

Charlas de capacitación para OSR

Tema:

Efectos Biológicos de la radiación

Por: Javier Toasa Tapia

A  **R** **P**



¿Que es la célula?

- La célula es el elemento de menor tamaño que puede considerarse vivo.
- En forma general la célula se clasifican en:
 - **Procariotas.**- no contienen núcleo que proteja el material genético por ejemplo la bacteria.
 - **Eucariotas.**- tiene el material genético protegido por una membrana formando el núcleo, además en citoplasma aparecen unas estructuras denominadas orgánulos celulares.



Componentes químicos de las células

- Las células están compuestas por una gran cantidad de moléculas que pueden clasificarse en:
- **Componentes inorgánicos**
 - Agua
 - Iones:
 - Cationes: K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++}
 - Aniones: Cl^- , PO_4H^- , CO_3H^- , SO_4^- , NO_3^-
 - Sales Minerales (sulfatos, cloruros, fosfatos)
- **Componentes orgánicos**
 - Glúcidos o hidratos de carbono o azúcares
 - Proteínas
 - Lípidos o grasas
 - Ácidos Nucleicos



Componentes inorgánicos

Componentes orgánicos de la célula

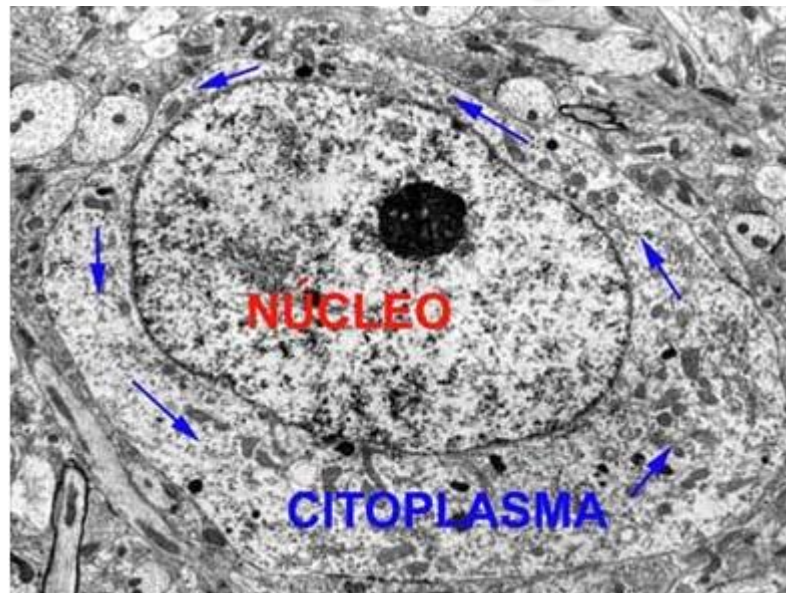
Nombre	Porcentaje	Componentes	Ejemplos	Funciones Fundamentales
Proteínas	15	Aminoácidos	Insulina Albumina Hemoglobina Enzimas	Bloqueos constituyentes básicos de las células y de los tejidos
Carbohidratos	1	Carbono Hidrogeno Oxigeno	Almidón Glicógeno	Proporciona energía necesaria para todas las funciones celulares básicas
Ácidos nucleídos	1	Azúcar Fosfato Base Nitrogenada	DNA RNA	Dirigir la información en la célula y transmitir la información genética de célula a célula y de generación en generación
Lípidos	2	Varía según los tipos	Colesterol Aceite de ricino Esteroides	Almacenar energía Proporcionar protección



Estructura Celular

La célula se divide dos partes:

- **Citoplasma.**- (flechas azules) es el contenido celular entre la membrana plasmática y el Núcleo.
- Tiene apariencia granulosa, debido a la abundancia de los ribosomas y de los orgánulos.
- En el citoplasma se encuentra el citosol que es una solución principalmente constituida por agua y enzimas.



Estructura Celular

La célula se divide dos partes:

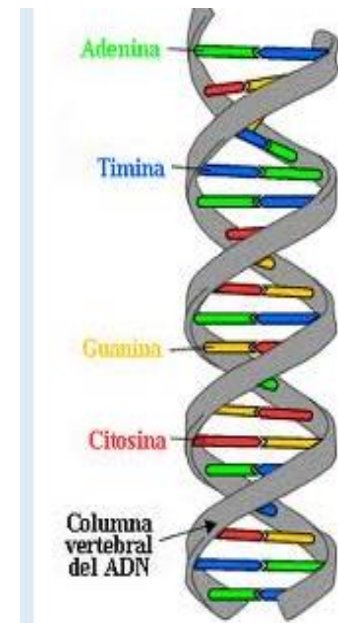
- **Núcleo.-** Contiene la mayor parte del material genético celular
- Tiene tres **funciones** que están relacionadas con su contenido de ADN:
 1. Almacenar la información genética en el ADN.
 2. Recuperar la información almacenada en el ADN en forma de ARN.
 3. Ejecutar, dirigir y regular las actividades citoplasmáticas, a través del producto de la expresión de los genes
- En el núcleo se realizan los siguientes **procesos**:
 1. La duplicación del ADN y su ensamblado con proteínas para formar la cromatina.
 2. La transcripción de los genes a ARN.
 3. La regulación de la expresión genética.



Ácidos Nucleicos

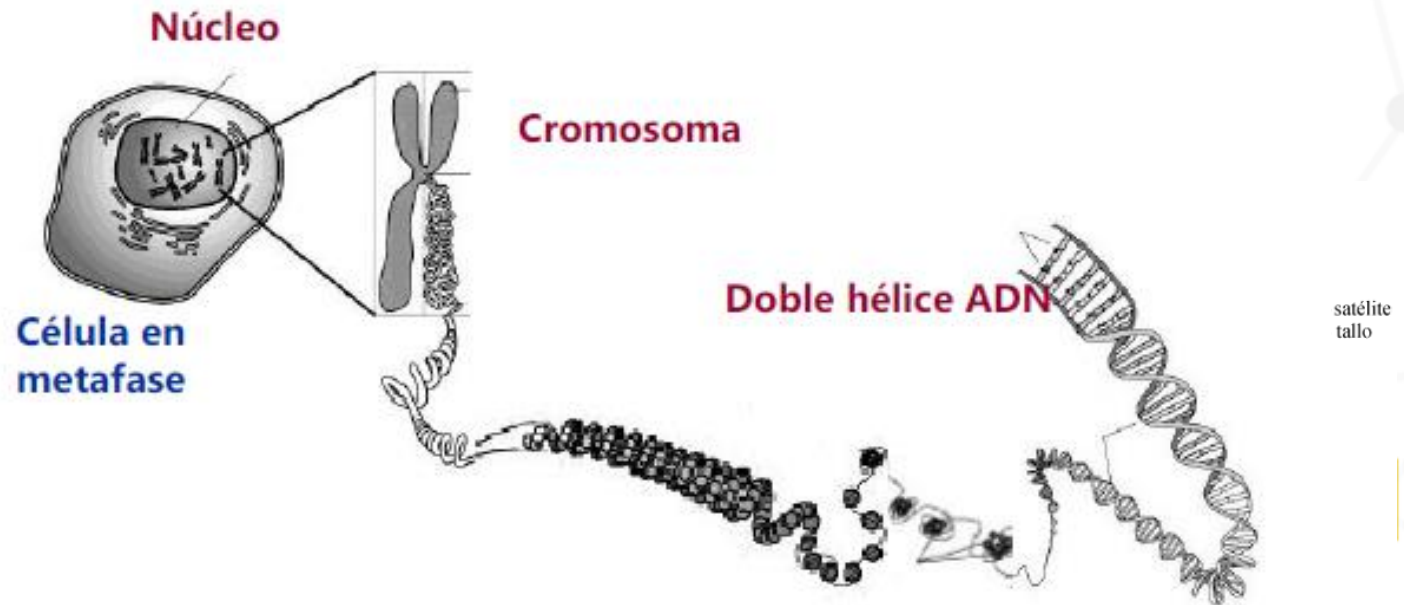
- Son biomoléculas portadoras de la información genética que de acuerdo a su composición química se clasifican en:
 - Ácidos Desoxirribonucleicos (ADN) que se encuentran en el núcleo celular y algunos organelos
 - Ácidos Ribonucleicos (ARN) que actúan en el citoplasma.
 - Las Bases Nitrogenadas son las que contienen la información genética.

Bases nitrogenadas del ADN	Bases nitrogenadas del ARN
Adenina (A)	Adenina (A),
Guanina (G)	Guanina (G)
Citosina (C)	Citosina (C)
Timina (T)	Uracilo (U)



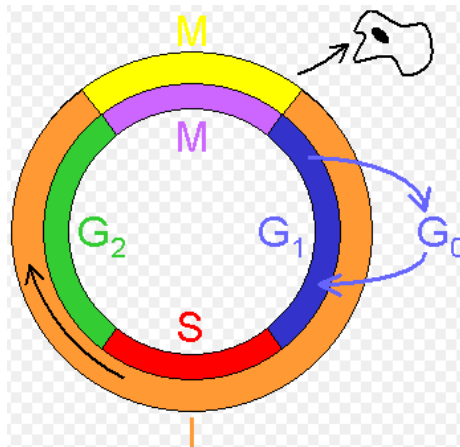
Cromosomas

- Están constituidos por moléculas de ADN y de proteínas.
- Está constituido por dos cromátides unidas por el centrómero.
- El centrómero divide al cromosoma en dos brazos:
 - **p** para el brazo corto
 - **q** para el brazo largo. Cromosomas



CICLO CELULAR

- **Ciclo celular.**- Es el período de tiempo desde que una célula “nace” hasta que se reproduce.
- Este período dura aproximadamente 24 horas.
- El ciclo celular consta de dos períodos:
- **Interfase:** es el período más largo del ciclo celular, y en él la célula aumenta de tamaño y se duplica el material genético
- **División celular:** la célula se divide y origina dos células.



CICLO CELULAR

- **Interfase:**
 - En esta fase el ADN se organiza formando la cromatina.
 - En esta fase las fibras de ADN se duplican
 - Al final de la interfase hay dos copias exactas de cada molécula de ADN.
- **La cromatina** es un conjunto de fibras de ADN disperso por el núcleo.
- La Interfase consta de tres fases:
 - **Fase G1 :**
 - La célula está en constante crecimiento (duplica su tamaño)
 - Forma los orgánulos y sintetiza las proteínas.
 - **Fase S :**
 - Se duplica el ADN.
 - **Fase G2 :**
 - Se prepara para la división con la síntesis de proteínas



CICLO CELULAR

- **División celular:** Es el proceso en el cual de la célula madre se obtienen dos células hijas idénticas a la madre.
- La división celular consta de dos partes:
 1. **LA MITOSIS.-** es un proceso en el que se asegura que las células hijas reciban los mismos cromosomas que la célula madre.
 - La mitosis distinguen las siguientes fases:
 - **PROFASE:**
 - El ADN se compacta y se forman los cromosomas.
 - Desaparece la membrana nuclear y los cromosomas se dispersan por la célula
 - Los centriolos se dirigen a polos opuestos, conectados por filamentos (huso mitótico)



CICLO CELULAR

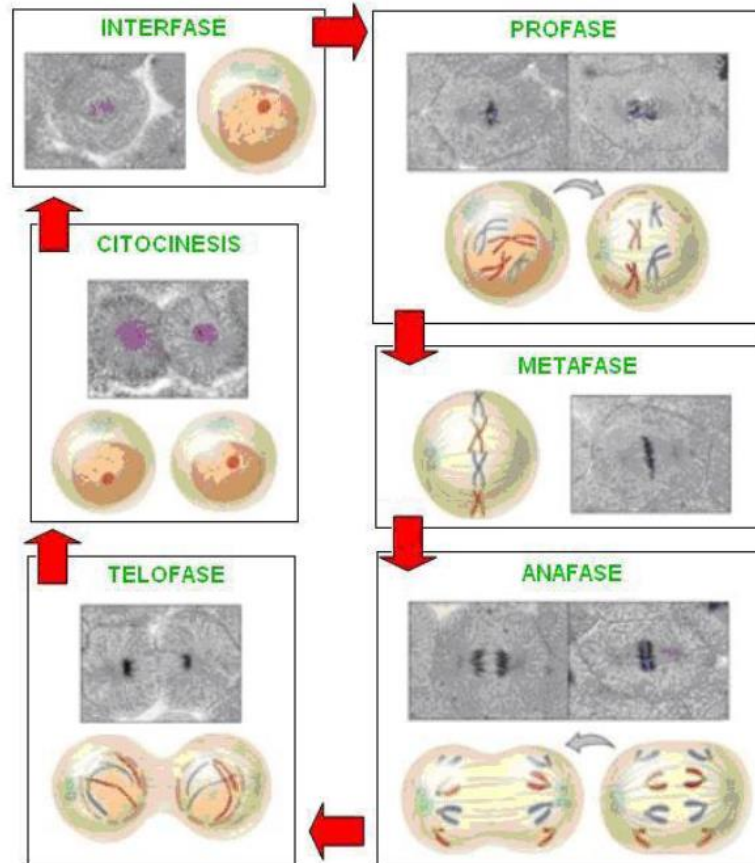
- **METAFASE:**
 - Los cromosomas se unen al huso mitótico en el ecuador con el centrómero.
- **ANAFASE:**
 - Se separan las cromátidas y se dirigen a un polo opuesto de la célula.
 - Al final de esta fase en cada polo hay el mismo número de cromátidas, una de cada cromosoma.
- **TELOFASE:**
 - Se forma una membrana nuclear alrededor de cada grupo de cromátidas.



CICLO CELULAR

2. CITOCINESIS :

- Una vez finalizada la división del núcleo, el citoplasma se va estrechando hasta que la membrana plasmática se rompe dando lugar a dos células.



Interacciones Biológicas Básicas de la Radiación

- Cuando la radiación interactúa con la célula se produce cambios en el material biológico bajo las siguientes consideraciones:
 1. La interacción de la radiación con la célula es probabilística.
 - Puede o no interactuar
 - Si produce la interacción puede o no causar daño.
 2. El depósito de energía ocurre aproximadamente en 10^{-17} segundos.
 3. La interacción de la radiación con la célula no es selectiva
 - No elige en que parte de la célula va a interactuar.
 4. Los cambios visibles producidos por la interacción de la radiación en las células, tejidos y órganos no son únicos.
 5. Los cambios biológicos por interacción de la radiación pueden variar de unos minutos, semanas o años (período de latencia). Dependerá de la dosis inicial



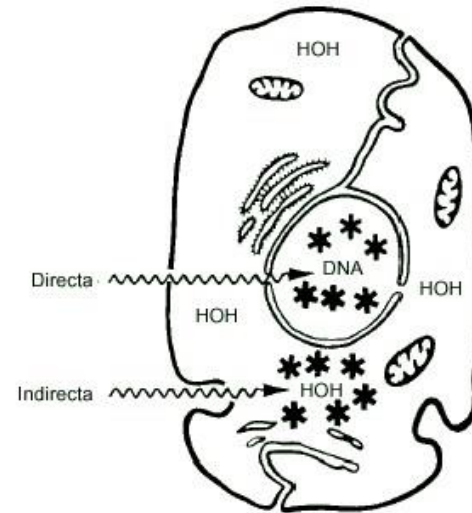
INTERACCION DE LA RADIACION CON LA CELULA

- Cuando la radiación interactúa con la célula lo hace con:

- El ADN
- El agua

- Mediante los fenómenos de:

- **Excitación.-**
- **Ionización.-**

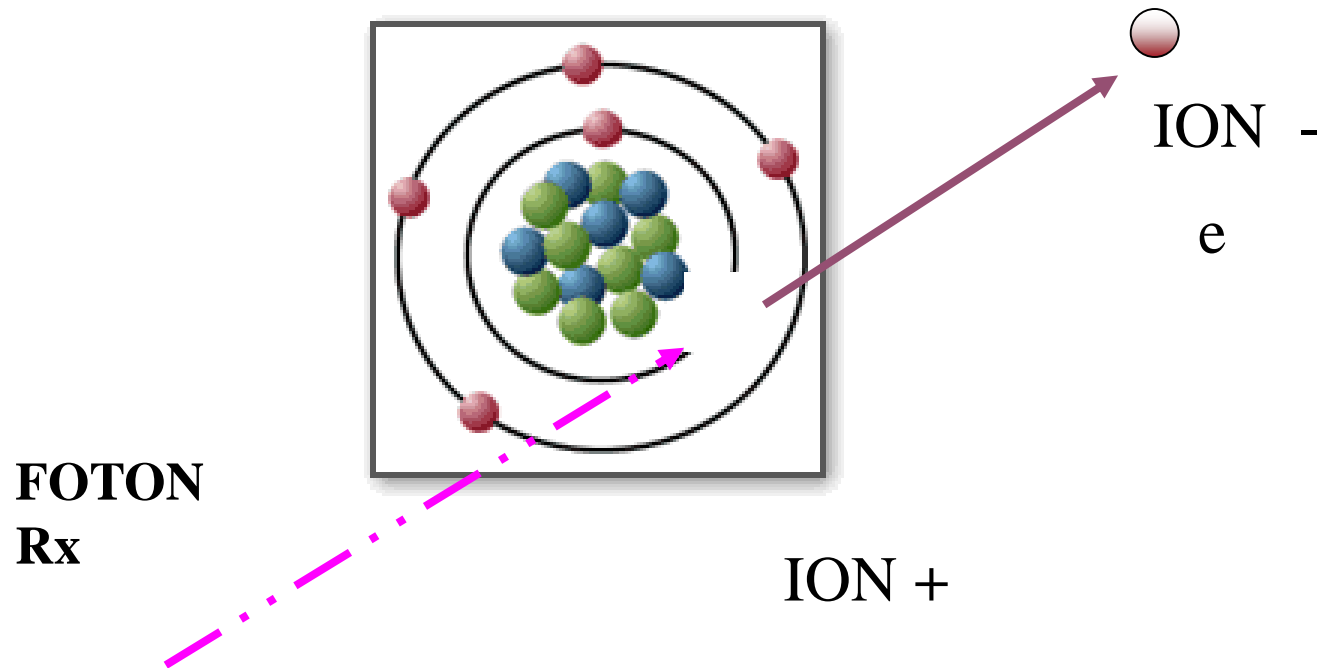


- Mientras que la acción de la radiación sobre la célula es:

- **Acción directa.-** Cuando una partícula interactúa y es absorbida por el ADN, ARN, proteínas, enzimas o cualquier otra macromolécula de la célula.
- **Acción indirecta.-** implica la absorción de la radiación ionizante en el agua.

¿QUE ES FENOMENO DE IONIZACIÓN?

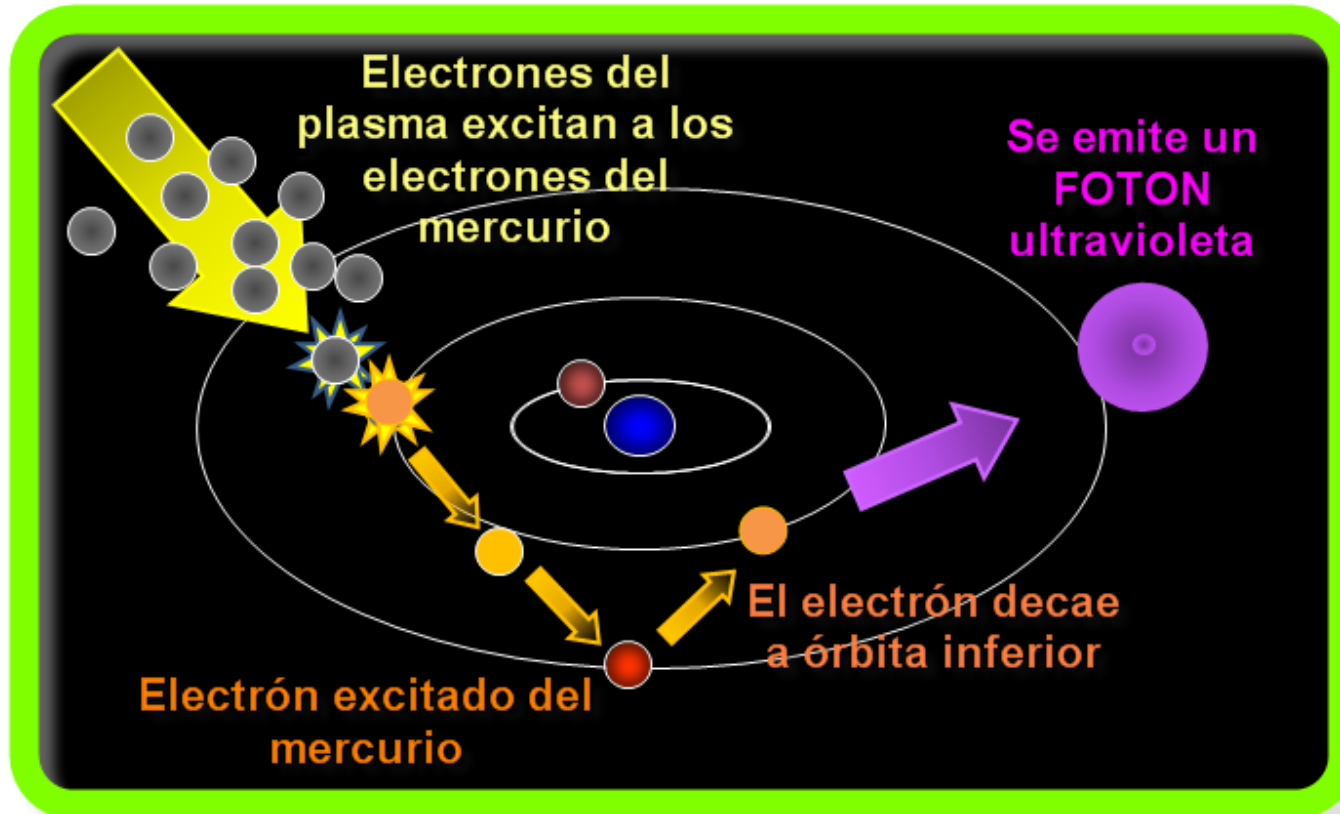
- **Ionización.** Es el proceso en el cual un electrón se desvincula del átomo debido al aporte de energía externa.



- El átomo queda cargado positivamente ya que se sacó un electrón
- El electrón independiente tiene carga negativa.
- Ambas partículas se denominan iones.

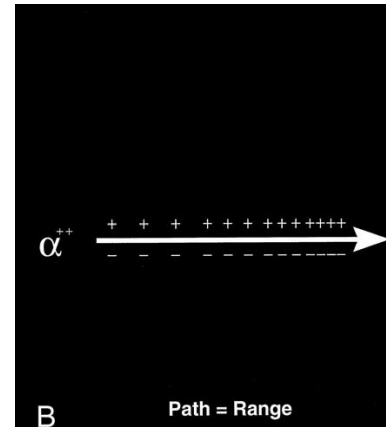
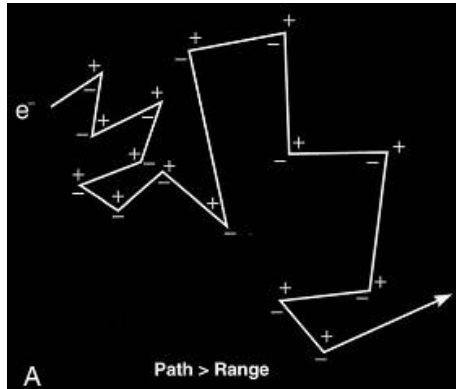
¿QUE ES EXCITACIÓN DEL ATOMO?

- **Excitación.** Es el proceso en el cual un electrón salta hacia otro nivel energético en el átomo.



¿QUE ES LA TRANSFERENCIA LINEAL ENERGETICA?

- **Transferencia Lineal Energética (LET):** Se define como la cantidad de pares iones que genera la partícula cargada al viajar en la materia.



- La LET está directamente ligada con los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.
- Mientras mayor sea la TLE mayor será la ionización por lo tanto mayor será el efecto biológico que se produzca en la célula.
- En ocasiones esta TLE pueden ser beneficiosa cuando se quieren irradiar tumores malignos.
- Los rayos x y gamma son de radiación de baja LET

¿QUE ES LA TRANSFERENCIA LINEAL ENERGETICA?

TIPO DE RADIACION	LET (keV/micra)
Cobalto 60	0,3
Rayos X de 3 MeV	0,3
Rayos X de 250 KeV	3,0
Partículas al de 5 MeV	100,0
Neutrón:	
19 MeV	7,0
2,5 MeV	20,0
Electrón:	
1 MeV	0,25
1 KeV	12,3

¿QUE PRODUCE AL INTERACTUAR LA RADIACION CON EL AGUA DE LA CELULA?

1. Produce Iones (H^+ y OH^-)

- Como están cercanos entre si y tienen energía baja la posibilidad de recombinarse es muy alta y formarían otra molécula de agua.



- Esta combinación no produce ningún daño a la célula.

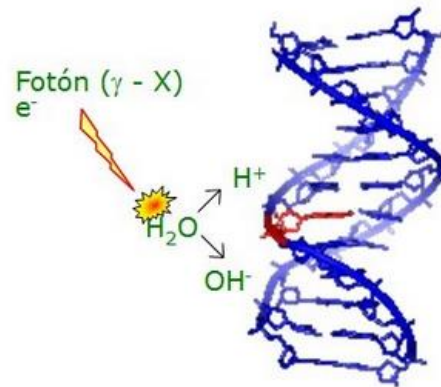


Fig. 2. Acción indirecta de la radiación sobre la cadena de ADN

¿QUE PRODUCE AL INTERACTUAR LA RADIACION CON EL AGUA DE LA CELULA?

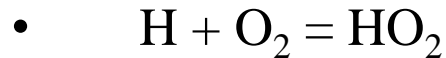
2. Forma radicales libres (H• y O•H).



- Forman el **peróxido de hidrógeno** que es un agente toxico para la célula.



- Formación de un nuevo radical libre



- **Estos radicales libres producen:**

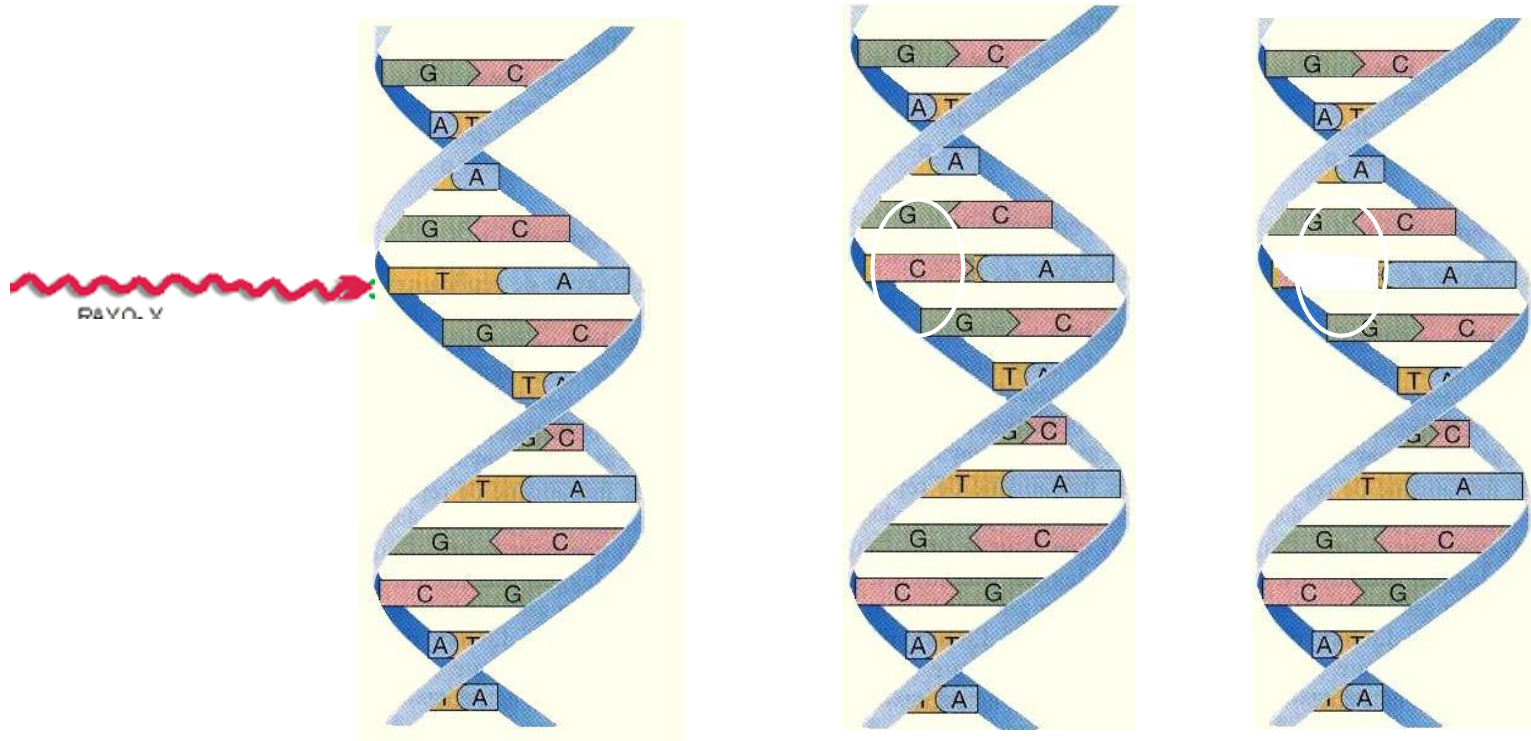
- Reacciones químicas en la célula que causan lesiones en lugares distantes en la célula
- Cerca de dos tercios del daño originado por rayos X y electrones es debido a la acción indirecta.

EFFECTOS DE LA RADIACION SOBRE EL ADN

- La evidencia de los efectos que produce las radiaciones ionizantes sobre el ADN es debido a:
 - Explosiones nucleares
 - Accidentes e incidentes radiológicos.
 - Experimentos realizados en vitro.
- Los posibles efectos que producen la radiación en el ADN son:
 1. Cambio o perdida de una base nitrogenada.
 2. Ruptura del enlace de hidrógeno entre las dos cadenas de la molécula de ADN.
 3. Fractura del esqueleto de una cadena de la molécula de ADN.
 4. Fractura del esqueleto de las dos cadenas de la molécula de ADN.
 5. Fractura y subsecuente unión cruzada dentro de la molécula de ADN

CAMBIO O PERDIDA DE UNA BASE NITROGENADA

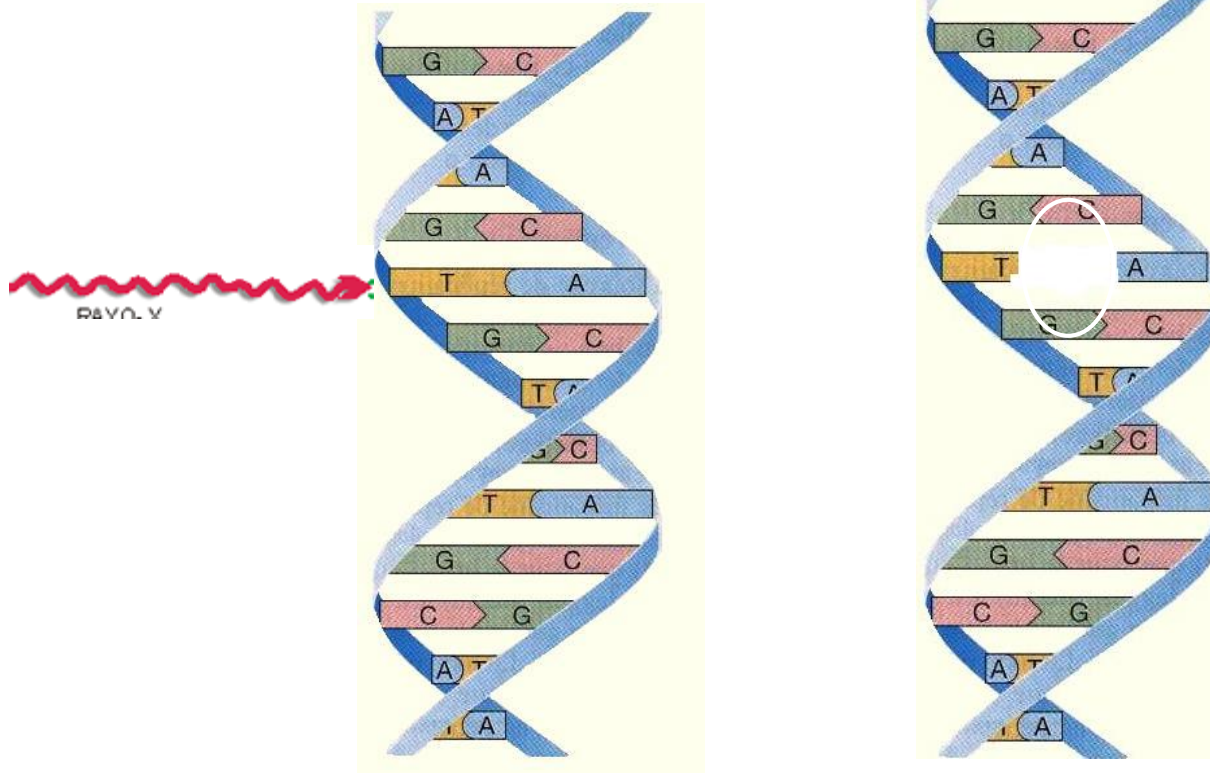
- Cambio o pérdida de una base nitrogenada.



- La pérdida ó el cambio de una base se considera una mutación de la célula

RUPTURA DEL ENLACE DE HIDROGENO ENTRE LAS CADENAS DE LA MOLECULA DE ADN.

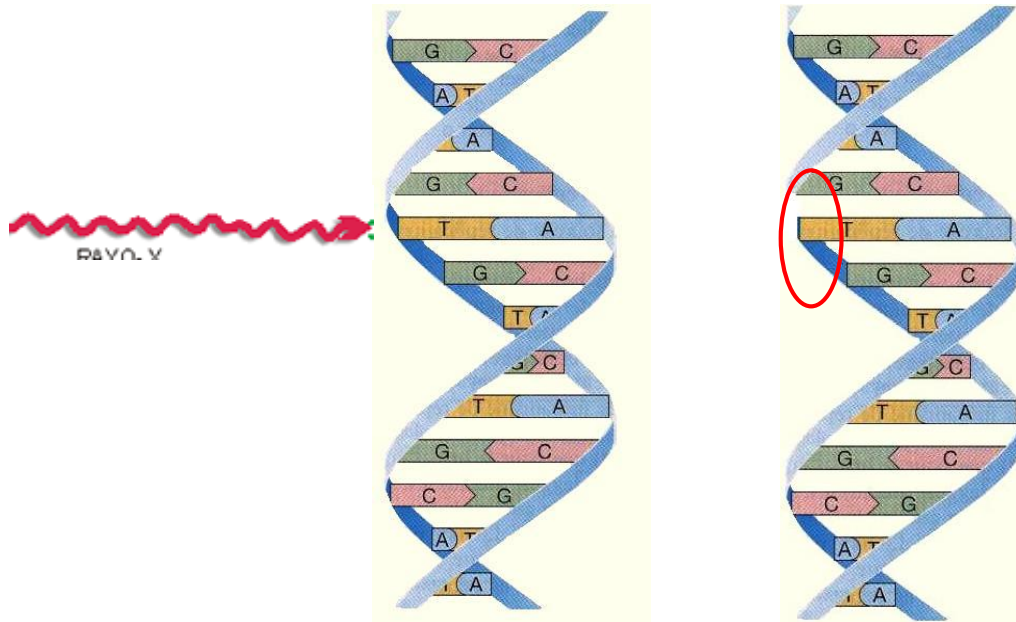
- Ruptura del enlace de hidrógeno entre las dos cadenas de la molécula de DNA.



- Debido a la configuración de doble hélice del DNA está se repara rápidamente y no produce daño en la célula

FRACTURA DEL ESQUELETO DE UNA CADENA DE LA MOLECULA DE ADN

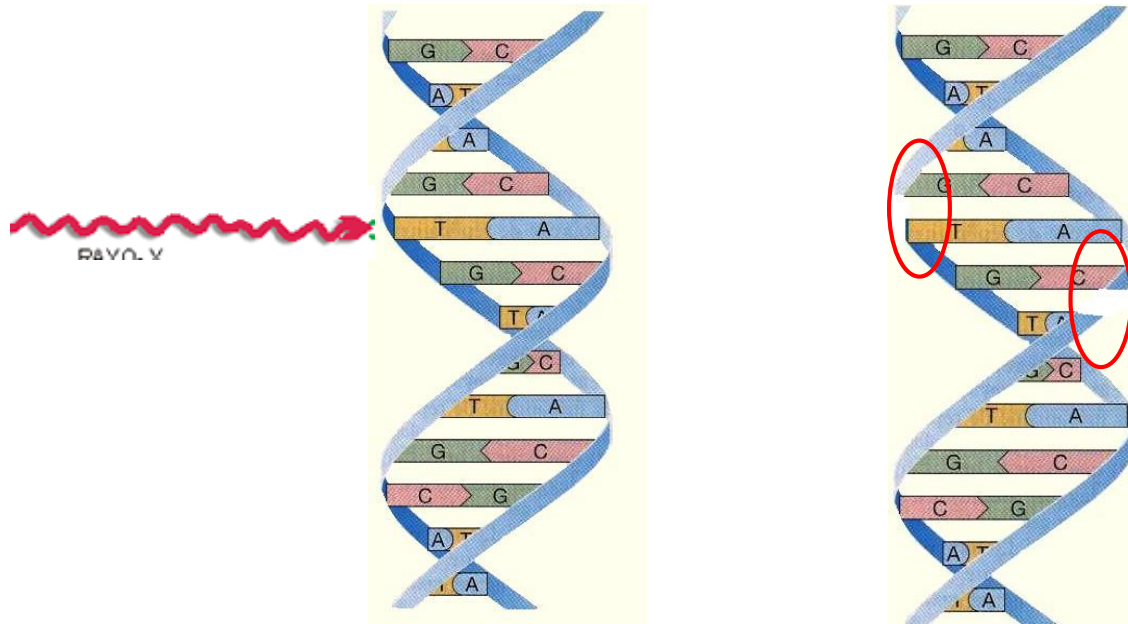
- Fractura del esqueleto de una cadena de la molécula de DNA.



- Por la presencia de enzimas reparadoras estas se reparan sin producir daños en la célula.
- Pero, un radical libre se puede unir en el sitio abierto impidiendo que se vuelvan a unir en forma correcta dando como resultado daños en la célula.

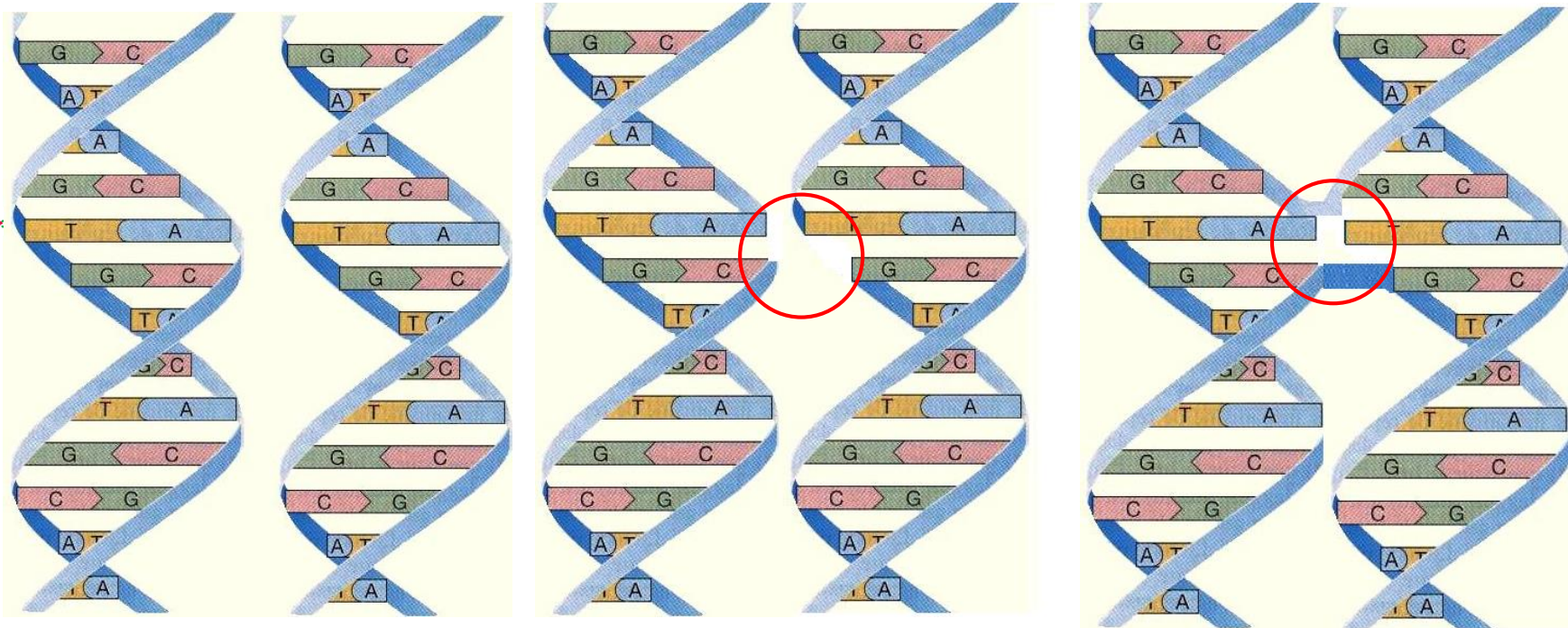
FRACTURA DEL ESQUELETO DE LAS DOS CADENAS DE LA MOLECULA DE ADN.

Fractura del esqueleto de las dos cadenas de la molécula de ADN.



- La probabilidad de reparación de las dos cadenas es muy baja dando como resultado la separación de las cadenas y consecuencias graves para la vida de la célula.

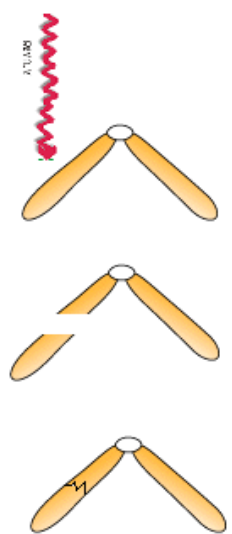
FRACTURA Y SUBSECUENTE UNION CRUZADA DENTRO DE LA MOLECULA DE ADN O DESDE UNA MOLECULA DE ADN A OTRA.



EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

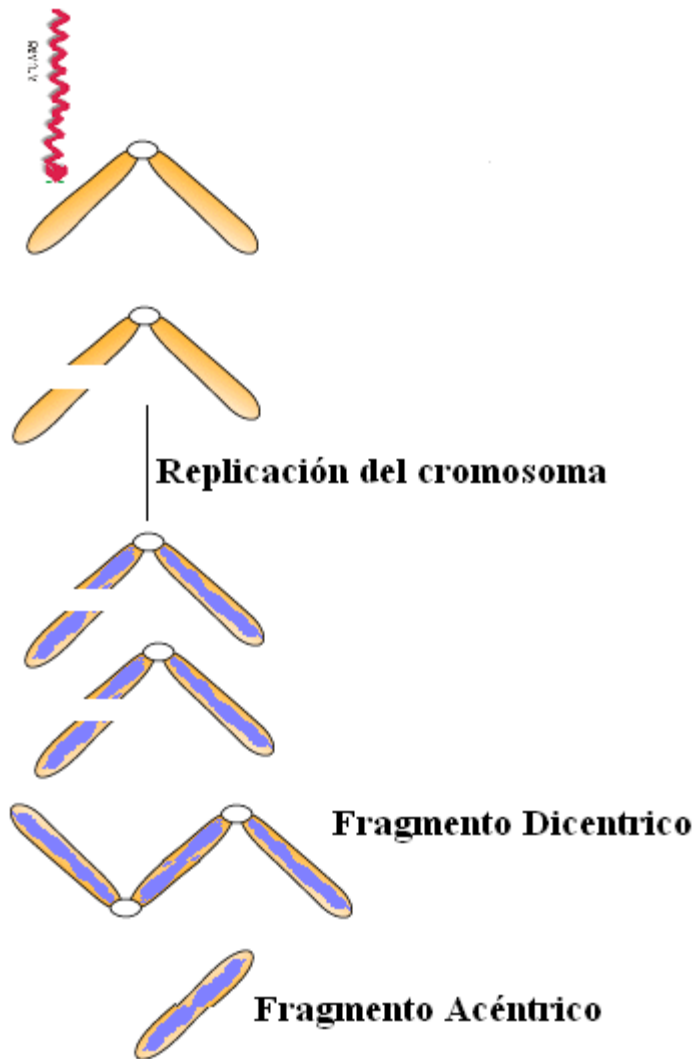
- Los efectos de la radiación en los cromosomas son evidentes principalmente durante:
 - Metafase.
 - Anafase.
- El cambio en el cromosoma por radiación se denomina ABERRACION, LESIONES O ANOMALÍAS.
- **Aberración cromosómica.**- Este daño se produce:
 - Antes de la síntesis del ADN es decir cuando el cromosoma produce una copia exacta de si mismo.
- **Aberración cromátida.**- Este daño se produce cuando la exposición a la radiación ionizante tiene lugar después de la síntesis del ADN.

EFFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

- **Rupturas simples en un solo cromosoma.-** Es cuando la radiación rompe un brazo del cromosoma produciendo dos fragmentos:
 - Uno con centrómero.
 - Otro sin centrómero
 - Esto trae dos consecuencias para el cromosoma.
- 
- **Proceso de restitución.-** cuando los dos extremos rotos se vuelven a unir produciéndose la curación.
 - Se cree que el 95% de las rupturas simples de cromosomas se curan por restitución.

EFFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

- **Rupturas simples en un solo cromosomas.-**

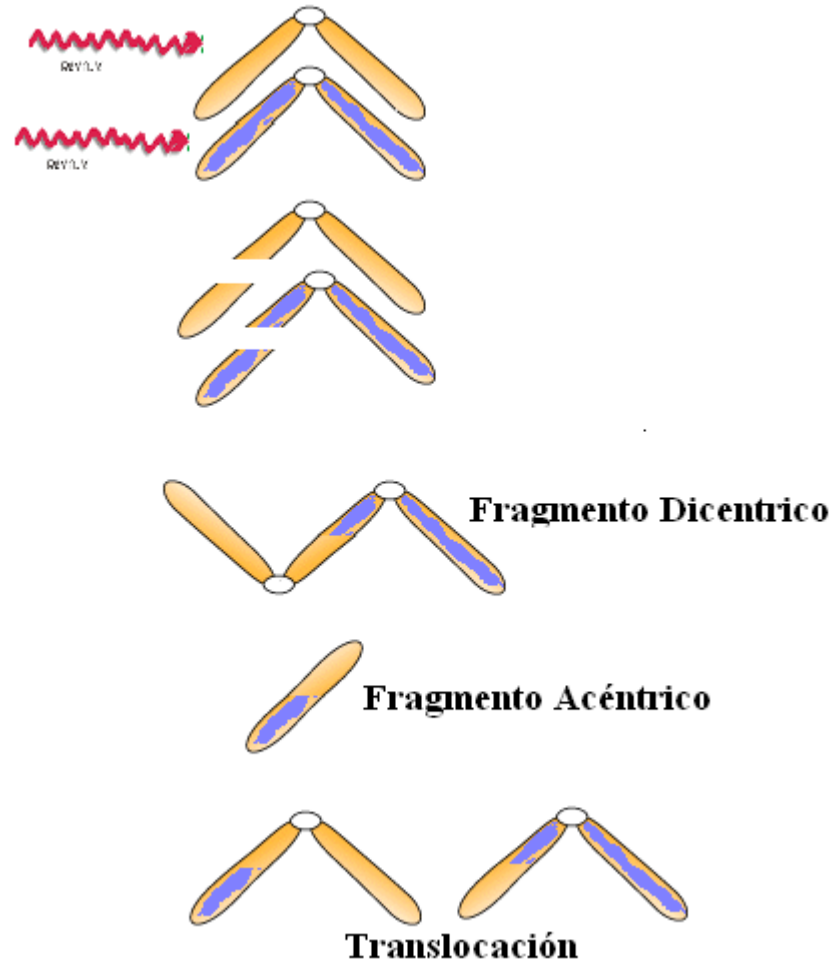


- En este caso se forma:
- Un **fragmento acéntrico** No tiene centrómero no existirá traspaso de información genética a la célula hija.
- Un **fragmento dicéntrico** en este caso durante el proceso de la división celular las cromátidas se estiran volviéndose a romper.
- Si este proceso continúa a través de muchas divisiones:
- La célula puede perder una parte del cromosoma o incluso perder todo el cromosoma.

EFFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

- **Rupturas simples en dos cromosomas.**- Si dos cromosomas sufren la ruptura de uno de sus brazos produce cuatro fragmentos:

- Dos con centrómero.
- Dos sin centrómero



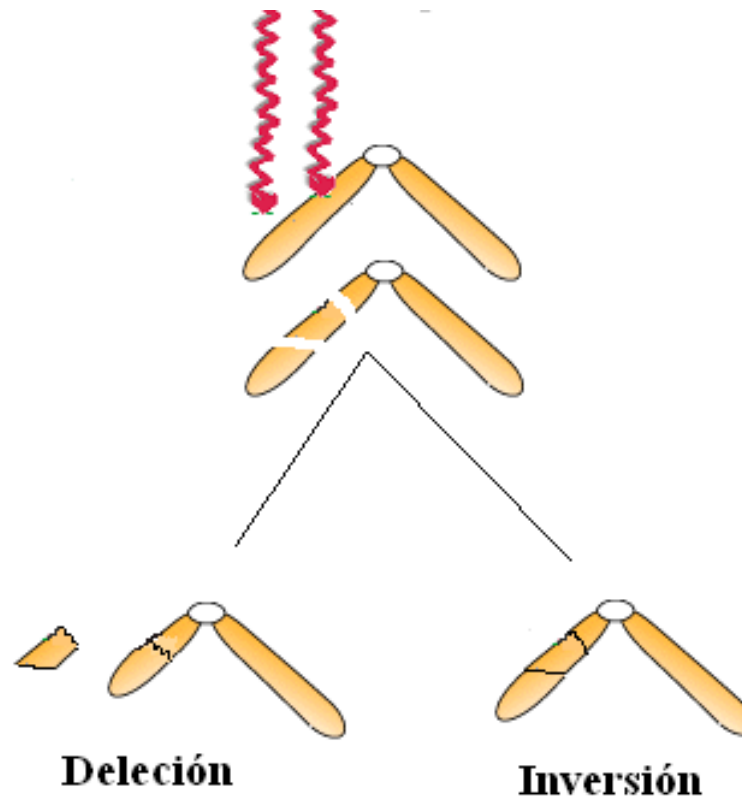
EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

- **La Translocación.**- Da por resultado la formación de un nuevo cromosoma de aspecto normal.
- Pero con el orden de los genes alterados.
- Produciendo una descendencia con malformaciones o deterioros funcionales.
- Ó puede ser que este efecto este enmascarado y no aparezca en muchas generaciones, manifestándose solo mucho tiempo después.



EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

- **Rupturas dobles**
- Al romper el brazo del cromosoma en dos partes aumenta la probabilidad de aberraciones cromosómicas y el proceso de restitución no es tan eficaz en la reparación.



EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

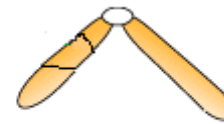
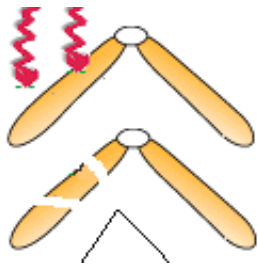
- **Delección.-** En este proceso se forma dos fragmentos acéntricos:



- El un fragmento puede desaparecer porque no se divide.
- El Segundo fragmento se une con el fragmento que tiene centrómero.
- Este cromosoma no tendrá la información genética correcta.

EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

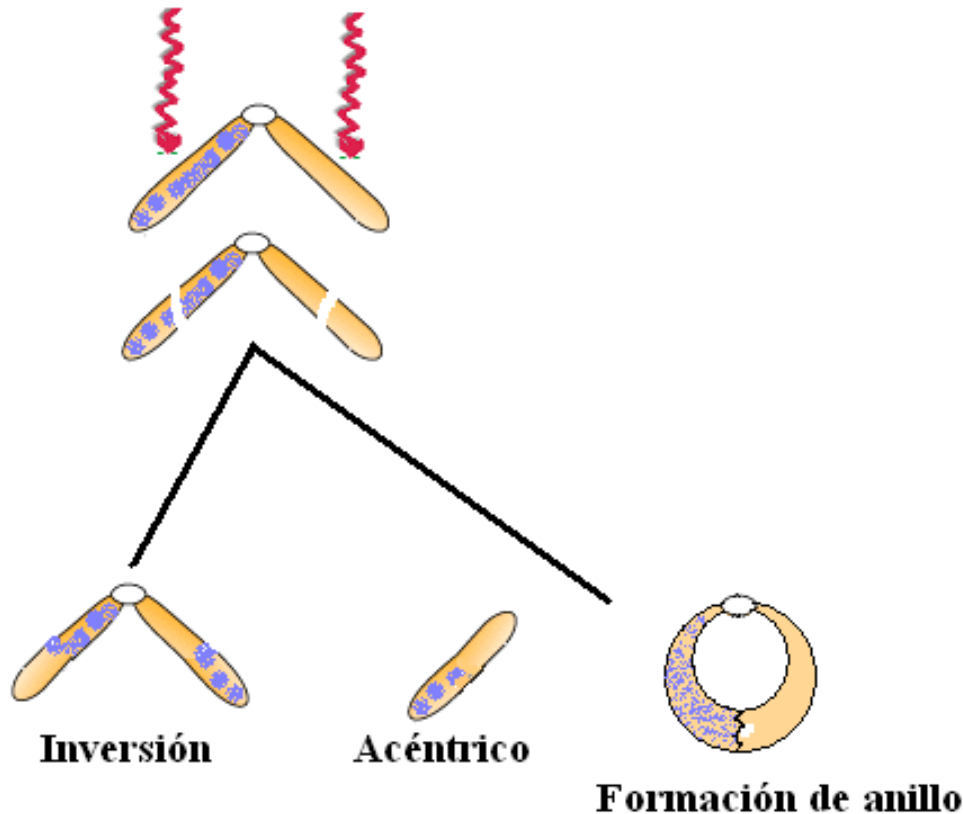
- **Inversión.**- Es cuando los fragmentos se unen en forma invertida.
- Es un cromosoma de aspecto normal.
- Pero tiene alterado los genes y la secuencia de las bases del ADN.



Inversión

EFFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

- Rupturas dobles en los dos brazos del cromosoma



- **Formación en anillo.** Es poco común.
- Este cromosoma por tener centrómero se replicará durante la división celular.
- Estos cromosomas serán difíciles de separar en la división celular.

EFECTOS DE LA RADIACION SOBRE LOS CROMOSOMAS

Tipo de daño	Lugar	Aberraciones	Consecuencias para la célula
Ruptura simple	Un brazo de un cromosoma	<ul style="list-style-type: none"> • Restitución • Cromosoma Acéntrico • Dicéntrico 	<ul style="list-style-type: none"> • Ningún daño • Perdida de información genética • Proceso repetido con la perdida a la larga de la parte principal o de todo el cromosoma
Ruptura simple	Un brazo de dos cromosomas	<ul style="list-style-type: none"> • Cromosoma Acéntrico • Dicéntrico • Traslocación 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de información genética • Proceso repetido con la perdida a la larga de la parte principal o de todo el cromosoma
Ruptura doble	Un brazo de un cromosoma	<ul style="list-style-type: none"> • Deleción • Inversión 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio en la secuencia de genes • Posibles alteraciones funcionales
Ruptura doble	Los dos brazos de un cromosomas	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión • Fragmentos acéntricos • Anillos • Otros cromosomas extraños 	<ul style="list-style-type: none"> • Perdida de información genética • Cambio en la secuencia de genes • Posibles alteraciones funcionales • Efectos graves para la célula (muerte celular).

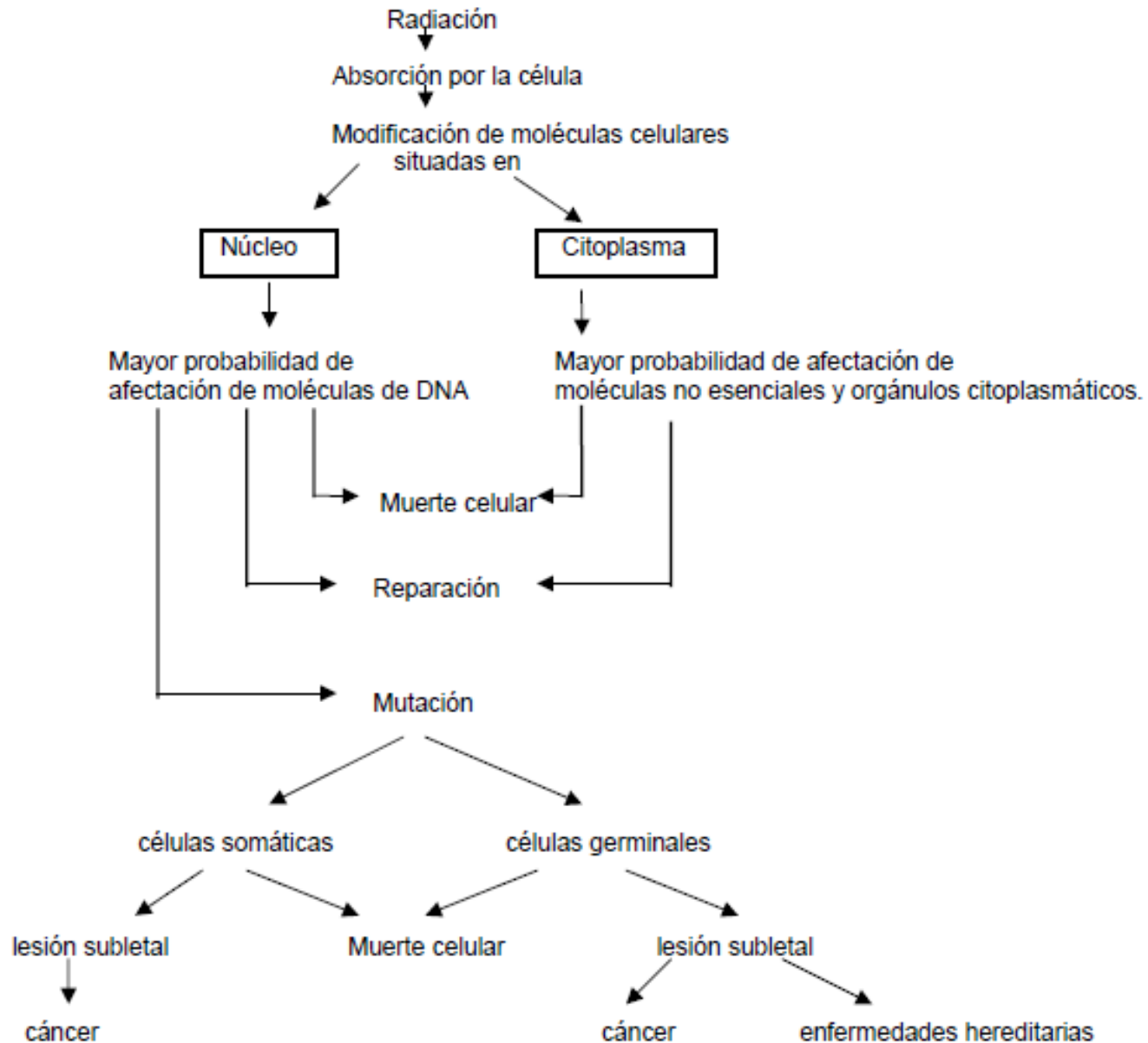
¿ QUE FACTORES INFLUYEN EN LAS LESIONES CROMOSOMATICAS?

- La dosis total.-
 - Es directamente proporcional con las rupturas simples
- La tasa de dosis.-
 - Es directamente proporcional con las rupturas dobles
 - Produce la misma cantidad de rupturas simples ya sea una tasa de dosis alta o baja.
- LET
 - Los rayos x y gama que tiene bajo LET producen mas rupturas simples.
 - La probabilidad que los rayos X o gamma produzca dos rupturas en un cromosoma es muy baja.
- Las partículas que tienen alto LET producen mas rupturas dobles.

¿Qué son las mutaciones radioinducidas?

- Es una variación en la actividad celular que puede ser susceptible de ser transmitida a la descendencia.
- Las mutaciones pueden afectar:
 - A las células somáticas (cáncer radioinducido)
 - A las células germinales (transmisión a generaciones posteriores).
- La frecuencia de aparición de mutaciones radioinducidas incrementa:
 - En las *personas que trabajan con radiaciones ionizantes*.
 - Por la acumulación de dosis absorbida.
- Las mutaciones radioinducidas *No tienen dosis umbral*.
 - Un solo impacto en el lugar inadecuado puede provocar una lesión.
- Genéticamente puede ser *recesivo* porque puede permanecer oculta durante generaciones.

¿Qué son las mutaciones radioinducidas?



¿Qué es la radiosensibilizada?

- Es la sensibilidad que tienen los diferentes tejidos y células a las radiaciones ionizantes.
- La radiosensibilidad de las células se mide por los postulados de ***BERGONIE Y TRIBONDEAU, indica que:***

Los rayos X actúan más sobre las células cuando:

1. *Mayor es su actividad reproductora.*
2. Más divisiones realiza para adoptar su forma y funciones definitivas.
3. *Son menos diferenciadas.*
 - **Célula diferenciada** es la que está especializada funcionalmente o morfológicamente.
 - **Célula no diferenciada** es una célula inmadura cuya función es dividirse para mantener su propia población y para reemplazar a las células maduras perdidas.

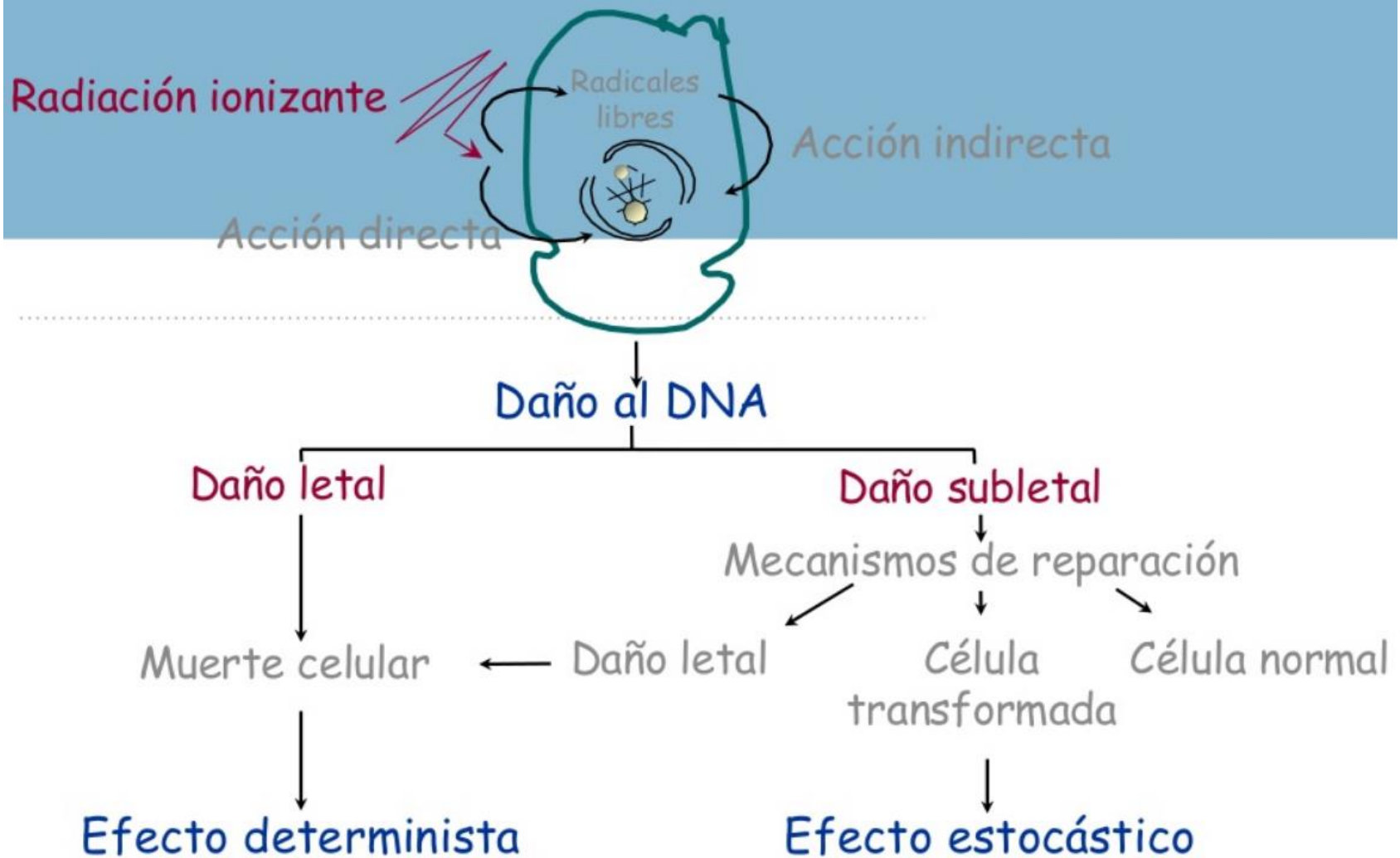
Características y radiosensibilidad de las poblaciones celulares

Tipo de células	Características	Ejemplos	Radiosensibilidad
Células intermitóticas vegetativas (VIM)	<ul style="list-style-type: none"> • Se dividen rápidamente • No diferenciadas • No se diferencian entre las divisiones 	<ul style="list-style-type: none"> • Espermatogonias de tipo A • Eritroblastos • Células de las criptas intestinales • Células basales de la epidermis 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy radiosensibles
Células intermitóticas Diferenciadas (DIM)	<ul style="list-style-type: none"> • Se dividen activamente • Mas diferenciadas que las VIM • Se diferencian entre las divisiones 	<ul style="list-style-type: none"> • Espermatogonias intermedias • Mielocitos 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente radiosensibles
Células de los tejidos conjuntivos multipotenciales	<ul style="list-style-type: none"> • Se dividen irregularmente • Mas diferenciadas que las VIM y las DIM 	<ul style="list-style-type: none"> • Células endoteliales • Fibroblastomas 	<ul style="list-style-type: none"> • Radiosensibilidad intermedia
Células posmitóticas reversibles (RPM)	<ul style="list-style-type: none"> • No se dividen normalmente pero conservan la capacidad de división • Diferenciadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Células parenquimales del hígado • Linfocitos 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativamente radioresistentes
Células posmitóticas fijas (FPM)	<ul style="list-style-type: none"> • No se divide • Diferenciadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Algunas células nerviosas • Células de los músculos • Eritrocitos • Espermatozoides 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy radioresistentes

Respuesta celular a la radiación

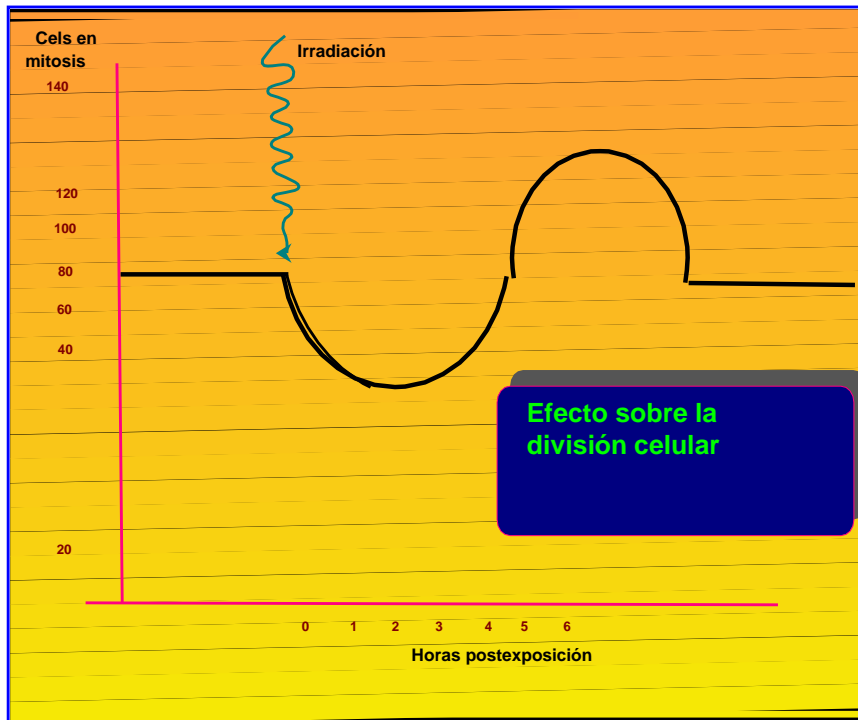
- Los daños causados en las células por radiaciones se agrupan en:
- **Muerte en interfase:** es la muerte celular antes de entrar en mitosis.
 - Esta muerte se produce en las células **diferenciadas** que han perdido la capacidad de dividirse.
 - Los linfocitos presentan muerte en interfase a dosis absorbidas inferiores a 500 mGy.
- **Fallo reproductivo:** es la incapacidad de la célula para dividirse repetidas ocasiones después de la irradiación.
 - En este proceso la célula muestra lesiones subletales.

Respuesta celular a la radiación



Respuesta celular a la radiación

- **Retraso mitótico:**



- Representa una curva de las células en mitosis en función del tiempo
- Antes de la irradiación las células en mitosis permanece constante.
- Al irradiar las células se tiene:
 - Las células que están en mitosis durante la irradiación completan su división
 - Si las células están a punto de dividirse retrasan la mitosis.
 - Si la dosis es baja las células se recuperan del retraso y tienen una mitosis por encima de lo normal.
 - Al transcurrir el tiempo otra vez la mitosis se vuelve normal.

Factores que afectan a la radiosensibilidad celular

- **Radiosensibilizantes:** Son agentes externos o internos que producen un incremento del efecto de la radiación sobre las células.
 - **5-fluorouracilo** (Cánceres de mama, Colon, Recto), impide que las células elaboren ADN y puede destruir células cancerosas.
- **Radioprotectores:** Son agentes externo o internos que provoquen un efecto menor de la radiación sobre las células.
 - Ethyol se usa para reducir los efectos secundarios de la radioterapia
 - Alivia los problemas de sequedad bucal en pacientes con cáncer de cabeza y cuello que reciben tratamiento con radiación.

Clasificación de los efectos producidos por la radiación

- Los efectos de las radiaciones en el organismo se clasifican en:
- **Efectos genéticos.**- son efectos producidos por las radiaciones ionizantes a las células germinales (efectos transmitidos a su descendencia)
- **Efectos somáticos.**- son efectos producidos por las radiaciones ionizantes a las células del propio individuo irradiado.
- La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICPR) clasifica los efectos producidos por la radiación.
- Estocásticos.
- Deterministas

Clasificación de los efectos producidos por la radiación

Efectos deterministas.

- Significa la muerte de un número sustancial de células.
- Existe una **dosis umbral** de radiación.
- Por debajo de la dosis umbral el número de células afectadas es insignificante para que se ponga de manifiesto algún efecto.
- El número de células afectadas es directamente proporcional con la dosis recibida.
- Los efectos deterministas ocurren tras exposición a dosis relativamente altas de radiación, y su aparición suele ser inmediata o tras un corto periodo desde la irradiación.

Clasificación de los efectos producidos por la radiación

Efectos deterministas.

Tabla 3. Resumen de las consecuencias, dosis y causas de los principales efectos deterministas (radiación de baja LET y exposición aguda)

Tejido	Efecto	Periodo de latencia aproximado	Umbral aproximado (Gy)	Dosis que producen efectos severos	Causa
Sistema hematopoyético	Infecciones Hemorragias	2 semanas	0,5	2,0	Leucopenia Plaquetopenia
Sistema Inmune	Inmunosupresión	Algunas horas	0,1	1,0	Linfopenia
Sistema gastrointestinal	Infección sistémica Deshidratación Desnutrición	1 semana	2,0	5,0	Lesión del epitelio intestinal
Piel	Escamación	3 semanas	3,0	10,0	Daño en la capa basal
Testículo	Esterilidad	2 meses	0,2	3,0	Aspermia celular
Ovario	Esterilidad	< 1 mes	0,5	3,0	Muerte interfásica del oocito
Pulmón	Neumonía	3 meses	8,0	10,0	Fallos en la barrera alveolar
Cristalino	Cataratas	> 1 año	0,2	5,0	Fallos en la maduración
Tiroides	Deficiencias metabólicas	< 1 año	5,0	10,0	Hipotiroidismo
Sistema nervioso central	Encefalopatías y mielopatías	Muy variable según dosis	15,0	30,0	Demielinización y daño vascular

¿Qué periodos existe después de una irradiación global a un individuo?

Efectos deterministas.

- **Prodrómica:** es el tiempo (48 horas) en el que aparecen los signos y síntomas tras la irradiación a consecuencia de la reacción del sistema nervioso autónomo.
 - Nauseas, vómitos, diarreas, cefaleas, vértigo, alteraciones de los órganos de los sentidos, taquicardia, irritabilidad, insomnio, etc.
 - Puede durar desde algunos minutos, hasta varios días.
- **Latente:** Este periodo se caracteriza por la ausencia de síntomas y varía desde minutos hasta semanas, dependiendo de la dosis recibida.
- **Enfermedad manifiesta:** Se caracteriza porque aparecen los síntomas concretos de los órganos y tejidos más afectados por la radiación.

¿Cuáles son los tres síndromes post-irradiación?

Efectos deterministas.

1. **Síndrome de la médula ósea.** Se produce para exposición entre 3 y 5 Gy.
 - La **fase prodrómica** aparece a pocas horas con vómitos, náuseas y diarreas.
 - La **fase latente** puede aparecer después algunos días ó 3 semanas.
 - La **enfermedad manifiesta** aparece después 3^a semana, con leucopenia y trombopenia muy marcadas.
 - Si es expuesto a dosis bajas (<3 Gy) a partir de la 5^a semana se inicia la recuperación
 - Con dosis más altas pueden provocar la muerte en 30-60 días.

¿Cuáles son los tres síndromes post-irradiación?

Efectos deterministas.

2. **Síndrome gastrointestinal.** Se presenta a dosis entre 5 y 15 Gy.
 - La **fase prodrómica** se produce a pocas horas de la exposición y se caracteriza por náuseas, vómitos y diarreas muy intensas.
 - La **fase latente** dura desde el 2º al 5º día después de la irradiación.
 - En la **enfermedad manifiesta** vuelven a aparecer náuseas, vómitos y diarreas con fiebre.
 - La **muerte** se puede producir en 10-20 días tras la irradiación.
 - Por lesión del tracto gastrointestinal
 - Lesión de la médula ósea.
 - Pérdida de mucosa en el intestino delgado
 - Aparece hemorragias intestinales.

¿Cuáles son los tres síndromes post-irradiación?

Efectos deterministas.

3. **Síndrome del sistema nervioso central.** Se produce para dosis superiores a 15 Gy
 - La **fase prodrómica** aparece rápidamente y su duración es a veces de minutos
 - Hay náuseas, vómitos y síntomas psíquicos y neurológicos, quemazón en la piel.
 - La **fase latente** dura pocas horas (4-6 horas)
 - Después de la irradiación aparece síntomas neurológicos, convulsiones, ataxia, grados progresivos de coma.
 - La muerte aparece de 1-5 días después de la irradiación.
 - Edema cerebral, hemorragias, meningitis aséptica por afectación vascular principalmente.

Clasificación de los efectos producidos por la radiación

Efectos Estocásticos.

- Cuando la célula irradiada no muere pero sufre una modificación del ADN entonces se produce un efecto estocástico.
- Este efecto se produce para exposiciones a dosis o tasas de dosis bajas
- La gravedad de estos efectos depende de factores como:
 - Tipo de célula afectado
 - mecanismo de acción del agente agresor que interviene.
- No requiere de dosis umbral
 - Con una dosis muy baja exista una posibilidad muy pequeña de que la célula sea modificada.

Clasificación de los efectos producidos por la radiación

Efectos Estocásticos.

- **Efectos estocásticos hereditarios.**- Estos efectos se producen cuando la célula germinal es expuesta a radiaciones ionizantes.
 - Este efecto **NO** se pondrá de manifiesto en el individuo expuesto sino en su descendencia.
- **Efectos estocásticos somáticos.** Estos efectos se producen cuando la célula somática es expuesta a radiaciones ionizantes.
 - Este efecto se pondrá de manifiesto en el individuo que ha sido expuesto.
- Definiciones importantes usadas para efectos estocásticos:
 - Dosis baja.- son las inferiores a 0,2 Gy.
 - Tasa de dosis baja.- son las inferiores a 0,1 mGy/min.

Clasificación de los efectos producidos por la radiación

Efectos Estocásticos.

- Efectos estocásticos somáticos: Desarrollo de cáncer.
- En 1902 se describió el primer cáncer inducido por radiación el cual se caracterizó por un área ulcerada en la piel.
- En 1911 se descubrió la primera leucemia, Marie Curie y su hija se piensa que murieron por complicaciones de una leucemia inducida por la radiación.
- Hoy día se sabe que el efecto estocástico somático de mayor relevancia tras exposición a dosis bajas de radiación es el desarrollo de cáncer.

Efectos localizados

DOSIS (cGy)	ÓRGANO o TEJIDO	EFEECTO
10	FETO	TERATOGENESIS
15	TESTICULOS	ESTERILIDAD TEMPORAL
50	MEDULA OSEA	HEMATOPOYESIS
50	TODO EL CUERPO	VOMITO
50 - 200	CRISTALINO	OPACIDAD DETECTABLE
300	PIEL	DEPILACION, ERITEMA
250 - 600	OVARIO	ESTERILIDAD
350 - 600	TESTICULOS	ESTERILIDAD PERMANENTE
500	CRISTALINO	DISMINUCION VISUAL
1000	PULMON	NEUMONITIS
1000	TIROIDES	HIPOTIROIDISMO

• Fuente: Recommendations of the International Commission on Radiological, ICRP Publication 60

Efectos localizados

Efectos en la piel:

- Para dosis entre 20 a 30 Gy.
 - Parestesias
 - Trastornos de la sensibilidad
 - Dolor
 - Prurito
 - Sequedad de la piel
 - Desaparición de las líneas en las palmas de las manos
 - Distrofia moderada de las uñas de los dedos.
- Para dosis acumulada del orden de 40 Gy
 - Grietas dolorosas en la piel
 - Hiperqueratosis focal
 - Hiperemia congestiva.
- Para dosis acumuladas del orden de 50 Gy
 - Úlceras tardías
 - Carcinoma cutáneo por radiación.

Efectos localizados

Efectos en la región abdominal:

- Alteración de la motilidad intestinal
- Dosis entre 15 - 20 Gy produce daños a nivel del epitelio de intestino delgado.

Efectos en la región de los ojos:

- Dosis de 2 Gy produce opacidad del cristalino seguida de formación de cataratas.

Efectos en Tiroides:

- A bajas dosis se puede desarrollar enfermedad nodular y tener un riesgo sustancial de cáncer.
- Se observan efectos como el hipotiroidismo.