



CURSO CONOCIMIENTOS ACTUALES EN RADIOBIOLOGÍA

TEMA 1 Aspectos radiobiológicos en el marco conceptual de la protección radiológica

M^a Teresa Macías

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Introducción

Interacción de la radiación con la materia

2. Base biológica de la protección radiológica

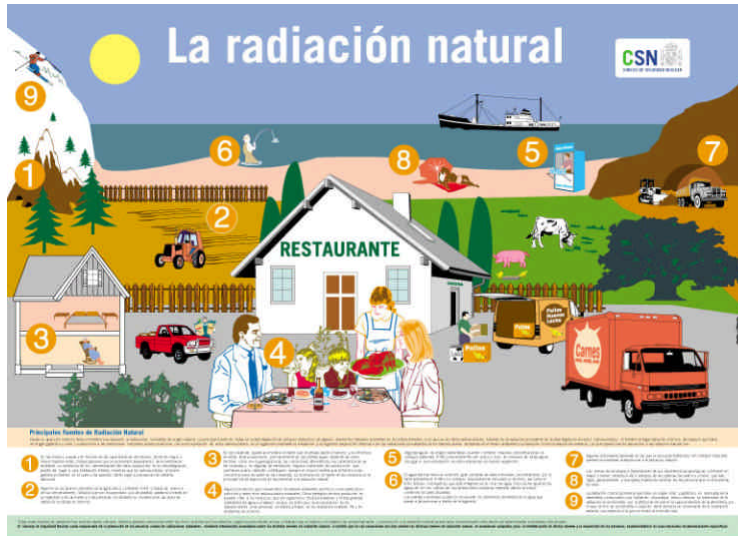
***Efectos biológicos de la radiación: clasificación
y características***

3. Marco conceptual de la protección radiológica

4. Sistema de protección radiológica

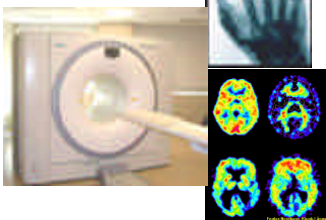
- **Justificación**
- **Optimización**
- **Sistema de limitación de dosis**

Se agradece el material cedido por la Dra. Almudena Real Gallego, CIEMAT, y el Dr. Leopoldo Arranz, HU Ramón y Cajal.

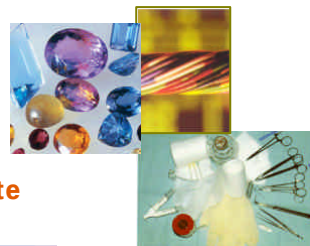


APLICACIONES BENEFICIOSAS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

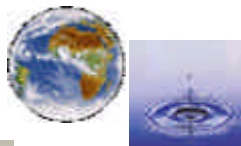
Medicina



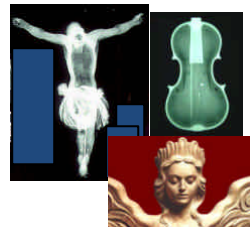
Industria



Medio ambiente



Conservación del patrimonio



Agroalimentación



Producción de energía



PRIMEROS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

- ▷ Las radiaciones ionizantes tienen muchas **aplicaciones beneficiosas**, pero pueden producir **efectos perjudiciales** para la salud de las personas y el medio ambiente.

Desde que se descubrieron los rayos

- ▷ X en **1895**, se observó que éstos podían producir efectos nocivos para la salud.
- ▷ A comienzos del siglo XX surge la necesidad de protegerse contra estos efectos no deseados y comienza el desarrollo de la **Protección Radiológica**



FINALIDAD DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Proporcionar un nivel adecuado de protección a los individuos, trabajadores o miembros del público, y del medio ambiente, de forma que no se vean expuestos a **riesgos** que la sociedad considere **inaceptables** sin limitar las **prácticas beneficiosas**



COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (ICRP)

Comité Internacional de Protección para los rayos X y el Radio", creado en 1928 bajo los auspicios del 2º Congreso Internacional de Radiología.

En 1950 este Comité fue reconstituido con el nombre actual:

Comisión Internacional de Protección Radiológica

ICPR: establece la filosofía de la Protección Radiológica, radiológica en base a los conocimientos científicos de los efectos biológicos.

Organización científica no gubernamental.

Recomendaciones de ICRP: recogen las conclusiones de la institución y se aplican en la mayoría de los países.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

¿Cuál es la base científica de las normas de protección radiológica?

El conocimiento de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los seres vivos.

RADIOBIOLOGÍA

RADIOBIOLOGÍA

Sistemas de estudio

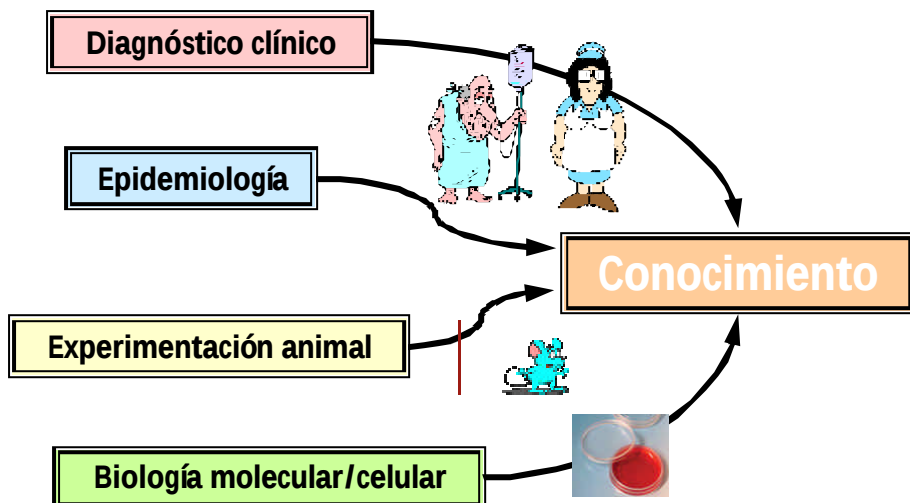
In vitro



In vivo

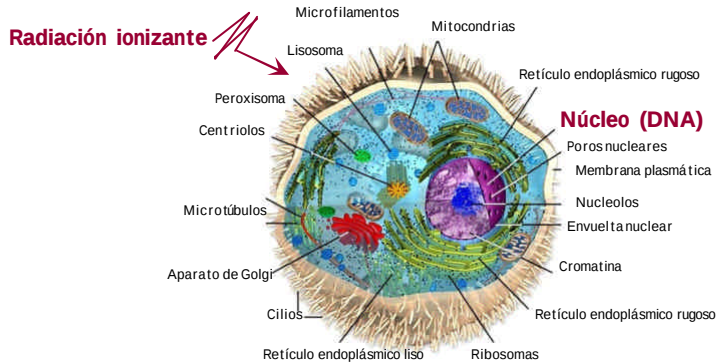


EXISTE MUCHA INFORMACIÓN SOBRE LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE



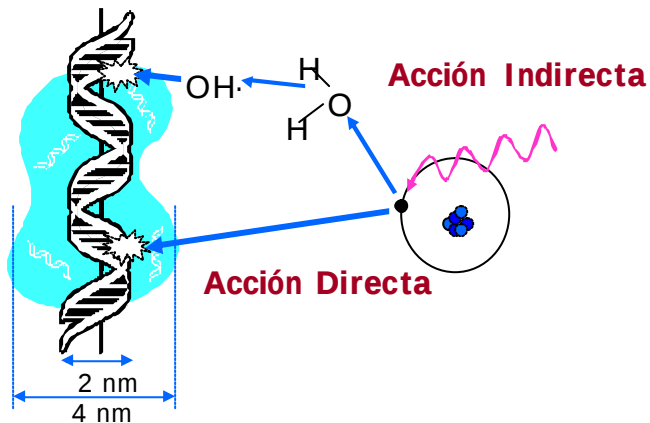
¿Qué ocurre cuando una célula se irradia?

- Los efectos biológicos de la radiación derivan del daño que éstas producen en la estructura química de las células: ADN.
- Inhibición de la división celular.
 - Alteraciones de la función celular.



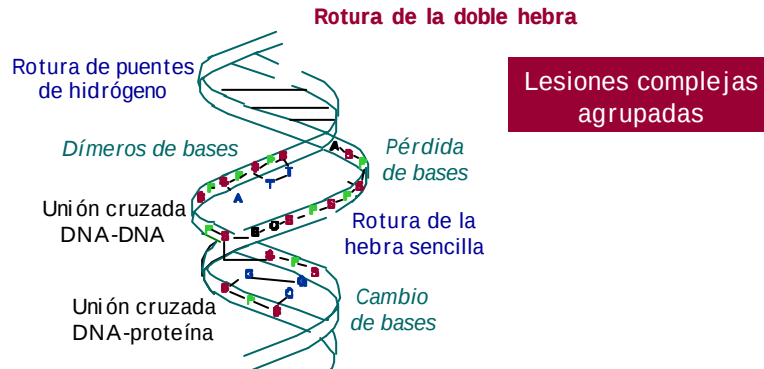
INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA

- La radiación puede dañar el ADN por **acción directa** o por **acción indirecta**.



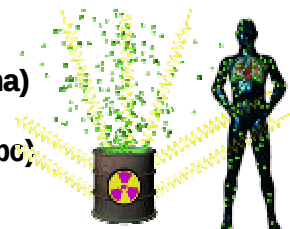
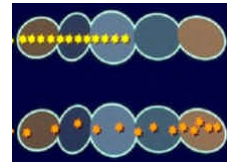
- Para rayos-X y rayos-gamma: 35% del daño es directo y 65% indirecto.

Las **lesiones** que la radiación ionizante puede inducir en el **ADN** son muy diversas: roturas, cambios en las bases, uniones cruzadas etc.



LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN DEPENDEN DE

- Total de energía absorbida (dosis)
- Tipo de exposición (Aguda o Crónica)
- Tipo de radiación
- Calidad de la radiación (LET)
- Tiempo desde la exposición
- Fuente de radiación (Externa o Interna)
- Zona irradiada (Parcial o todo el cuerpo)



LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN DEPENDEN DE...

VARIABLES BIOLÓGICAS

Características del tejido

Capacidad para compensar los daños causados

- edad
- salud
- sexo
- predisposición genética

Factores que modifican la respuesta celular a la radiación ionizante

➤ Factores físicos

- Calidad de la radiación
- Dosis y tasas de dosis

➤ Factores químicos

- Radiosensibilizadores
Oxígeno, pirimidinas halogenadas
- Radioprotectores
Sulfidrilos o sulfuros

➤ Factores biológicos

Ciclo celular

- Fases más radiosensibles: G₂ y M
- Fase más radiorresistente: S

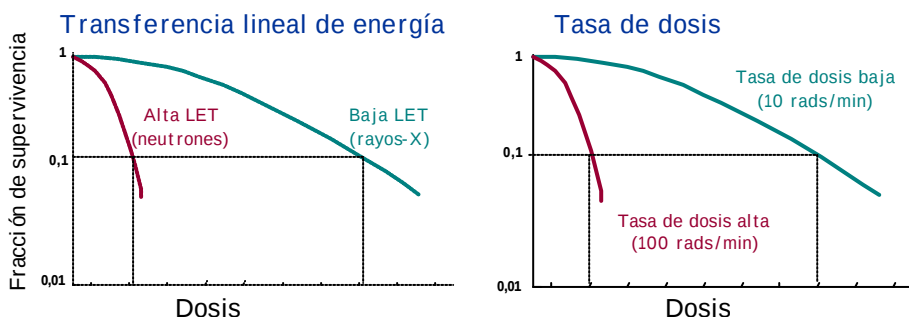
Mecanismos de reparación

➤ Factores ambientales

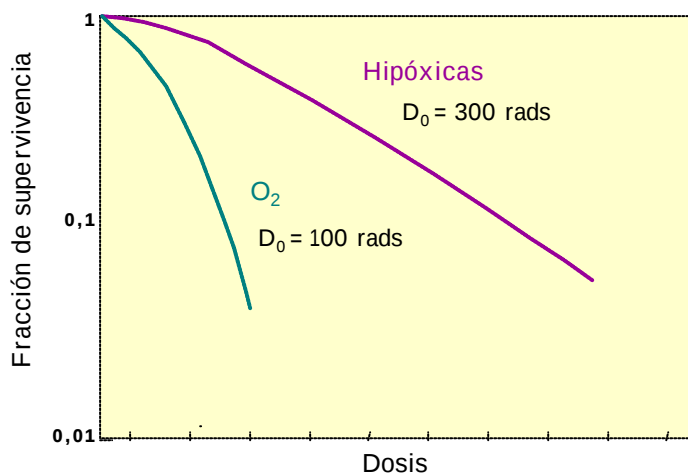
- Grado de hidratación de las células
- Temperatura

FACTORES FÍSICOS QUE MODIFICAN LA RESPUESTA CELULAR FRENTE A LA RADIACIÓN

- ☒ Factores físicos que influyen la respuesta celular a la radiación: dosis, tasa de dosis y transferencia lineal de energía (energía perdida por las partículas cargadas por unidad de distancia recorrida en un medio).



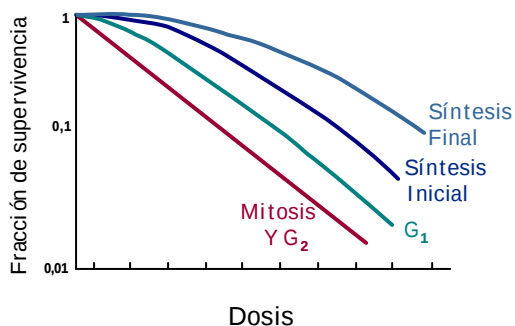
EFFECTO DEL OXÍGENO EN LA RESPUESTA BIOLÓGICA A LA RADIACIÓN



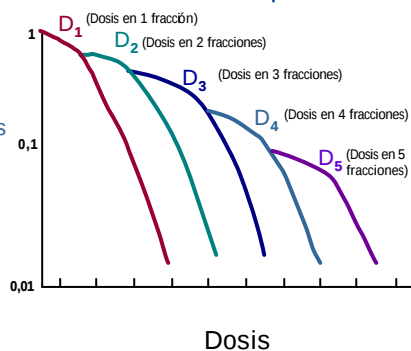
FACTORES BIOLÓGICOS QUE MODIFICAN LA RESPUESTA CELULAR FRENTE A LA RADIACIÓN

- Factores biológicos que influyen la respuesta celular a la radiación: mecanismos de reparación del daño en el DNA y etapa del ciclo de división en el que se encuentra la célula en el momento de la irradiación.

Etapa del ciclo de división celular



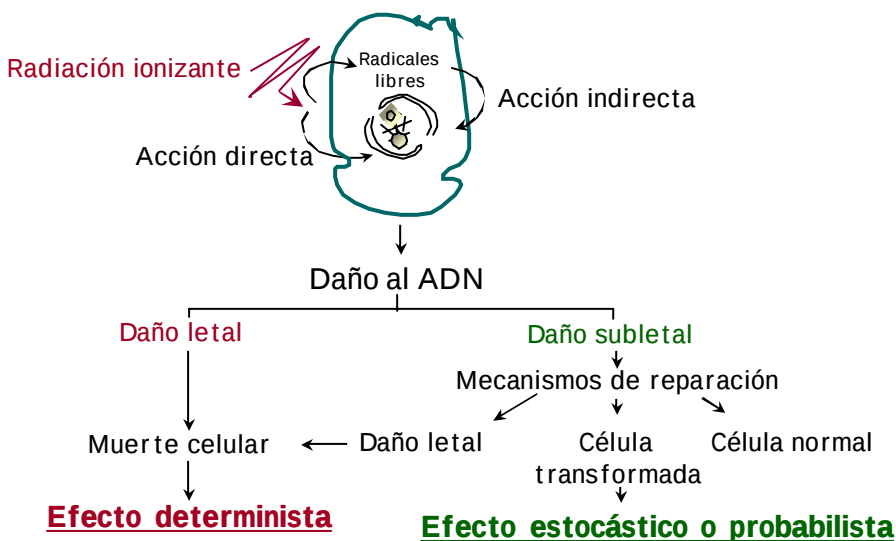
Mecanismos de reparación



EFFECTOS BIOLÓGICOS RADIOINDUCIDOS CLASIFICACIÓN

CRITERIO	EFFECTO
Transmisión	<i>Heredables</i> <i>Somáticos</i>
Naturaleza del daño	<i>Estocásticos</i> <i>Deterministas</i>

EFFECTOS BIOLÓGICOS CAUSADOS POR LA RADIACIÓN IONIZANTE



CARACTERÍSTICAS DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS INDUCIDOS POR RADIACIÓN

	Efectos deterministas	Efectos estocásticos
Mecanismo	Lesión letal muchas células	Lesión subletal una o pocas células
Naturaleza	Somáticos	Somáticos o heredables
Gravedad	Dependiente de dosis	Independiente de dosis
Dosis umbral	Si	No?
Relación dosis-efecto	Lineal	Lineal-cuadrática
Aparición	Inmediata o tardía	Tardía

EFFECTOS DETERMINISTAS

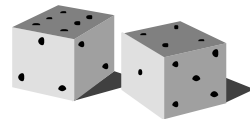
Se producen por la **muerte de un n° elevado de células** de un tejido/ órgano

- La gravedad del efecto aumenta con la dosis de radiación.
- Hay que superar una **dosis umbral** para que ocurra el efecto.

No hay efectos deterministas para dosis inferiores a 0,1 Gy

EFFECTOS ESTOCÁSTICOS

- Consecuencia de daño subletal (mutación) en una/pocas células.
- La **probabilidad** de que ocurran, pero no la gravedad, **aumenta con la dosis** recibida.
- No existe **dosis umbral** para estos efectos.
- Se producen tras exposición a **dosis moderadas-bajas**.
- Pueden ser de **naturaleza somática o hereditaria**.

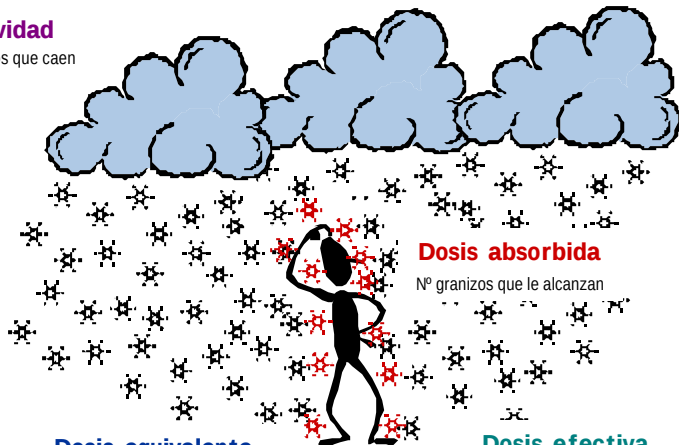


MAGNITUDES UTILIZADAS PARA CUANTIFICAR EFECTOS ESTOCÁSTICOS

- **Dosis absorbida:** Energía absorbida por unidad de masa.
Julio/kilogramo; **Gray (Gy)**.
- **Dosis equivalente:** Dosis absorbida ponderada por el factor de ponderación de la radiación.
Julio/kilogramo; **Sievert (Sv)**.
- **Dosis efectiva:** Dosis equivalente ponderada por el factor de ponderación de tejido.
Julio/kilogramo; **Sievert (Sv)**.

MAGNITUDES DOSIMÉTRICAS

Actividad
Nº granizos que caen



EFFECTOS DIFERENTES AL CÁNCER

➤ Epidemiología enfermedades cardiovasculares

No hay datos suficientes para establecer una relación causal entre dosis de radiación menores de 1-2 Gy y las enfermedades cardiovasculares.

Umbral 0,5 Gy
(21 abril 2011)

➤ Efectos en el sistema inmunológico

- **Dosis altas:** Efecto supresor del sistema inmunológico
- **Dosis bajas:** Resultados contradictorios (no efecto, estimulación, supresión).

EFFECTOS BIOLÓGICOS RADIOINDUCIDO NO CONVENCIONALES

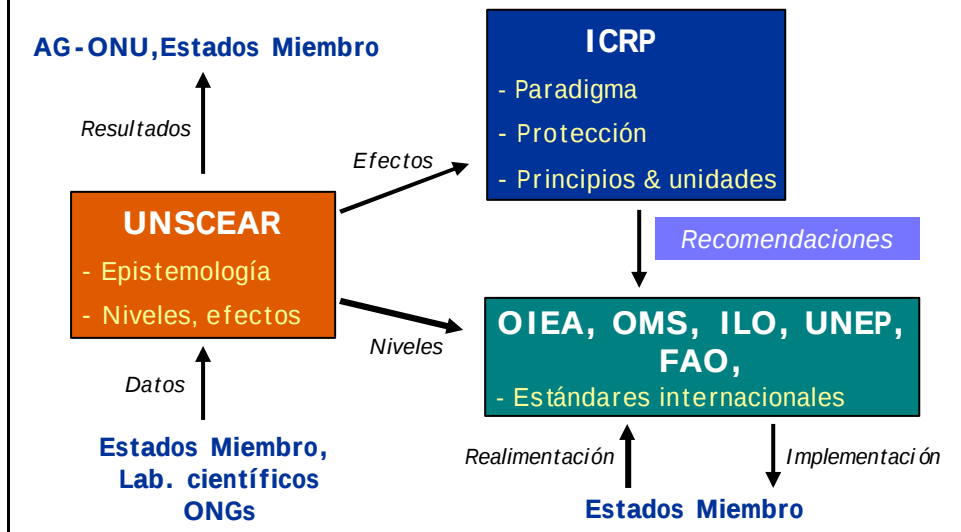
➤ Respuesta adaptativa

Dosis condicionante

➤ Efectos radioinducidos no dirigidos al DNA

- Inestabilidad genética
- Inducción de mutaciones por irradiación del citoplasma
- Efectos “bystander” (vecindad)

DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS A LAS NORMAS BÁSICAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA



PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Proteger a los individuos, a sus descendientes y a la humanidad en su conjunto, de los riesgos derivados de las actividades realizadas con equipos o fuentes de radiaciones ionizantes

Fundamento

- Riesgo razonablemente pequeño comparado con el beneficio
- Niveles de exposición tan bajos como sea posible
- En la exposición profesional los riesgos no serán mayores que en otras profesiones

El marco conceptual de la protección radiológica

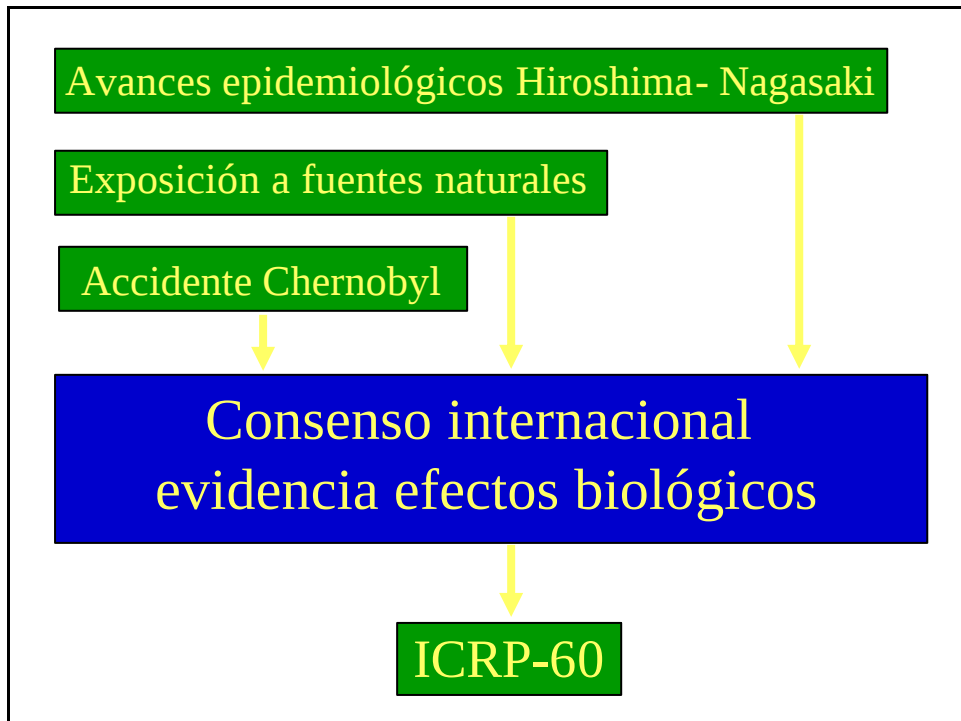


Proporcionar un nivel adecuado de protección para el hombre sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas que dan lugar a la exposición a la radiación.

Incluye valoraciones científicas y sociales

Dado que, incluso dosis pequeñas pueden producir algún efecto perjudicial, entre **los objetivos de la protección radiológica son:**

1. Evitar la aparición de **efectos deterministas** manteniendo las dosis por debajo de los umbrales aplicables.
2. Limitar la probabilidad de incidencia de los **efectos estocásticos**, tomando las medidas necesarias



RECOMENDACIONES DE ICRP

- ❑ **ICRP 1977:** Incorpora a sus recomendaciones el:

Sistema de Limitación de dosis

- Justificación
- Optimización
- Limitación de dosis individuales

- ❑ **ICRP 1990:** Incorpora a sus recomendaciones el:

Sistema de protección Radiológica

Basado en los principios de Justificación, Optimización y Limitación de dosis: trabajador 20 mSv/año; público 1mSv/año adaptado a la exposición Ocupacional, Médica y del Público.

- ❑ **ICRP 2007**

- Las Nuevas Recomendaciones consolidan el Sistema de Protección de la ICRP-60.
- Clarifican conceptos que ya habían sido recogidos en las anteriores recomendaciones.

RECOMENDACIONES DE ICRP

☐ Normas básicas de seguridad internacionales (OIEA)

☐ Directivas europeas

En España, los aspectos relacionados con la PR de los trabajadores expuestos y de la población recaen en el CSN.

SISTEMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Objetivo

Asegurar que :

no se adopta ninguna práctica a menos que su introducción produzca un **beneficio neto y positivo**

las **exposiciones** se mantengan **tan bajas** como sea razonablemente posible

las **dosis recibidas** por los individuos **no excederán** ciertos **límites** establecidos.

ICRP establecía distinción entre “prácticas” e “intervenciones”.

- **PRÁCTICA:** actividades humanas que incrementan la exposición global de los individuos o el nº de individuos expuestos a las rad. ionizantes:
 - por introducción de nuevas fuentes, vías e individuos
 - modificando la red de vías de exposición al hombre de las fuentes actuales
- **INTERVENCIÓN:** actividades dirigidas a la reducción de la exposición global
 - eliminando fuentes existentes y modificando vías
 - reduciendo el nº de individuos expuestos

La Comisión ha establecido diferencia entre:

- “**exposiciones normales**”: aquellas que existe certeza de que se produzcan a causa de las actividades en una práctica o intervención.
- “**exposiciones potenciales**” sólo se producirán en caso de fallo o accidente de los sistemas de seguridad y protección.

Una **exposición potencial** puede llegar a convertirse en una exposición real y requerir por tanto una intervención.

SITUACIONES DE EXPOSICIÓN (ICRP-103)

- **Exposición planificada:** involucran la introducción y la operación planificada de fuentes (antiguas prácticas)
- **Exposición de emergencia:** inesperadas que demandan una atención urgente
- **Exposición existente:** estados de exposición que existen cuando hay que tomar una decisión sobre su control (radiación natural).

CATEGORIAS DE EXPOSICIÓN

- **Exposición ocupacional:** recibida en el lugar de trabajo debida a exposición a fuentes de radiación artificiales o naturales incrementadas por acción humana.
- **Exposición médica:** consecuencia de las exposiciones recibidas por las personas como parte de los procedimientos de diagnóstico o de tratamiento médico.
- **Exposición del público:** es aquella que reciben los miembros del público procedente de cualquier fuente de radiación, excluyendo cualquier exposición ocupacional o médica y la radiación natural de fondo normal. Las exposiciones del embrión y el feto de trabajadoras gestantes se consideran y están reguladas como exposiciones del público

PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

ICRP 103

▪**Justificación:** Cualquier decisión que altere o modifique una situación que implique la exposición a RI debe conducir a mayores beneficios que perjuicios.

▪**Optimización:** La probabilidad de incurrir en exposición a radiaciones, el nº de personas expuestas y la magnitud de las dosis individuales por ellas recibidas se mantendrán tan bajas como razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores económicos y sociales.

▪**Limitación:** La dosis total recibida por un individuo en situaciones planificadas (distintas de la exposición médica de pacientes) no deberán exceder los límites especificados por la Comisión.

PRINCIPIO DE JUSTIFICACIÓN

Cualquier decisión que altere o modifique una situación que implique la exposición a radiaciones ionizantes debe conducir a mayores beneficios que perjuicios (ICRP 103)

No se deberá adoptar ninguna actividad con radiaciones, a menos que produzca un **beneficio neto positivo**

La justificación debe basarse en un **análisis coste-beneficio**



PRINCIPIO DE OPTIMIZACIÓN

- La probabilidad de incurrir en exposiciones a radiaciones ionizantes
 - El número de personas expuestas
- y
- La magnitud de las dosis individuales recibidas

Se mantendrán **tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales (ICRP 103)**

Criterio ALARA (As low as reasonably achievable).

En la ICRP-103 se refuerza el principio de **OPTIMIZACIÓN.**

En la ICRP - 60 se definían:

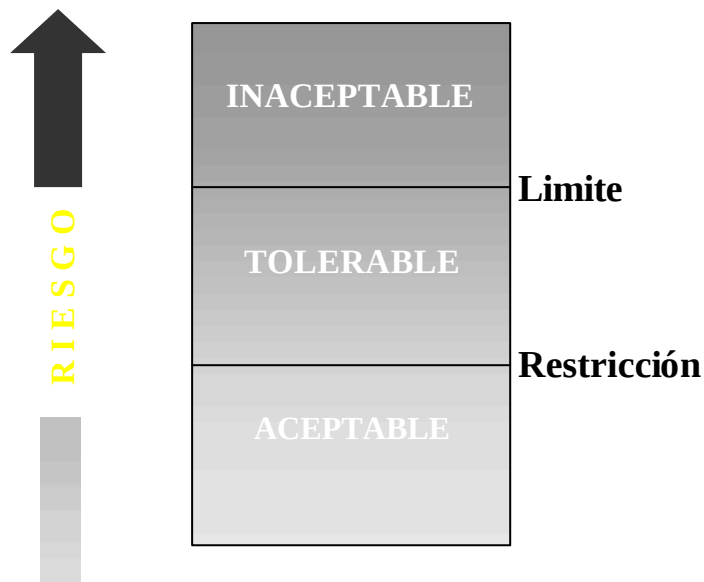
- unos valores de dosis para las prácticas por debajo de las cuales hay que OPTIMIZAR
- unos niveles de acción para intervención por encima de los cuales se debe actuar.

En la ICRP - 103 se aplica el primer modelo a todas las situaciones. Por tanto, *las restricciones de dosis* juegan un papel mucho más relevante.

PRINCIPIO DE LÍMITACIÓN DE DOSIS

La dosis total recibida por un individuo en situaciones planificadas (distinta de la exposición médica de pacientes) no deberá exceder los límites especificados por la Comisión (ICRP 103)

Control del riesgo



OBJETIVO DE LOS LÍMITES DE DOSIS

Establecer, para un conjunto de prácticas definido, un nivel de dosis por encima del cual las consecuencias para el individuo serían ampliamente consideradas como “inaceptables”.

OBJETIVOS DE LOS LÍMITES DE DOSIS

Evitar que se produzcan **efectos deterministas**, impidiendo que las personas reciban dosis superiores a los umbrales, **estableciendo dosis equivalentes** suficientemente bajas.

Controlar la aparición de **efectos estocásticos**, manteniendo las exposiciones justificables tan bajas como sea posible, estableciendo **límites de dosis efectivos adecuados**.

LÍMITES DE DOSIS

Aplicación	Ocupacional	Público
Dosis efectiva	20 mSv/a promediada a lo largo de 5 años España: 100 mSv/5 años y un máximo de 50 mSv/a *	1 mSv en un año oficial **
Dosis equivalente anual		
- Cristalino	150 mSv (20 mSv)	
- Piel	500 mSv**	15 mSv
- Pies y manos	500 mSv	50 mSv

* La Dosis Efectiva podría alcanzar 50 mSv en un año, siempre que no se superen 100 mSv en 5 años.

** Excepcionalmente podría permitirse una dosis efectiva más alta en un único año siempre que en 5 años no se superen 5 mSv