad un tiempo largo (espermatocitos y espermátidas relativamente radioresistentes) continúan maduración
- Aparece infertilidad (temporal (2Gy) o permanente(5Gy))
- No existe alteración de los caracteres sexuales secundarios (en el adulto)
- Pueden aparecer mutaciones y alteraciones cromosómicas.



# Particularidades de ciertos tejidos con respuesta aguda (efectos deterministas)

## -Ovarios:

Una irradiación del ovario altera la producción de gametas y tiene consecuencias hormonales.

En general mas radioresistentes que testículos (menos mitóticos extrauterinamente)

Producción de hormonas se hace en las células de la granulosa y de la teca que rodean al ovulo dentro del folículo tras ser expulsado por el ovario (ovulación) que son mas radiosensibles (riesgo de perdida de caracteres sexuales secundarios)

Esterilidad temporal en la mujer a partir de los 2,5Gy y dos años.

Permanente a partir de los 6,5Gy

# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

Generalidades:

Meses y años posteriores a radiación, los efectos tardíos se observan en todo tipo de tejidos, no obstante, tejidos de baja tasa de renovación celular son mas marcados.

Aparición de las lesiones es en función de la dosis.

>Dosis < N<sup>o</sup> de mitosis

Otras intentan ocupar su lugar, pero son células funcionales (solo van a copiarse) en un efecto cascada, y al hacerlo mueren durante esos intentos de mitosis.

Rango de dosis sistema blanco	Efecto	Probabilidad de aparición efecto (Gy) 5%	Probabilidad de aparición efecto (Gy) 50%
2-10Gy Espermatogonia Linfocitos Ovocitos	Esterilidad Linfopenia Esterilidad	1 2 6	2 10 10
10-20 Gy Epitelio de la cornea	Catarata	6	12
20-30Gy Riñón (glomérulo) Pulmón	Nefroesclerosis Neumopatía, fibrosis	23 20	28 30
30-40Gy Hígado	Hepatopatía	35	40
40-50Gy Corazón en conjunto Intestino	Pericarditis, pancarditis necrosis	43 50	50 55
50-60Gy Medula espinal Encéfalo	Mielopatía Encefalopatía	50 50	60 60
60-70Gy Mucosa (oral) Vejiga Recto Hueso adulto	Ulceración Ulceración Ulceración Fractura	65 65 65 65	75 75 75 70

Tabla obtenida del libro: Radiobiología, radioterapia y radioprotección, bases fundamentales. Maurice Tubiana et col. Hermann Editions 2012

# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

## -Carcinogénesis:

Es la probabilidad de contraer cáncer como efecto tardío (Estocástico) al producir mutaciones/aberraciones no letales que promocionan a células neoplásicas.

+ susceptible cuanto + joven.


Periodo de latencia variable (5 años tumores no solidos) (20-40 para tumores solidos)

Se han desarrollado diversos modelos generales para describir procesos carcinogénicos, el mas aceptado es el MULTIETAPA

# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

Este modelo predice que un cáncer aparece como consecuencia de una serie de sucesos que pueden ser independientes, pero frecuentemente están ligados, incluso mediados por el mismo agente (P.e. Rad, ioniz)

Este modelo considera que hay 4 etapas:

- 
- Iniciación: inducción de cambios en 1 o + genes control división
  - Conversión: Mayor desarrollo maligno (+mutaciones genéticas)
  - Promoción: Exposición prolongada/repetida al agente promotor
  - Progresión: Etapa compleja y multifacética

Los tumores radioinducidos < 5% total de tumores.

# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

Entre las neoplasias radioinducidas mas frecuentes:

## ·Leucemias:

Supervivientes de bomba atómica/accidentes nucleares son los grupos que se estudian, manifestando una frecuencia de leucemias 3-5veces +

Pacientes tratados con RT, mostraron aumento de leucemias 12 veces +

Por lo tanto, las leucemias son los canceres radioinducidos de mayor frecuencia, con latencia muy corta (5-10 años)

Consideradas la patología estocástica mas frecuente, concretamente las agudas y las leucemias crónicas radioinducidas (nuca leucemias linfoides crónicas)

# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

Entre las neoplasias radioinducidas mas frecuentes:

## ·Cáncer de piel:

Frecuente en radiólogos y otros profesionales sanitarios expuestos, con latencia de 15 a 30 años, principalmente manos.

Carcinoma espinocelular\*

Dosis acumulativas de unos 15 Sv o +

Controversia: no se considera patología estocástica sino determinista tardía.

# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

Entre las neoplasias radioinducidas mas frecuentes:

## ·Osteosarcomas:

Población profesional mas expuesta: relojeros (pintaban con material radiactivo esferas con pinceles que luego sujetaban con la boca) estimaban una dosis en maxilar superior a 8Gy.

## ·Cáncer tiroides:

Existe relación entre accidente Chernobyl y aumento de canceres tiroideos en niños de zonas cercanas a la central.

También se han observado casos de estas neoplasias en inadecuados ttos de patologías de tiroides mediante RT.



# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

Entre las neoplasias radioinducidas mas frecuentes:

·**Cáncer de pulmón:**

Frecuentes por la incorporación de nucleidos emisores alfa a nivel profesional fundamentalmente.

·**Hemangiosarcoma hepático:**

Se asocia a la incorporación de compuestos de la familia radiactiva del torio por actividad profesional u ocupacional.

·**Cánceres del sistema reticuloendotelial:**

Neoplasias de hígado, bazo y de ganglios linfáticos, están asociadas a incorporaciones de radionucleidos de ahí que deba prevenirse este riesgo aleatorios, especialmente en medicina nuclear y radiofarmacia.

# Efectos tardíos (neoplasias y otras respuestas)

Entre las neoplasias radioinducidas mas frecuentes:

·**Cáncer de mama:**

Existen estudios donde un empleo excesivo de la radiología con fines de diagnostico medico (enferm@s tuberculosos), ha inducido la aparición de este tipo de tumores

·**Otros canceres:**

Por ejemplo de glándulas salivales, de origen neurológico etc.

Son otros procesos tumorales cuya aparición parece aumentar significativamente por exposiciones a radiaciones ionizantes.

# Efectos tardíos (~~neoplasias~~ y otras respuestas)

## ·Acortamiento inespecífico de la vida:

Disminución de la esperanza de vida como efecto tardío de la radiación ionizante.

Experimentado en animales de laboratorio (2 grupos: expuestos y no expuestos y analizando las necropsias, observando aceleramiento del envejecimiento)

En exposiciones profesionales: en radiólogos

# Efectos tardíos (~~neoplasias~~ y otras respuestas)

## ·Fibrosis:

Efectos tardíos tales como telangiectasias, atrofas, necrosis, ligados a daños en vascularización y al de tejidos submucosos.

El proceso es similar al de cicatrización.

Se diferencian 3 fases:

Fase inflamatoria

Fase secuelas programadas (aparición tejido fibroso)

Fase tardía: tejido pobre en fibroblastos

# Efectos tardíos (~~neoplasias~~ y otras respuestas)

## ·Cataratas radioinducidas:

Único efecto determinista con carácter tardío por opacificaciones en el cristalino (efecto cicatricial)

Primeros casos en los años 40.

La ICRP establece diferencias entre opacidades detectables y cataratas, ya que existen diferentes umbrales de dosis, en función de las exposiciones:

- Exposiciones únicas a altas dosis.
- Exposiciones fraccionadas en un determinado momento de la vida, a dosis menores.
- Exposiciones fraccionadas reiterativas en muchos años, a dosis pequeñas.

Tipos de exposiciones	Dosis umbrales
Exposición única	De 0,5 a 2 Sv
Exposiciones fraccionadas delimitadas	5 Sv (sumativa)
Exposiciones fraccionadas reiterativas	>0,1 Sv/año

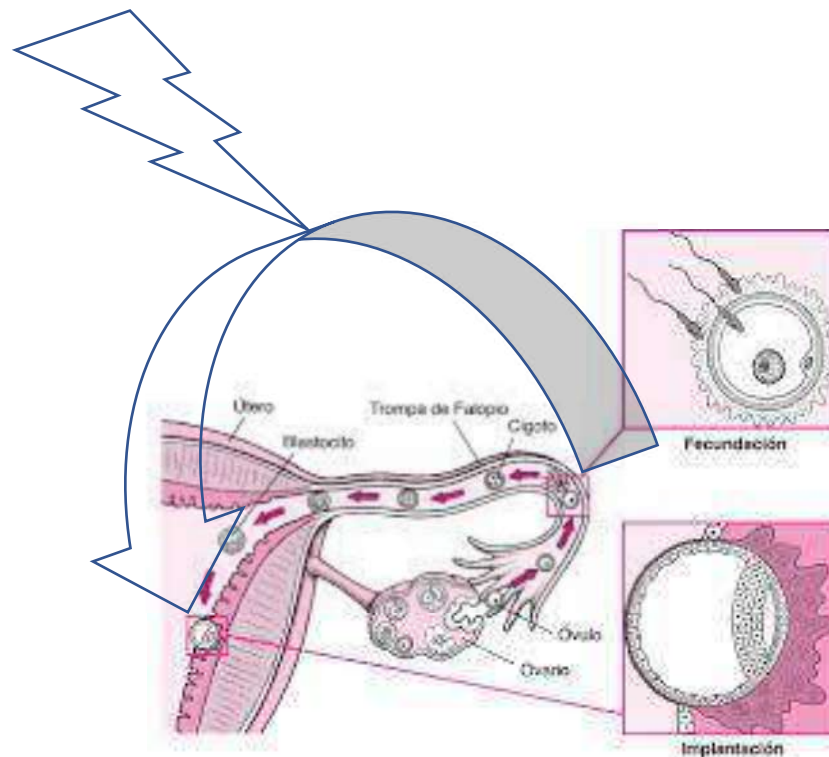
Tabla obtenida libro: Radiobiología para profesionales sanitarios: respuesta orgánica por aparatos y global. Ed Mad 2010

Para que estas opacidades detectables evolucionen a cataratas va a depender de:

- Intensidad de la radiación (>dosis > desarrollo de la catarata)
- De la edad del individuo
- De la cantidad de cristalino irradiado (parcial o totalmente)

# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.

Si hay dosis altas de radiación entre la fecundación y la implantación, se producirá aborto espontáneo

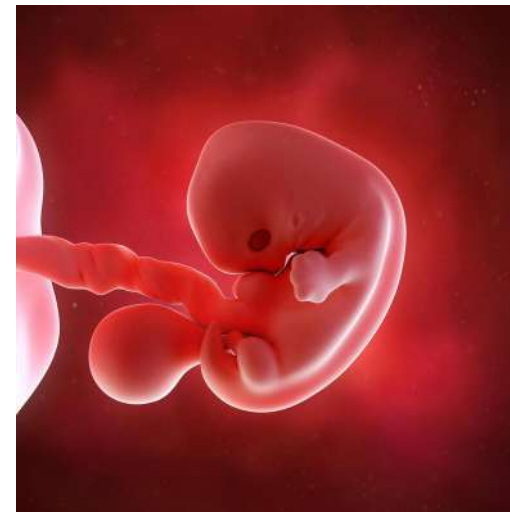


# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.

Organogénesis (2-6 semana)

Se forman tejidos y órganos

Efecto más común: aparición de anomalías congénitas.





# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.

Tras 6º semana se le denomina feto (fase fetal)

-Parte precoz (hasta 6º mes)

No hay viabilidad fetal

-Parte tardía (hasta final embarazo)

Viabilidad fetal



# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.


Preimplantación (muerte/aborto espontáneo)

Organogénesis (anomalías congénitas)

Fase fetal (retraso mental/microcefalias)

# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.

Inicio de embarazo



Fin embarazo

Periodo de gestación	Riesgo mas importante	Dosis
Semana 2	Aborto espontaneo	1Gy
Semana 8	Malformaciones en feto	0,5Gy
Semana 15	Retraso mental	0,4Gy
Semana 26		
Poco riesgo		

Tabla obtenida curso operadores instalaciones radiactivas tema 5 del modulo básico CSN

# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.

Embriones y fetos muy sensibles a radiaciones ionizantes por su continua división celular.

En un recién nacido los efectos de la radiación pueden manifestarse por los mismo mecanismos que en el adulto:

- Efectos congénitos: acaecidos durante el embarazo sobre el embrión o feto dando lugar a enfermedades congénitas.
- Efectos genéticos o hereditarios: ocurridos antes de la fecundación y acarrear efectos en el producto de la concepción.

# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.

De este modo los efectos de las radiaciones sobre las células del embrión y feto durante la gestación pueden ocasionar 2 tipos de efectos:

-Por efectos deterministas:

Aquellos establecidos por dosis umbrales (+precoces, apareciendo daños al nacer)

- Muerte prenatal o abortos
- Anomalías congénitas específicas del día de la gestación. (microcefalia, retraso mental, espina bífida, lesión ocular..)
- Anomalías congénitas no específicas: + durante el periodo fetal

(tejidos + radiosensibles el oseo y el nervioso) acondroplasias (enanismo distrófico) microcefalias, espina bífida, oligofrenia..etc (0,5Gy)

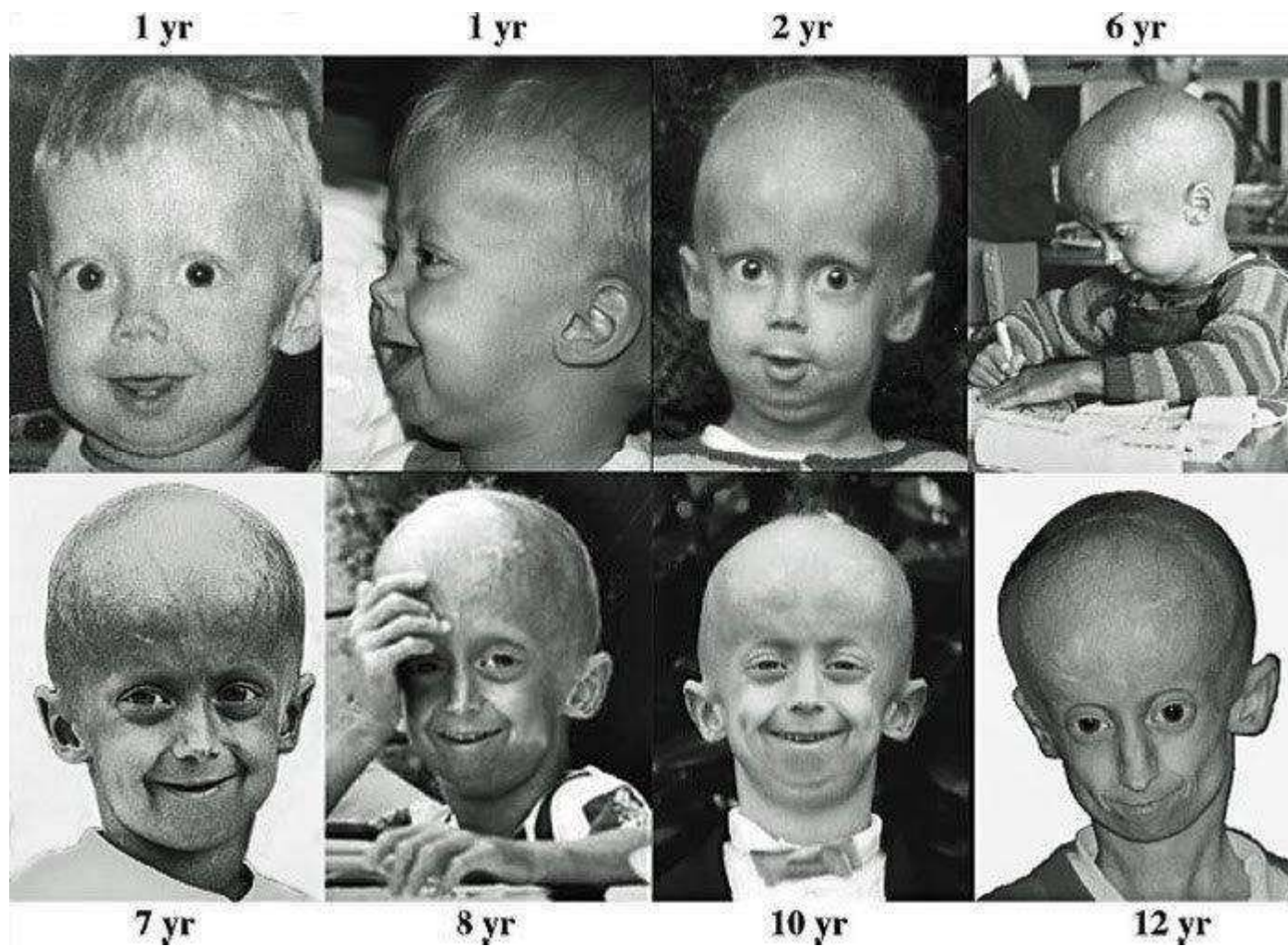
# Efectos de las radiaciones ionizantes sobre el embrión o feto.

-Por efectos estocásticos:

Aquellos que no establecen dosis umbral (suelen ser tardíos, apareciendo daños durante infancia/adolescencia)

Caben destacar (ya vistas en el adulto)

- Carcinogenesis radioinducida (leucemias\*, neuroblastoma, tumor de Ewing, cáncer de tiroides)
- Acortamiento no específico de la vida (progeria o síndrome de Hutchinson-Gilford)



# RADIOGENETICA

Definición:

Es la ciencia, que parte de la radiobiología, que estudia los eventos o sucesos ocasionados por los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los órganos genitales primarios (gónadas) y sus consecuencias.

Radiaciones ionizantes □ gametos □ afectación de la descendencia □ enfermedades hereditarias.

Solo estudios en animales y plantas, pero se puede extrapolar a humanos.



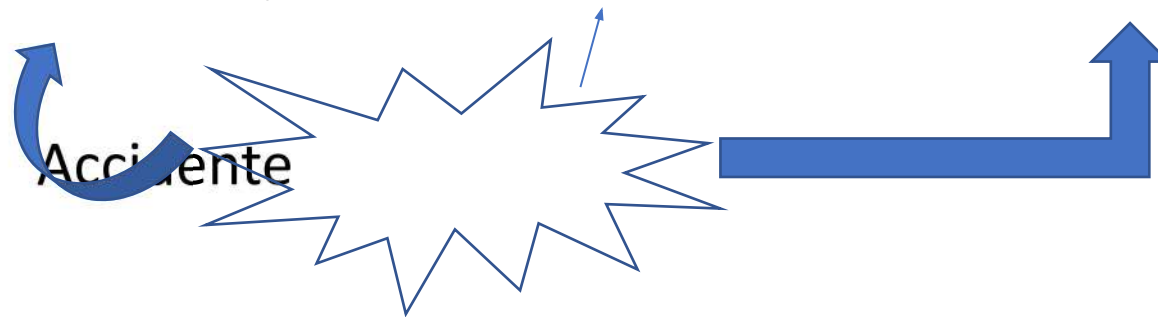
# Efectos de la radiación a nivel genético

Estudios sobre accidentes nucleares, apareciendo consecuencias en 3<sup>o</sup> generación.

El exceso de muertos por cáncer es bajo pero significativo.

leucemias/año 93 (entre el 52 y el 65) 479 + casos

Tumores solidos (15 años después)



# Efectos de la radiación a nivel genético

Los efectos genéticos son siempre estocásticos y engloban malformaciones y enfermedades imputables a mutaciones cromosómicas, que pueden afectar a varias generaciones.

## MUTACIONES:

Son daños genéticos, ocasionados por efectos estocásticos sobre órganos genitales de los progenitores, son causados por alteraciones o mutaciones, en la estructura o en la regulación de los genes en las células germinales, que se manifiestan en la descendencia como:

# Efectos de la radiación a nivel genético

## ·Genopatías:

Se producen por alteración de la molécula del ADN

pueden ser no viables, son las mas frecuentes

pueden ser viables, pasando así a generaciones futuras, se clasifican:

- Autosómicas: Pueden estar ligadas (si se da en el cromosoma X o Y) o no al darse en cualquiera de los otros 22 cromosomas (autosomopatía)
- Dominantes o recesivas: aceptación de muchos miembros descendientes o no.

# Efectos de la radiación a nivel genético

## ·Cromosomopatías:

Alteración en la cantidad o calidad de los cromosomas y generalmente no pasan a otras generaciones futuras.

Multitud de cromosomopatías que pueden tener relación o no con la radiación ionizante.

# Efectos de la radiación a nivel genético

-Efectos de la radiación sobre los órganos genitales primarios del progenitor varón:

Los efectos los sufre el producto de la concepción (de forma tardía) al fecundarse un ovulo con un espermatozoide con el material genético dañado, transmitiendo de generación en generación el daño.

-Efectos de la radiación sobre los órganos genitales primarios del progenitor mujer:

Los efectos estocásticos acaecidos son aquellos que sufre el producto de la concepción, al fecundarse un ovulo alterado a nivel genético por la acción de la radiación, con un espermatozoide alterado o no

# Efectos de la radiación a nivel genético

-Efectos de la radiación sobre los órganos genitales primarios del progenitor mujer:

Incidencia de estas alteraciones tiene mayor importancia que en el varón (este posee un gasto espermático significativo, renueva con asiduidad la serie de la espermatogénesis) pero la mujer tiene generalmente un solo ovulo por ciclo sexual, y si es afectado, el efecto es total.

Dosis a niveles sanitarios puede provocar estos efectos.

# Efectos de la radiación a nivel genético

-Efectos de las radiaciones ionizantes al producto de la concepción:

Se estima el riesgo de efectos hereditarios en humanos como consecuencia de exposición a radiación (basado en marco general de enfermedades genéticas) pueden ser:

• **Monogénicas o mendelianas:** (mutación de un único gen)

- Autosómicas dominantes

- Autosómicas recesivas

- Ligadas al cromosoma X, dominantes o recesivas

• **Cromosómicas:** Afecta a un gen con asociación a otro u otros anómalos (BRCA1 y BRCA2)

• **Multifactoriales o polisémicas:** Debidas a complejas interacciones entre diversos factores genéticos y ambientales

# Fin bloque 1