

TEMA 6
RESPUESTA SISTÉMICA Y ORGÁNICA A LA RADIACIÓN:
RADIOLESIONES
Miguel Alcaraz Baños

Objetivos generales

1. Explicar el significado de efecto determinista y no determinista de la radiación.
2. Describir los efectos deterministas somáticos y genéticos.
3. Definir la latencia en los efectos radioinducidos.
4. Relacionar la dosis de radiación con los efectos deterministas y no deterministas.
5. Establecer la diferencia entre efectos inmediatos y tardíos, reversibles e irreversibles.
6. Analizar la radiosensibilidad de los siguientes órganos y sistemas: hematopoyético, piel, digestivo, reproductor, ojo, huesos, respiratorio, urinario y nervioso central.
7. Describir las etapas que se producen como consecuencia de una irradiación total aguda y la secuencia de los diferentes síndromes
8. Enumera los efectos más importantes de la radiación en las distintas etapas de la gestación.
9. Analizar los efectos tardíos de la radiación en función de la dosis, y su importancia en las exposiciones ocupacionales
10. Distinguir entre efectos somáticos y genéticos y enumerar los más importantes.
11. Discutir la problemática de la radiación ionizante y la gestación.

TEMA 6

INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA VIVA: RADIOLESIONES.

Miguel Alcaraz Baños

6.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR LA RADIACIÓN.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (**ICPR**) clasifica los efectos producidos por la radiación en Efectos **Deterministas** y Efectos **No Deterministas** según sean las características de las lesiones producidas por la radiación ionizante (Fig.6.1):

1.- Efectos DETERMINISTAS: los efectos o lesiones deterministas se caracterizan porque su gravedad depende de la dosis de radiación absorbida. Existe una dosis umbral por debajo de la cual no se produce el efecto o las lesiones, o si éstos se producen serán de escasa gravedad. Cuanto mayor sea la dosis de radiación recibida más grave será la lesión producida. Los efectos deterministas nunca son hereditarios, son siempre efectos somáticos, aunque pueden afectar a las poblaciones de células germinales (ej. la irradiación de gónadas conduce a esterilidad, permanente o temporal, tanto en el hombre como en la mujer).

2.- Efectos NO DETERMINISTAS: los efectos no deterministas, por el contrario, se caracterizan porque la probabilidad de que se manifieste el efecto, pero no su gravedad, depende de la dosis de radiación recibida. Estos efectos se relacionan con la aparición de mutaciones tanto en células somáticas como en germinales. Así pues, habrá efectos estocásticos o No deterministas debidos a mutaciones en células somáticas (ej. cáncer); y efectos estocásticos o No deterministas genéticos por mutaciones en células germinales (ej. malformaciones fetales). La gravedad de los efectos No deterministas, una vez se manifiestan, es independiente de la dosis de radiación recibida, y los efectos serán igual de graves si se han recibido dosis altas o bajas. Sin embargo, la probabilidad de que aparezcan en las poblaciones irradiadas será mayor cuanto mayor sea la dosis de radiación recibida.

Para estos efectos no existe dosis umbral, es decir, dosis por debajo de la cual no se produzca dicho efecto, situación muy importante para los trabajadores profesionalmente expuestos a radiación ionizante, porque pone de manifiesto la imposibilidad de poder eliminarlos completamente (Fig.6.1).

EFECTOS DETERMINISTAS	EFECTOS NO DETERMINISTAS
<ul style="list-style-type: none">• CON dosis umbral• La gravedad depende de la dosis• Lesiones orgánicas <p>Antes llamados: No Estocásticos No Probabilísticos</p>	<ul style="list-style-type: none">• SIN dosis umbral• SON SIEMPRE GRAVES• Cáncer/hereditarios <p>Antes llamados: Estocásticos Probabilísticos</p>

Fig.6.1. Lesiones producidas por radiación ionizante.

6.2. EFECTOS DETERMINISTAS

6.2.1- RESPUESTA ORGÁNICA A LA RADIACIÓN.

La respuesta orgánica a la radiación incluye la respuesta tanto de los distintos órganos irradiados de forma aislada, como de la totalidad del organismo expuesto a la radiación. La respuesta a la radiación de un sistema u órgano se define como los cambios morfológicos y/o funcionales, visibles o detectables, producidos por una dosis determinada en un cierto intervalo de tiempo.

La respuesta de un órgano a la radiación se produce en dos fases (Fig.6.2.):

1ª.- Tras la exposición a la radiación se produce un intervalo de tiempo libre de síntomas clínicos y que se denomina **Latencia**.

2ª.- Posteriormente se produce una **fase subaguda** o de cambios iniciales, resultado de lesiones celulares. En función de la dosis pueden ser reversibles o no. Se manifiestan en los primeros días o semanas después de la irradiación. Como ejemplo, se citan los edemas e inflamaciones de las zonas irradiadas.

3ª.- Más tarde se produce una **fase crónica** o de cambios tardíos, consecuencia de cambios iniciales irreversibles que perduran o se cronifican. Se manifiestan meses después de la irradiación. Es el caso, por ejemplo, de las fibrosis y ulceraciones de las zonas irradiadas.

El daño producido por las radiaciones puede ser eliminado bien por regeneración, en el cual se sustituyen las células dañadas por otras del mismo tipo; por reparación en el cual se sustituyen las células dañadas por otras de distinto tipo. La regeneración produce la restitución total o parcial de las funciones anteriores a la irradiación no mostrando el órgano cambios tardíos. La reparación actúa contra los efectos irreversibles con formación de una cicatriz (fibrosis). Este proceso no restaura el órgano y puede dar lugar a alteraciones funcionales crónicas.

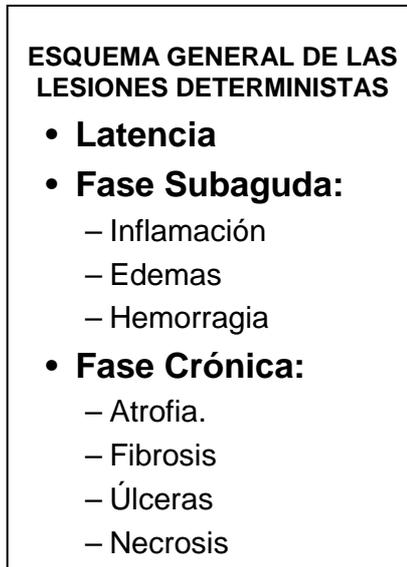


Fig.6.2. Esquema general de las lesiones Deterministas.

A continuación se describen los sistemas y órganos más importantes y el efecto que la radiación, si las dosis son suficientemente elevadas, puede llegar a producir en ellos:

1.- Médula Ósea: en ella se encuentran las células madre precursoras de la hematopoyesis, que son células autorrenovables y totipotenciales. Estas células darán origen a otras líneas celulares que progresivamente se irán diferenciando hacia cualquier línea linfohematopoyética de la sangre periférica. Las células madre forman otros precursores comprometidos (cada vez más diferenciados) que dan origen a las distintas células funcionales que son transportadas hacia el torrente sanguíneo (hematíes, plaquetas y linfocitos).

Dado que cumplen todos los requisitos de radiodensibilidad celular enunciados por Bergonié y Tribondeau, dosis relativamente pequeñas de radiación ionizante pueden provocar la “depopulación” o despoblación de las células que constituyen la médula ósea. La elevada susceptibilidad a la radiación de las células madre y precursores comprometidos es la causa del denominado “síndrome hematopoyético de la radiación”. La parada proliferativa de estas células conduce a un bloqueo de la hematopoyesis. Así, conforme las células sanguíneas tengan que ser renovadas, la médula ósea no podrá compensarlas y dará lugar a una caída en el número de células

circulantes: disminución de hematíes (anemia), disminución de plaquetas (trombocitopenia) y disminución de leucocitos (leucopenia).

Dada la elevada radiosensibilidad de los precursores hematopoyéticos, dosis moderadas de 0,5 Gy provocan una disminución de la proliferación de las células madre y precursores comprometidos, lo que origina un descenso del número de células funcionales de la sangre poco tiempo después.

- La pérdida de leucocitos conduce a una disminución o falta de resistencia frente a procesos infecciosos, que fácilmente producen sepsis generalizadas.
- La disminución del número de plaquetas favorece la aparición de hemorragias múltiples e incoercibles que, sumado a la falta de producción de eritrocitos, provoca anemias intensas.
- La disminución de los linfocitos, las células más radiosensibles del organismo, se aprecia con dosis del orden de 0,1 Gy; pero a estas dosis casi no se observan efectos sobre las demás células sanguíneas. Los linfocitos (en especial ciertas poblaciones de linfocitos B) son especialmente susceptibles a la radiación. A diferencia de aquellas células que mueren por fallos en su replicación, estas células sufren muerte por apoptosis con dosis bajas en unos pocos minutos después de la exposición. Esta elevada susceptibilidad de las células B a la radiación es causa de que la respuesta inmunitaria humoral sea más radiosensible que la inmunidad celular.

2.-• Sistema respiratorio.

Si seguimos el esquema general propuesto en la Fig.6.2, tras una latencia o período libre de síntomas clínicos, comienzan los cambios subagudos o iniciales, si las dosis son suficientemente elevadas. Al irradiarse el pulmón, los primeros signos de la lesión consisten en la aparición de una inflamación del tejido irradiado y la extravasación de contenido vascular, que es el origen de un edema de la zona irradiada y de la aparición de un infiltrado de polimorfonucleares. A todo este cuadro se le denomina pneumonitis (inflamación del pulmón) postirradiación (de origen radioinducido).

A partir de este momento, si la dosis de radiación no han sido excesivamente elevadas, el tejido pulmonar volverá a establecer su indemnidad, incluso sin dejar ningún tipo de secuela o cicatriz. Por el contrario, si la dosis es más elevada, esta inflamación se cronifica y perdurará en el tiempo activando a los macrófagos y a los fibrocitos así como la secreción de matriz conjuntiva que producirá la fibrosis de la zona irradiada, como un intento de eliminar la inflamación de origen radioinducido.

Esta cicatrización por fibrosis de las zonas irradiadas culminará hacia los 12 a 18 meses postirradiación, en donde todo el parénquima funcionante inflamado será sustituido por tejido fibrótico cicatricial. La consecuencia será la pérdida de la función en esa zona fibrosada. Si el volumen irradiado es pequeño, el resto del parénquima podrá compensar la pérdida de función de la zona dañada. Si el volumen irradiado es muy grande, la pérdida de función no podrá ser compensada y se producirá una insuficiencia funcional que, en ocasiones, conllevará la muerte del individuo, en este caso, por insuficiencia respiratoria.

3.- Piel.

La epidermis consta de una capa basal de células inmaduras que están en continua división y células maduras que al ir evolucionando hacia capas más externas mueren y se van descamando. La capa basal cumple todos los requisitos expuestos por Bergonie y Tribondeau, y por ello es la capa más radiosensible de la piel. Las lesiones en la piel se denominan Radiodermatitis y se clasifican en tres grados según su intensidad, de forma similar a la clasificación de las lesiones producidas por quemaduras o congelaciones.

Los cambios iniciales que se observan en la piel tras la recepción de dosis moderadas y altas son: Inflamación, eritema y descamación, ya sea seca o húmeda. Los folículos pilosos son radiosensibles provocando alopecia temporal a dosis moderadas, o alopecia permanente a dosis más elevadas. Las lesiones crónicas sobre la piel se ponen de manifiesto como fibrosis, pigmentación, telangiectasias, hiperqueratosis folicular y necrosis.

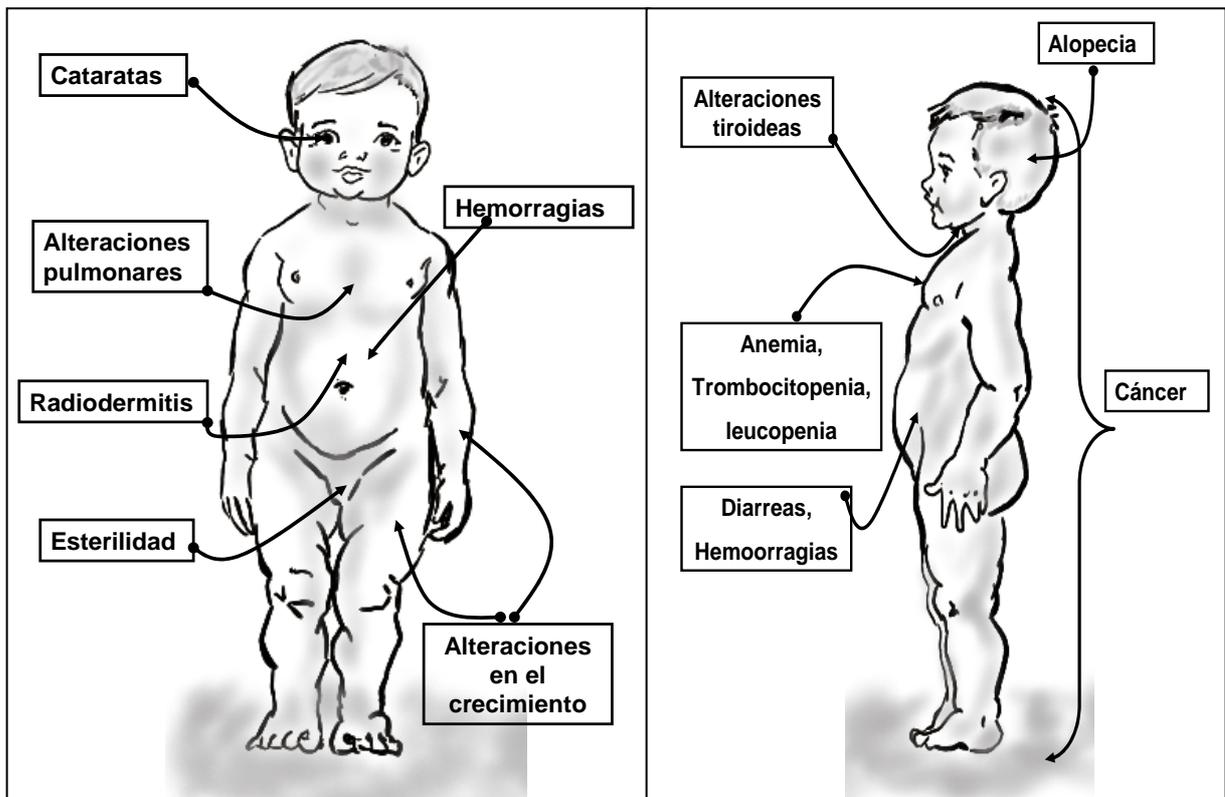


Fig.6.3. Lesiones Deterministas producidas por radiación ionizante

4.- Aparato Digestivo

El intestino delgado es la parte más radiosensible del tubo digestivo, ya que presenta un conjunto de células indiferenciadas en continua división que van reemplazando a las células que se descaman de la superficie de las microvellosidades intestinales. Dosis moderadas de radiación pueden provocar la destrucción de las células de la capa basal de la mucosa que se encuentran en continua actividad mitótica. Se produce una disminución de la capacidad de absorción de materiales a lo largo de la pared intestinal, originando deshidratación y pérdida de electrolitos por el paso de fluidos hacia la luz intestinal. Pueden producirse infecciones sistémicas provocadas por el paso de las bacterias que habitan normalmente en el tracto gastrointestinal hacia el torrente sanguíneo. La exposición a dosis altas ocasiona secuelas más graves, que generarán hemorragias multicéntricas, con diarreas profusas, alteraciones del pH sanguíneo y alteraciones hidroelectrolíticas graves.

5.- Sistema reproductivo masculino

La parte más radiosensible del sistema reproductor masculino es el testículo y, dentro de él, las espermatogónias (células precursoras de los espermatozoides), ya que cumplen los requisitos expresados en la Ley básica de radiosensibilidad celular.

El efecto primario de la radiación sobre el testículo es el descenso en el número de espermatogónias, que origina una disminución posterior del número de espermatozoides. Se produce un cierto período de fertilidad temporal, seguida de una fase de esterilidad, más o menos duradera dependiendo de la dosis recibida. El umbral para la inducción de esterilidad temporal es de 0,2 Gy; pero con dosis de 3 a 6 Gy se produce la esterilización irreversible y permanente. El resto de las células del intersticio glandular son más resistentes a la radiación, por lo que estos cuadros de esterilidad no se acompañan de las alteraciones producidas por insuficiencia en la secreción de hormonas masculinas, y se mantienen intactos los caracteres sexuales secundarios.

6.- Sistema reproductor femenino.

Las células más radiosensibles de este órgano son los óvulos. La radiosensibilidad de los óvulos depende del estadio en el cual se encuentre el folículo. La sensibilidad de los folículos dependerá de su estado de maduración. Pero, en general, todo el ovario presenta una elevada sensibilidad a la radiación, incluso mayor que la descrita para el testículo en el varón. Las dosis necesarias para producir la esterilización transitoria se sitúa sobre los 2 a 2'5 Gy, y para la esterilidad permanente entre 4 a 6 Gy. En la mujer, la destrucción ovárica conlleva un cuadro de privación hormonal, que provoca una menopausia precoz en las mujeres irradiadas.

Pero, además, la irradiación de los órganos reproductores masculino y/o femenino puede provocar, además, alteraciones genéticas que se mostrarán como lesiones hereditarias en la descendencia.

7.- Ojo.

El cristalino contiene una población celular de división activa que puede ser lesionada por la radiación ionizante. Estas células lesionadas van a convertirse en núcleos de opacificación que con el paso de los años ocasionarán la opacidad completa del cristalino: catarata. La catarata se asume como una lesión característica de los profesionales expuestos a dosis bajas de radiación, y por ello se considera característica de los profesionales que trabajan en radiodiagnóstico. Experimentalmente, dosis de 2 Gy producen cataratas en algunos individuos, aumentando la incidencia al 100% cuando la dosis es de 7 Gy.

8.- Sistema cardiovascular

Este sistema está formado por la red de vasos sanguíneos y el corazón. Los vasos sanguíneos contribuyen a las radiolesiones, tanto en órganos radiosensibles como radiorresistentes, ya que su lesión compromete el aporte sanguíneo a los diferentes órganos y tejidos.

Las alteraciones de los vasos sanguíneos se manifiestan en forma de efectos tardíos, tales como hemorragias petequiales, telangiectasias (dilatación de capilares terminales), y esclerosis de los vasos (fibrosis). En casos más graves puede producirse la rotura de la pared del vaso, y/o alteraciones que generen cuadros de trombosis y/o embolias.

9.- Huesos y cartílagos.

El tejido óseo maduro se considera resistente a la radiación. Sin embargo, los huesos y cartílagos en crecimiento son moderadamente radiosensibles, las dosis moderadas de radiación producen en el tejido óseo un retraso mitótico y la muerte de las células inmaduras que proliferan. Las dosis altas conducen a una inhibición permanente de la mitosis y la destrucción de las células en proliferación, circunstancia que puede conllevar, en niños y jóvenes, a la detención del crecimiento óseo.

10.- Sistema urinario.

Los riñones tienen una sensibilidad similar a los pulmones y, como en éstos, el cuadro de lesiones inducidas por la radiación es consecuencia de lesiones vasculares: la glomerulonefritis membranosa. Los cambios tardíos, atrofia y fibrosis renal, son secundarios a lesiones vasculares y terminarán generando hipertensión y fallos funcionales.

11.- Glándula Tiroides.

Tradicionalmente la glándula tiroides se ha considerado como un tejido resistente a la radiación ionizante. Sin embargo, durante los últimos años esta apreciación está modificándose radicalmente.

Dosis moderadas de radiación pueden ocasionar una "esterilización" de las células foliculares que, con el paso del tiempo, irán provocando una disminución del número de células funcionantes y la aparición clínica de cuadros de hipofunción tiroidea (hipotiroidismo). Dosis de 7'5 Gy producen alteraciones funcionales tiroideas en un 50% de los pacientes tratados durante los primeros años tras la irradiación.

De igual forma, se ha descrito la mayor incidencia de cáncer de tiroides en aquellos niños con hipertrofia e hiperplasia de timo, tratados con radiación ionizante.

En estos momentos, la glándula tiroides es uno de los órganos diana que necesitan de una mayor atención desde el punto de vista de la protección radiológica, tanto para el trabajador profesionalmente expuesto como para los pacientes irradiados en procedimientos de radiodiagnóstico.

6.2.2. RESPUESTA ORGÁNICA DEL EMBRIÓN Y EL FETO.

La exposición a la radiación ionizante de la mujer en edad de procrear, de la mujer embarazada y del embrión y el feto, tiene actualmente una extraordinaria importancia en radiodiagnóstico médico, determinándose la eliminación completa de cualquier tipo de exposición innecesaria en estos períodos ante los posibles efectos biológicos que las dosis de radiación absorbidas puedan conllevar en el desarrollo de la gestación.

Desde que el matrimonio Müller en 1959 definió tres etapas diferentes en el desarrollo embrionario, a cada una de las etapas parece corresponder un diferente tipo de respuesta frente a la radiación ionizante (Fig. 6.4):

A.- Etapa de preimplantación: sólo dura unos días, desde la fecundación del óvulo en la Trompa de Falopio hasta su implantación en el cuerpo del útero. En este periodo, el huevo está formado por una pequeña cantidad de células muy indiferenciadas y totipotenciales. Si la irradiación provoca una lesión celular que puede ser compensada por las células supervivientes, el embrión llegará a término sin ninguna alteración sobre el recién nacido. Por el contrario, si las células supervivientes no compensan el daño producido por la radiación, el desarrollo del embrión es inviable y se produce la muerte del huevo o mórula formada, es decir el aborto. Todo ello se simplifica en la denominada “**Ley del todo o nada**”, o se produce la muerte del embrión o nacerá un niño completamente normal.

B.- Etapa de organogénesis: constituye la etapa en la cual se va a formar la mayor parte de los órganos en el embrión, y suele comprender desde la implantación del huevo en el útero, hasta las 12 a 15 semanas de gestación. En esta etapa, la lesión que puede ocasionar la radiación ionizante dependerá de la dosis de radiación y del **momento** en el que se produzca la exposición a la radiación ionizante.

Se ha establecido, tanto para los diferentes animales de experimentación como para la especie humana, un calendario en el que se detallan los días/semanas en los que se formarán los diferentes órganos del nuevo ser. El efecto de la radiación dependerá del momento en el que ese embrión se expone a radiación ionizante, ya que se lesionarán las células que están con mayor actividad mitótica, es decir, las que están formando los órganos en ese momento. Así, si la irradiación ocurre con dosis suficientemente elevadas, entre la 11^a - 12^a semana, las lesiones más frecuentemente esperadas son las del tejido musculoesquelético que forman las extremidades superior e inferior. Si la irradiación se produce en la 20^a semana las lesiones esperadas afectarían al sistema nervioso central, mientras que no se esperan lesiones musculoesqueléticas periféricas como en el caso anterior. Todo ello por ser los órganos en formación en ese momento.

Sin embargo, estas lesiones no son tampoco específicas, ya que numerosos agentes químicos (talidomida) o biológicos (rubeola, toxoplasmosis) pueden producir lesiones similares, en función del momento en que entren en contacto el agente tóxico con el embrión.

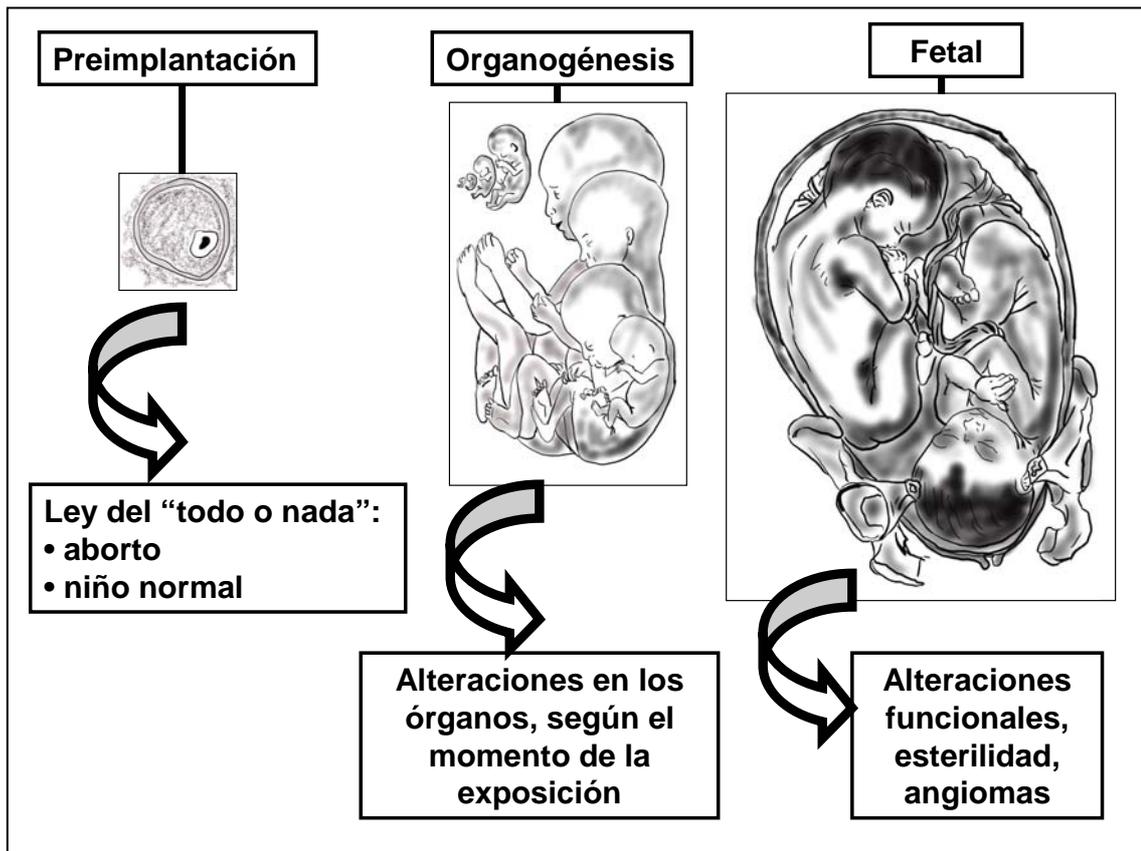


Fig.6.4 Cronología del embarazo y su relación con el efecto inducido por la radiación.

C.- Etapa fetal: corresponde al periodo comprendido entre la finalización de la organogénesis hasta el nacimiento. En esta etapa son característicos los fenómenos de maduración de los diferentes procesos funcionales, y por ello su resistencia a la radiación es mayor que la presentada en los estadios anteriores.

Una exposición a dosis altas de radiación puede producir alteraciones funcionales, entre las que se describen la esterilidad masculina y femenina, la idiocia y la oligofrenia. También se ha relacionado con un incremento de angiomas cutáneos en los niños irradiados intraútero.

Cabe destacar que durante los primeros años de vida, en los niños irradiados dentro del útero materno, se ha descrito un aumento en la frecuencia de aparición de algunos tipos de cánceres (leucemias y carcinoma de tiroides).

Resulta necesario conocer que las lesiones mencionadas no ocurren con dosis inferiores a los 15 rads, según expresan los autores más conservadores; ni con menos de 50 rads para la mayoría de los autores. En general, son lesiones que precisan, para su producción, de dosis relativamente elevadas. Sin embargo, su conocimiento impone extremar el cuidado, desde el punto de vista del radiodiagnóstico, con la mujer embarazada y con el feto. El cuidado especial a que nos referimos implica la ausencia de exposición innecesaria y el máximo cuidado en la radioprotección (incluso de la radiación dispersa) cuando se realice en estas situaciones, cualquier tipo de exposición en la que se utilicen radiaciones ionizantes. Actualmente, ante la sospecha de un posible embarazo es necesario realizar el correspondiente test de embarazo para eliminar cualquier tipo de exposición innecesaria a radiación ionizante.

6.2. EFECTOS NO DETERMINISTAS

Durante muchos años estos efectos No Deterministas no se habían considerado demasiado importantes. En estos momentos han recobrado un enorme interés, ya que por las características lesionales que se le conocen, no pueden ser eliminados completamente.

Las lesiones que se engloban dentro de estos efectos No Deterministas corresponden fundamentalmente a las producidas por las mutaciones radioinducidas y que se pueden sintetizar en dos tipos de lesiones de interés clínico: el cáncer radioinducido y las alteraciones hereditarias en la descendencia.

A pesar de todos los esfuerzos realizados durante más de 50 años de investigación, sólo se conocen 4 características de este tipo de lesiones, todas ellas relacionadas con las mutaciones radioinducidas que producen :

1. Las lesiones No deterministas, **No son patognomónicas, ni específicas ni características**, ni exclusivas de las radiaciones ionizantes. Lo que se observa en las poblaciones irradiadas es un **aumento en la frecuencia de aparición** de aquellas lesiones (mutaciones) que aparecen espontáneamente en una población en general. Es decir, aunque no hay nada “diferente” producido por la radiación ionizante, el número de lesiones es mayor en las poblaciones irradiadas que en la población normal.
2. Las lesiones NO Deterministas, **No tienen dosis umbral** por debajo de la cual se puede conseguir la ausencia de mutaciones radioinducidas. Sería posible que un solo impacto, en el lugar inadecuado provoque una lesión. Si esta lesión no se regenera adecuadamente, podría derivarse una mutación radioinducida. Lo cual implica la imposibilidad de conseguir eliminarlas competamente.
3. Su frecuencia de aparición aumenta con las dosis de radiación absorbida, comportándose como si el efecto de las dosis en las poblaciones irradiadas fuera **acumulativa**. Cuanto más se irradia una población mayor es el número en exceso de lesiones que se producen dentro de esa población.
4. Se transmiten genéticamente con un **carácter recesivo**, para su manifestación en la descendencia tienen que coincidir ambos alelos mutados en el mismo individuo, en este caso deberían coincidir lesionados el mismo gen tanto del padre como de la madre. Así pueden explicarse el hecho de que estas lesiones podrían permanecer ocultas durante generaciones, provocando un deterioro genético en la descendencia, que sería inapreciable fenotípicamente durante algunas generaciones.

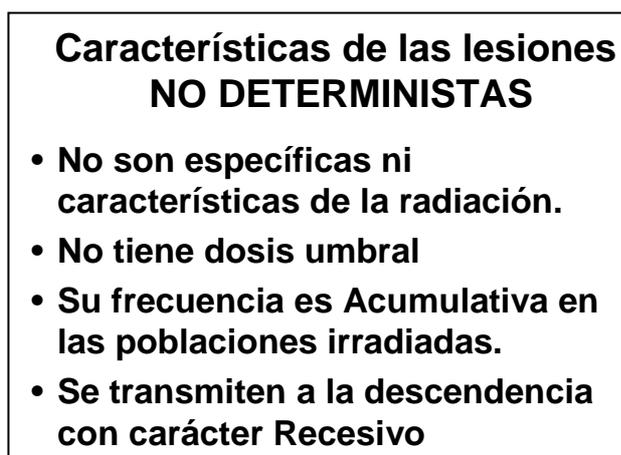


Fig.6.5. Características de las lesiones NO Deterministas.

6.3.1. Carcinogénesis.

Aunque la etiología del cáncer y los procesos de carcinogénesis no están suficientemente establecidos, la radiación ionizante se ha relacionado con numerosos tipos diferentes de neoplasias: leucemias, osteosarcomas, carcinomas de pulmón o de piel, etc.

El estudio de poblaciones expuestas a radiaciones ionizantes descubre su estrecha relación con la inducción del cáncer:

- Mineros de uranio y el cáncer de pulmón.
- Profesionales expuestos a radiación ionizante y cáncer de piel (mano del radiólogo).
- Trabajadores con pintura fluorescente y osteosarcoma del maxilar inferior.
- Aumento de la frecuencia de aparición en la población irradiada de Hiroshima y Nagashaki.
- Niños tratados por hipertrofia de timo y cáncer de tiroides.

Así pues, con todos los mecanismos descritos se acepta que la exposición a la radiación ionizante con las dosis empleadas en el radiodiagnóstico pueden producir cancer radioinducido; sin embargo, para los que trabajamos profesionalmente con radiaciones ionizantes resulta fundamental conocer "cuanto" cancer radioinducido puede llegar a producirse en estas condiciones. La ICRP, en sus conclusiones de 1990, estima que la incidencia del cáncer radioinducido es de 13 casos cada 10.000 personas, al año y por cada 100 rads de radiación absorbidos, mientras que la incidencia de muerte por esta causa es de 6,3 casos/10.000 personas/año/100 rads.

Los valores estimados por la ICRP representan una incidencia relativamente baja en relación a otros factores lesivos y carcinogénicos a los que se enfrenta el ser humano en su actividad habitual. Si se aplican los criterios de mortalidad por cáncer radioinducido a la realización de mamografías (como exposición diagnóstica), el riesgo de producir una muerte por cáncer radioinducido entre 6 millones de mujeres al año, resulta equivalente al riesgo de morir durante un trayecto de 45 km. en avión; 6 Km. en coche; fumar de 1 a 8 cigarrillos diarios; o vivir 3 minutos a partir de los 60 años.

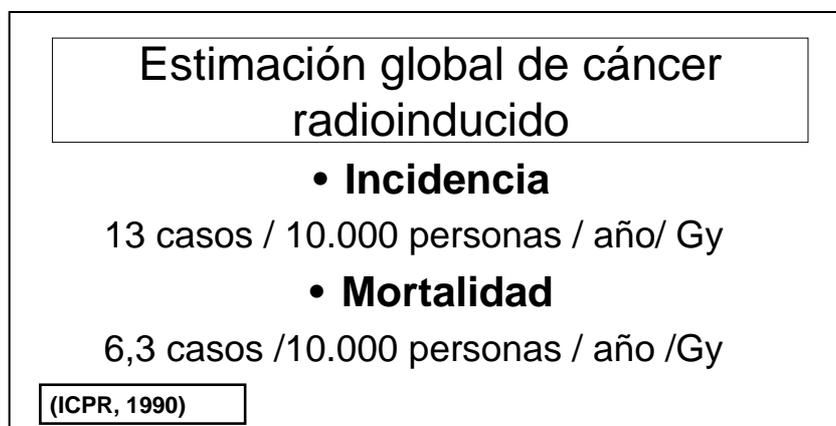


Fig.6.6. Estimación global de cáncer radioinducido.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

ALCARAZ BAÑOS, M. (2002).- **Bases físicas y biológicas del radiodiagnóstico médico**. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Murcia, Murcia, (pp. 21-36).

ALCARAZ BAÑOS, M., y Genovés García, J. L. (1996).- **Protección Radiológica en Radiodiagnóstico**.. Editorial: Diego Marín (ICE-Universidad de Murcia), Colección Texto-Guía), Barcelona

ALCARAZ, M.; ROSA, B; NAVARRO, J.L.; DATO, M.J, ACEVEDO, C. and CANTERAS, M (2001).- **Cytokinesis block micronucleus in human lymphocytes effect of low dose radiation in vascular radiology**. En : INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE RADIOLOGICAL PROTECTION OF PATIENTS, International Atomic Energy Agency, Viena,pp.:. 803-805

ALCARAZ, M. (2000).-: Effect of radiation on thyroid peroxidase activity in rabbit. Annual Meeting RADIATION RESEARCH 2000 and Grantholders Meeting of Committee on Cancer Research, 10-12 April 2000, University West England, Bristol, Reino Unido, pp.1.1

GÓMEZ-MORAGA, A.; ALCARAZ, M.; TOBARRA, B.; CANTERAS, M. y GENOVÉS, J.L. (1996).- Inducción de micronúcleos en linfocitos humanos irradiados". **Radioprotección, 13 (4): 7-15.**

ALCARAZ, M.; GÓMEZ-MORAGA, A.; DATO, M. J.; NAVARRO, J. L. y CANTERAS, M. (2002).- Efecto genotóxico inducido por la exposición a rayos X durante exploraciones complejas de radiodiagnóstico médico, **Oncología 25 (3): 159-168.**

LATORRE TRAVIS, E. (1979).- **Radiobiología médica.** AC, Madrid (pp.92-162)

BELDA, J. A.; GENOVÉS, J. L.; ALCARAZ, M. y GÓMEZ-PEREZ, S (1994).- Microangiografía de la glándula tiroides del conejo y sus modificaciones por estímulos bociógenos. **Endocrinología, 41 (8): 236-239.**