

Seminario de Ingeniería en Física Médica

Universidad Favaloro

Aula Magna-Solis 453-Buenos Aires-Agosto 16 2019, 12:00hs.

Hechos, conjeturas y mitos

sobre la

radiación ionizante:

Experiencia personal en Chernobyl y Fukushima

Abel J. González

Representante ante el United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)

Miembro de la Commission of Safety Standards del OIEA

Ex-Vice-Presidente de la International Commission on Radiological Protection (ICRP)

Autoridad Regulatoria Nuclear; ☒ Av. Del Libertador 8250; (1429) Buenos Aires, Argentina 📞 +54 1163231306; 📧 abel_j_gonzalez@yahoo.com

CONTENIDO

1. ¿Qué es la radiación?
 2. ¿De dónde procede la radiación?
 3. ¿Cómo nos afecta la radiación?
 4. Experiencia personal
 - Chernobyl
-
- Fukushima
5. Ética

Primera Parte:

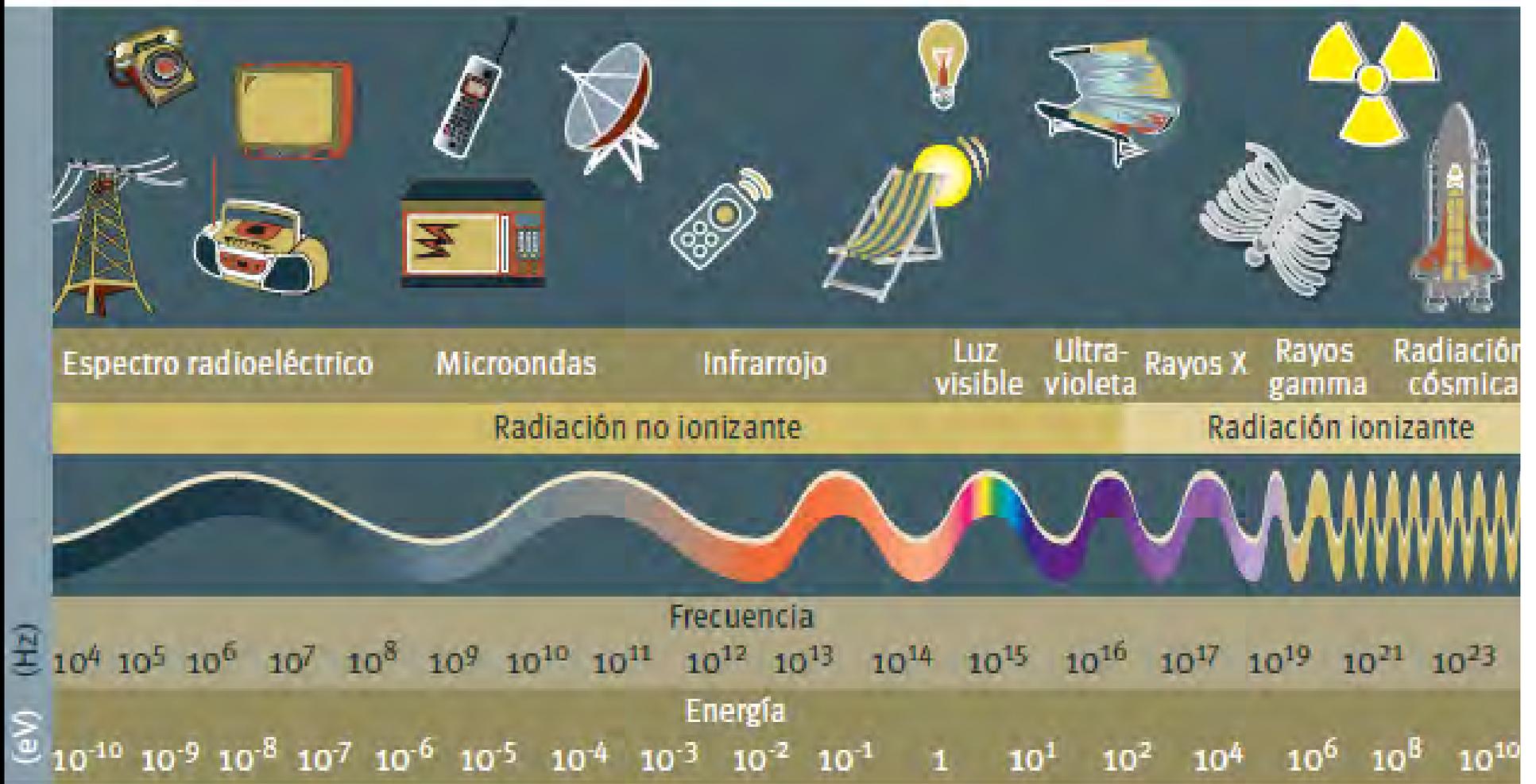
¿QUÉ ES LA RADIACIÓN?

¿QUÉ ES LA RADIACIÓN?

Contenido

- **Algunos conceptos básicos**
- **Desintegración radiactiva y periodo de semidesintegración**
- **Unidades de radiación**
- **Poder de penetración de la radiación**

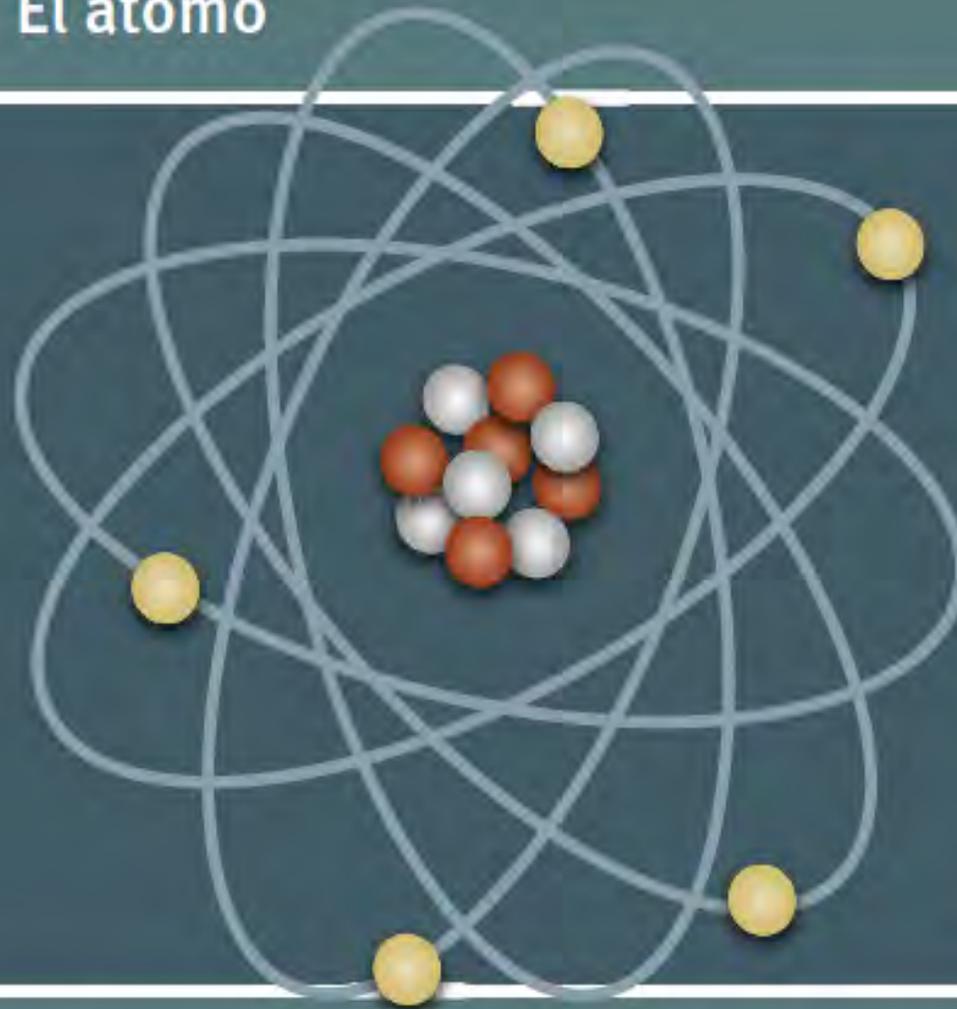
Tipos de radiación utilizada en distintas aplicaciones



La radiación no ionizante no tiene energía suficiente —medida en electronvoltios (eV)— para modificar la estructura de moléculas o átomos.

Algunos conceptos básicos

El átomo



Número atómico

5

- número
de electrones

Símbolo

B

- número
de protones

Nombre BORO



electrón



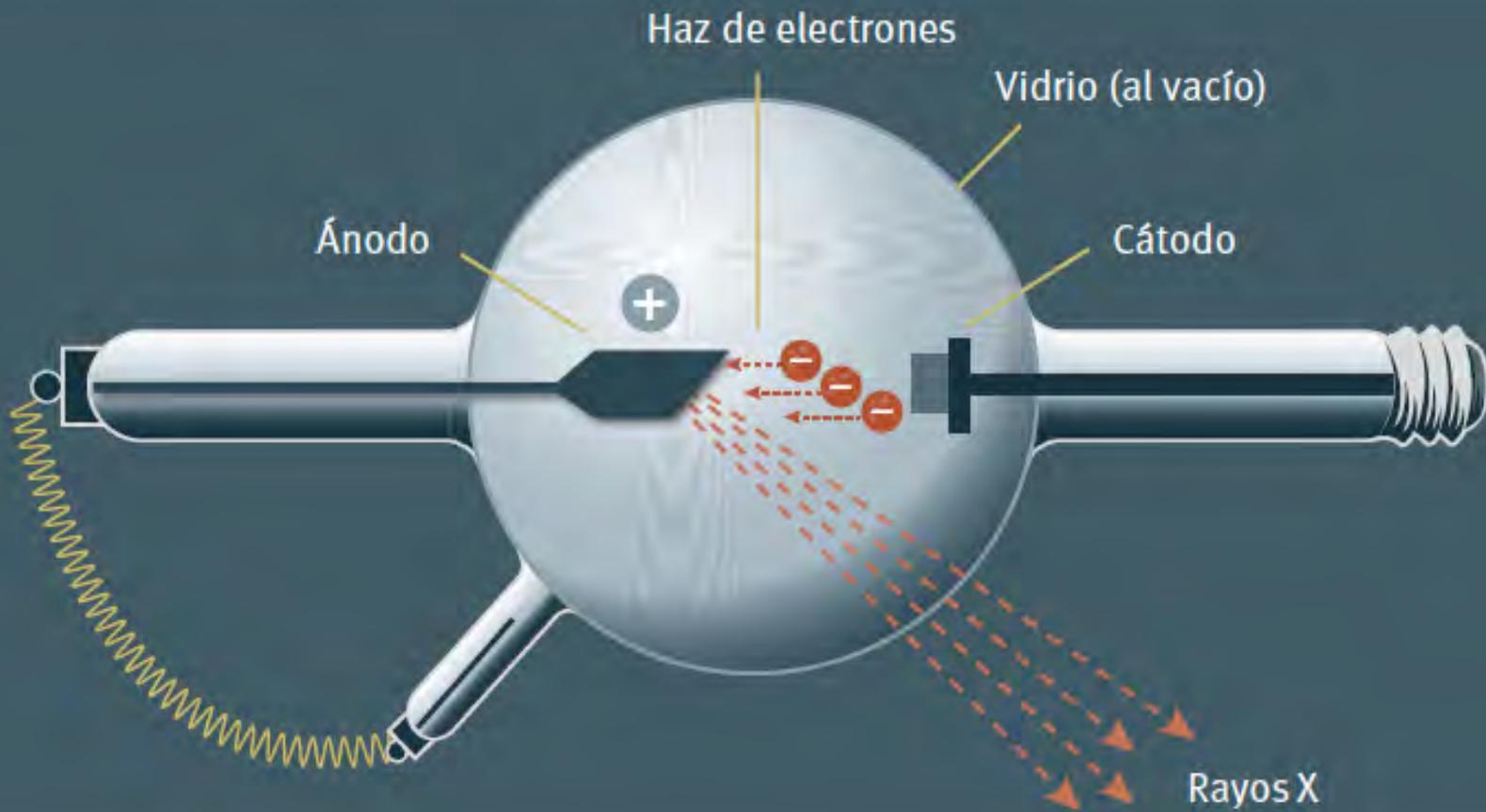
protón



neutrón

El átomo está formado por un núcleo de neutrones (de carga nula) y protones (de carga positiva) rodeado de una nube de electrones (de carga negativa). En los átomos sin carga, el número de electrones y protones es igual, y representa el número atómico del elemento.

Tubo de rayos X



Desintegración radiactiva y periodo de semidesintegración

Uranio 238 — cadena de desintegración radiactiva



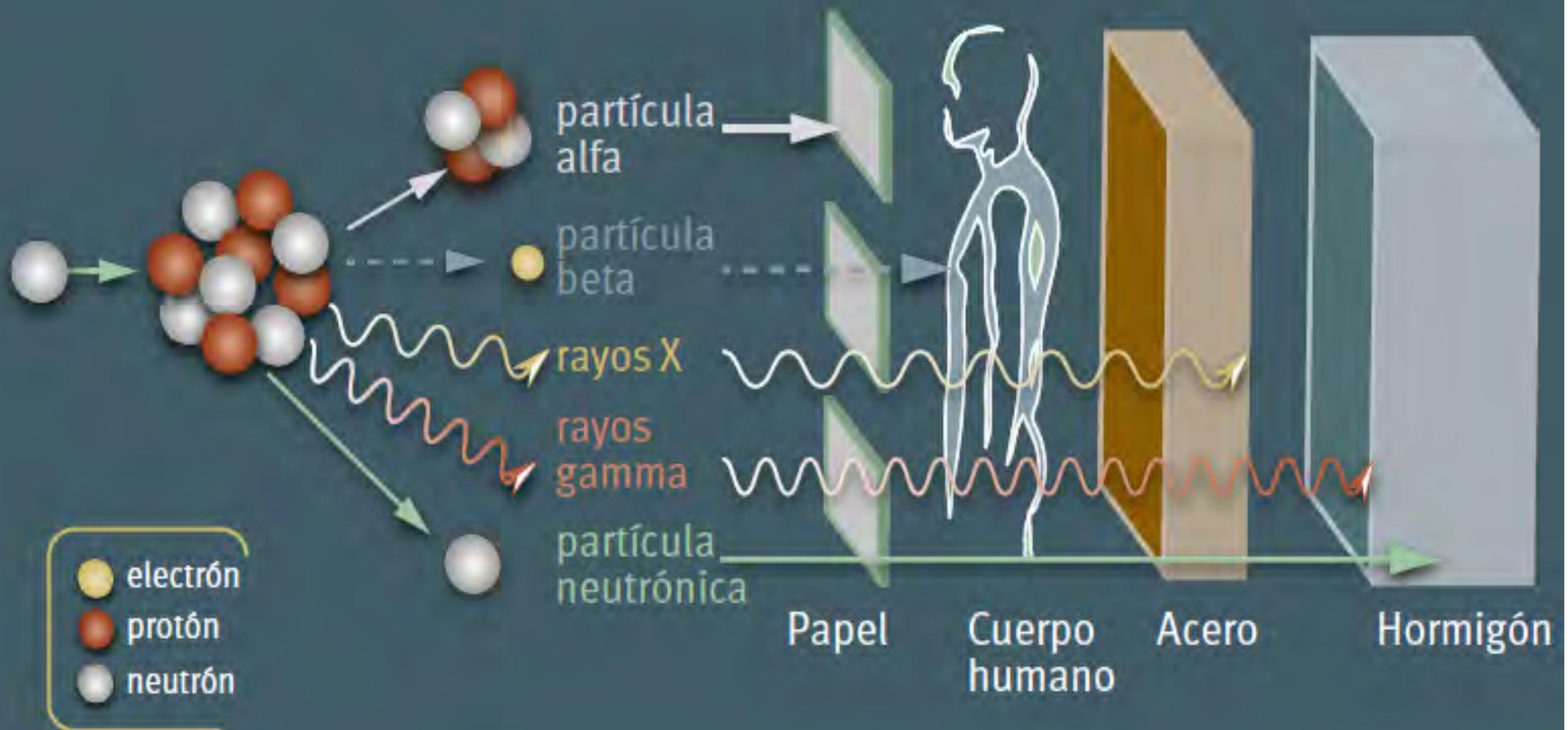
Unidades de radiación

Magnitudes de radiación

Magnitud física	
Actividad	Número de transformaciones nucleares de energía por unidad de tiempo. Se mide en desintegraciones por segundo y se expresa en becquerelios (Bq).
Dosis absorbida	Cantidad de energía depositada por la radiación en una unidad de masa de material, como un tejido u órgano. Se expresa en gray (Gy), que corresponden a julios por kilogramo.
Magnitud calculada	
Dosis equivalente	Dosis absorbida multiplicada por un factor de ponderación de la radiación (w_R), que tiene en cuenta los diferentes tipos de daño biológico que causa la radiación en un tejido u órgano. Se expresa en sievert (Sv), que corresponden a julios por kilogramo.
Dosis efectiva	Dosis equivalente multiplicada por un factor de ponderación de los tejidos (w_T), que tiene en cuenta la susceptibilidad de distintos tejidos y órganos al daño. Se expresa en Sievert (Sv), que corresponden a julios por kilogramo.
Dosis efectiva colectiva	Suma de todas las dosis efectivas recibidas por una población o grupo de personas expuestas a radiación. Se expresa en Sievert-persona (Sv-persona).

Poder de penetración de la radiación

Poder de penetración de diferentes tipos de radiación



Segunda Parte:

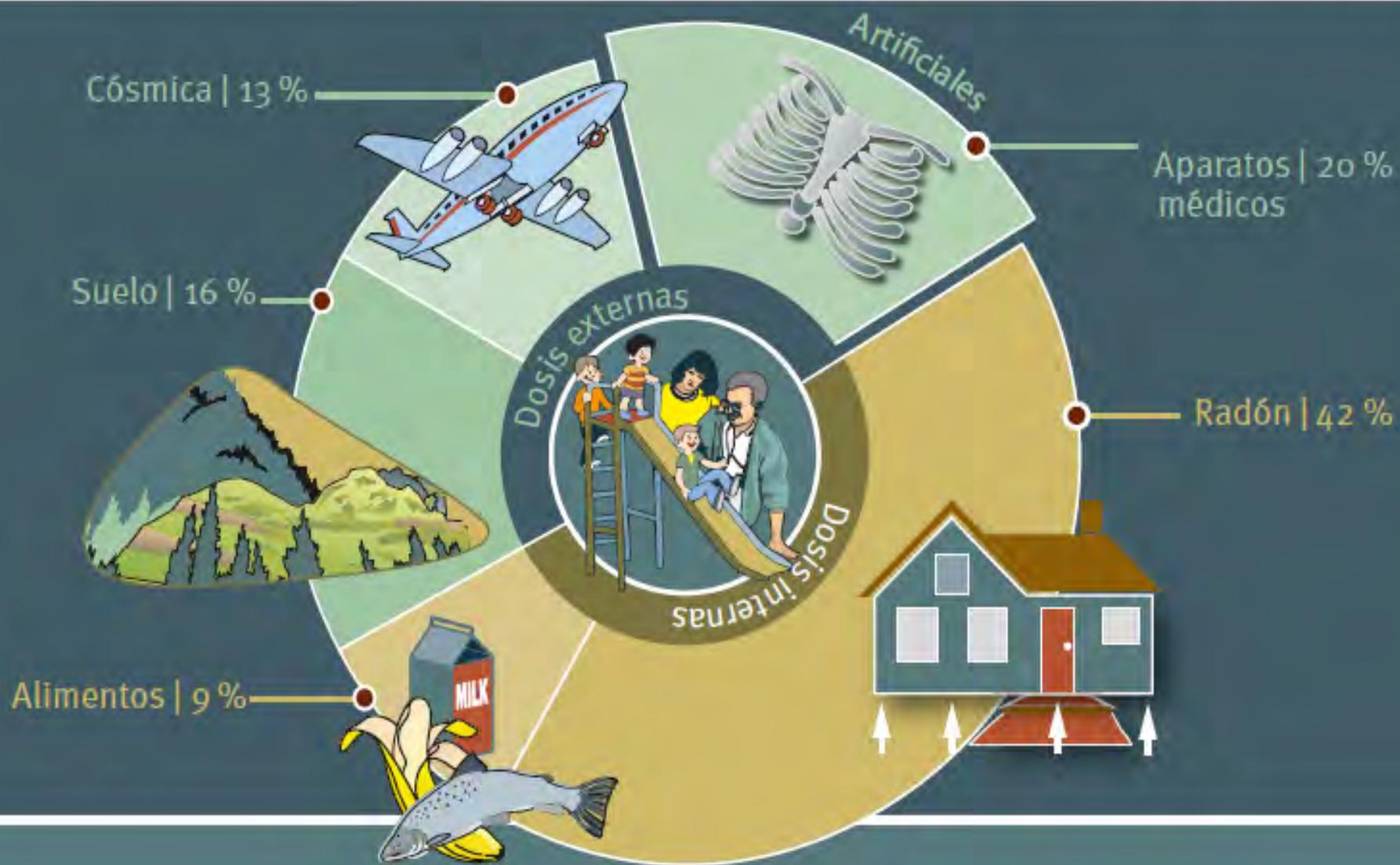
**¿DE DÓNDE PROCEDE LA
RADIACIÓN?**

¿DE DÓNDE PROCEDE LA RADIACIÓN?

Contenido

- **Fuentes naturales**
 - **Fuentes cósmicas**
 - **Fuentes terrestres**
 - **Fuentes en alimentos y bebidas**
- **Fuentes artificiales**
 - **Aplicaciones médicas**
 - **Armamento nuclear**
 - **Reactores Nucleares**
 - **Aplicaciones Industriales y otras**
- **Promedio de exposición a la radiación para el público y los trabajadores**

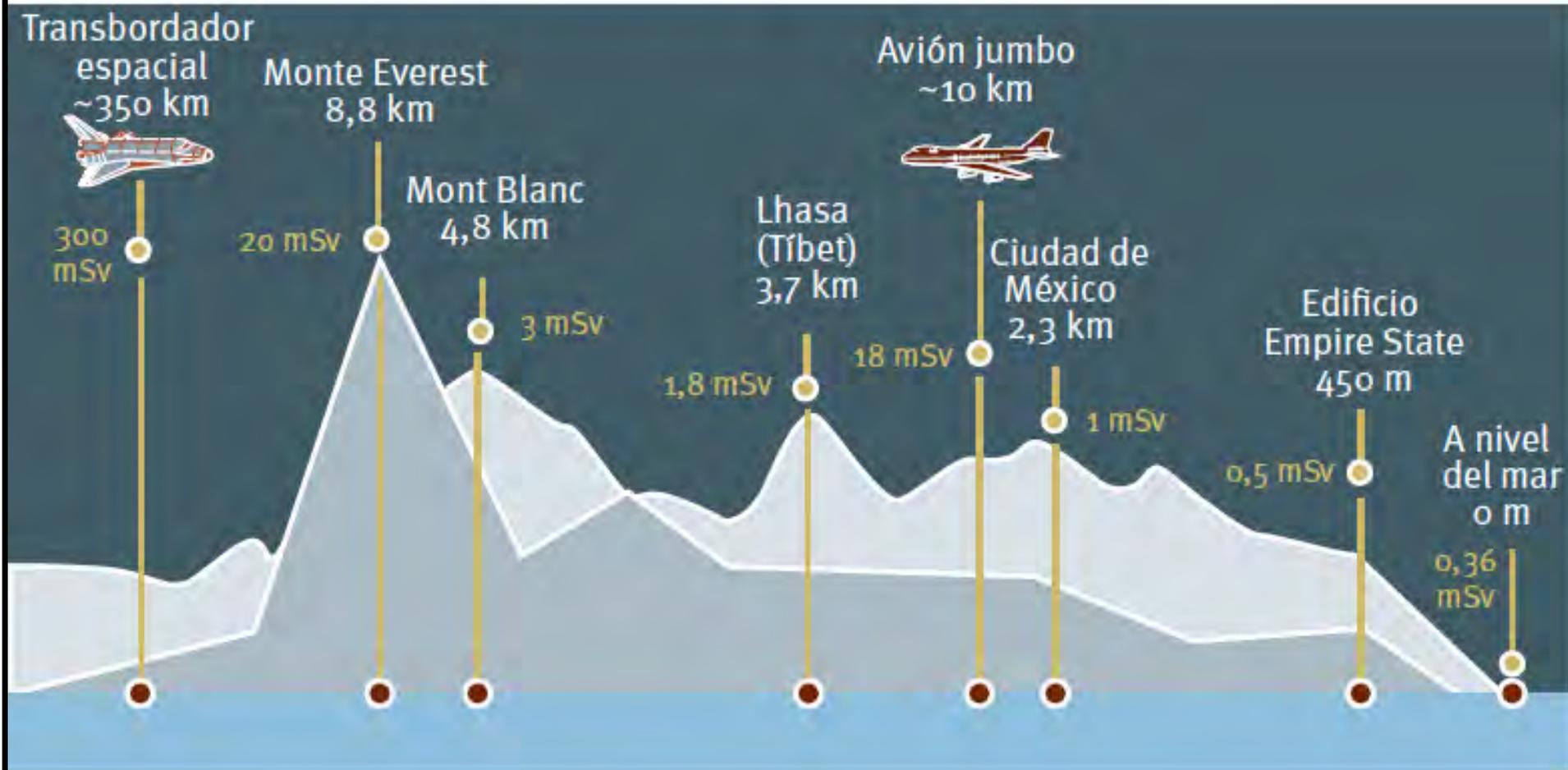
Distribución mundial de la exposición a fuentes de radiación



Fuentes naturales

Fuentes cósmicas

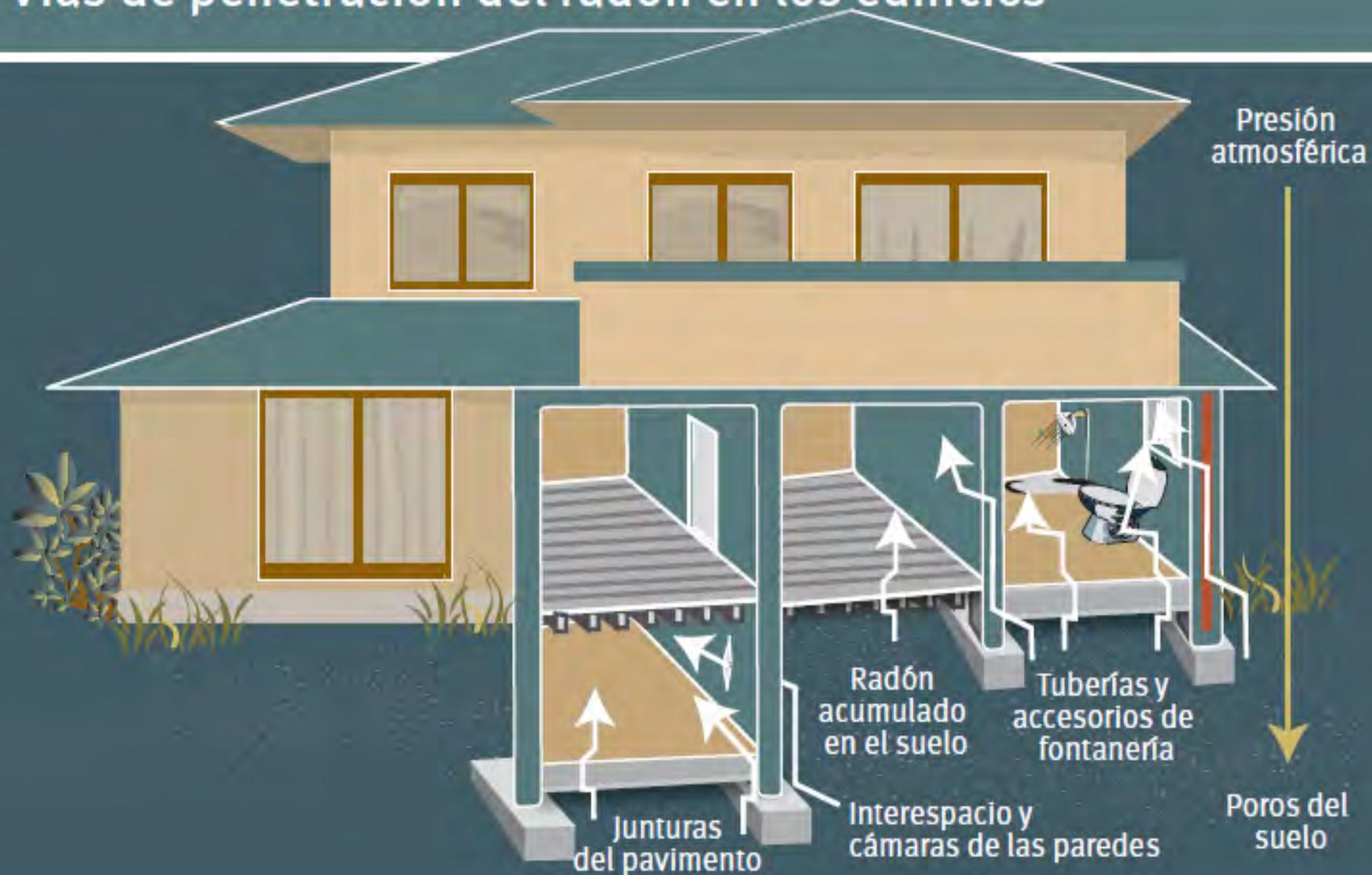
Dosis anuales por radiación cósmica*



* Exposición hipotética de 1 año.

Fuentes terrestres

Vías de penetración del radón en los edificios



Fuentes en alimentos y bebidas

Fuentes artificiales

Aplicaciones médicas

Dosis efectivas medias por persona en los Estados Unidos (2007)

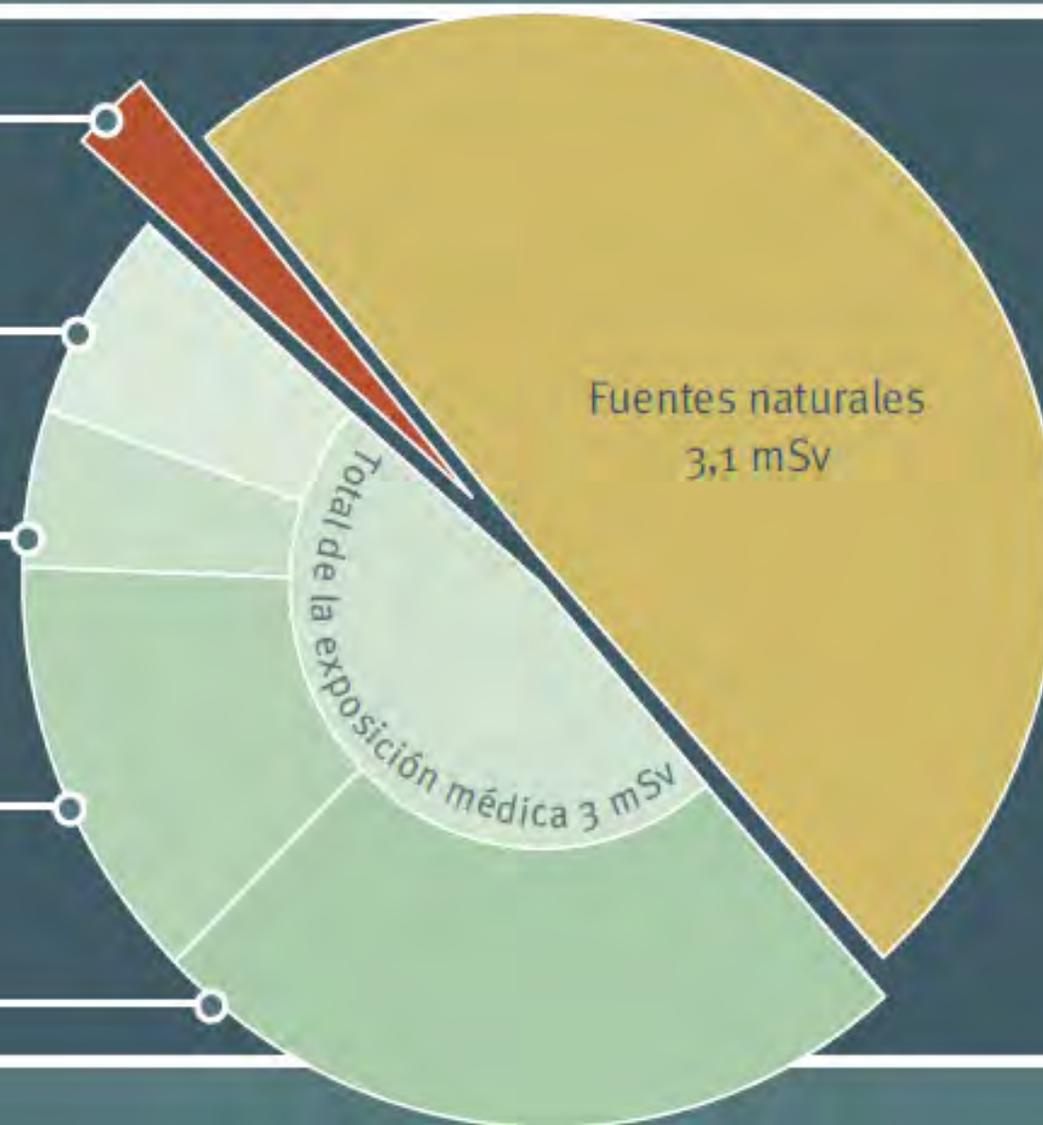
Todas las demás 0,14 mSv

Intervenciones radiológicas
0,40 mSv

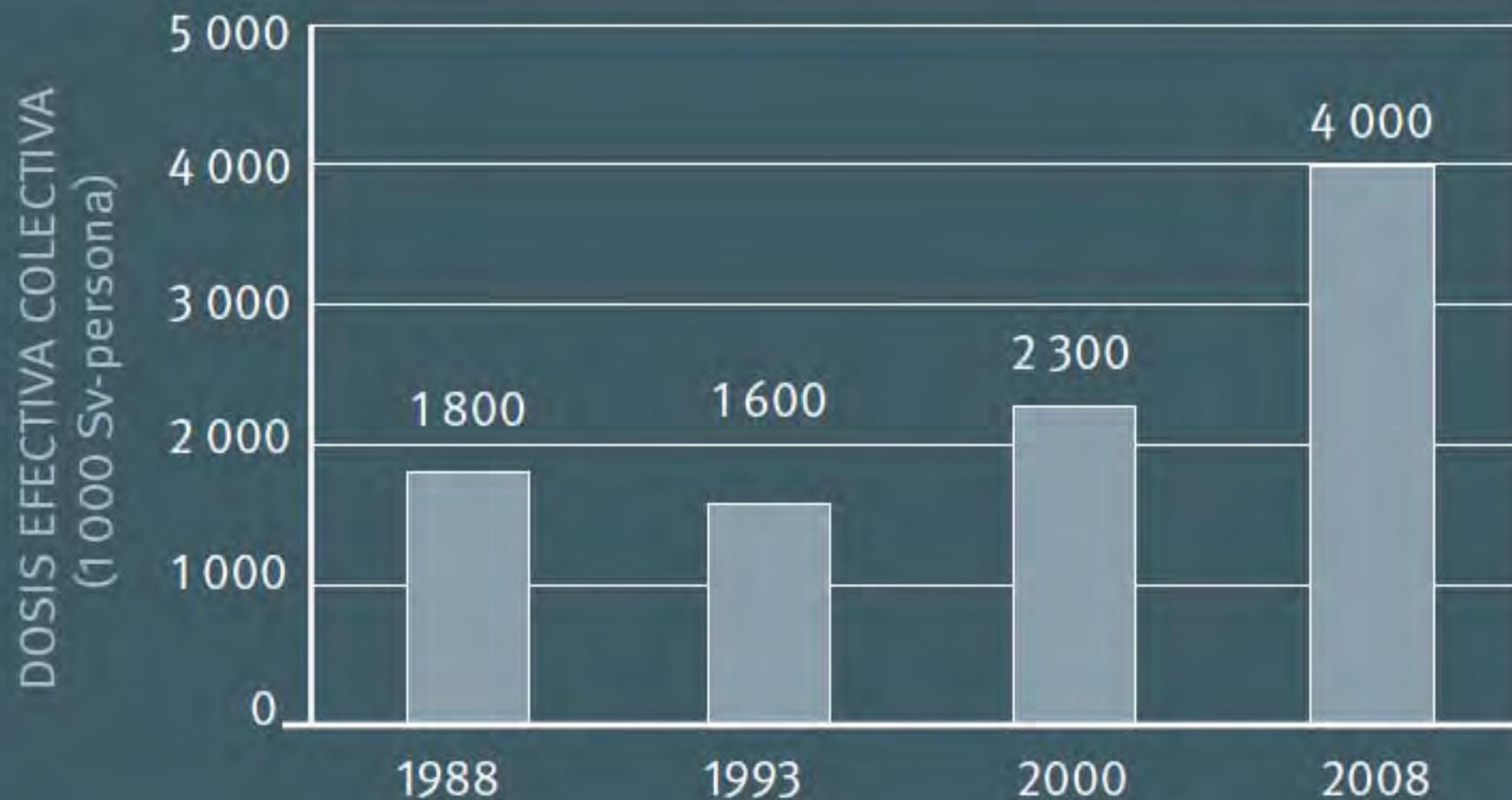
Radiografía de diagnóstico
0,30 mSv

Medicina nuclear
0,80 mSv

Tomografías CT 1,5 mSv



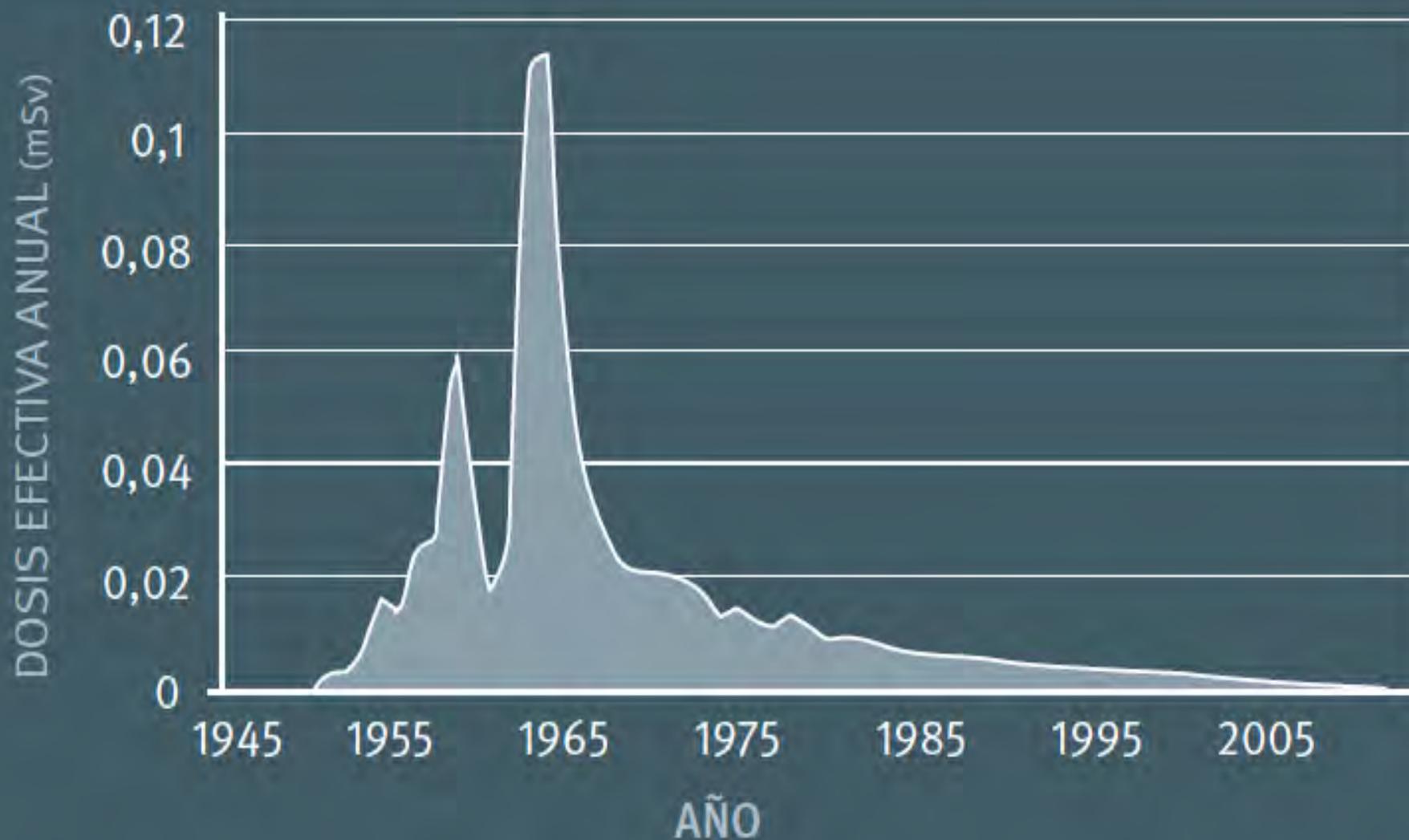
Exposición mundial causada por la radiología (1988–2008)



ESTUDIO DE UNSCEAR

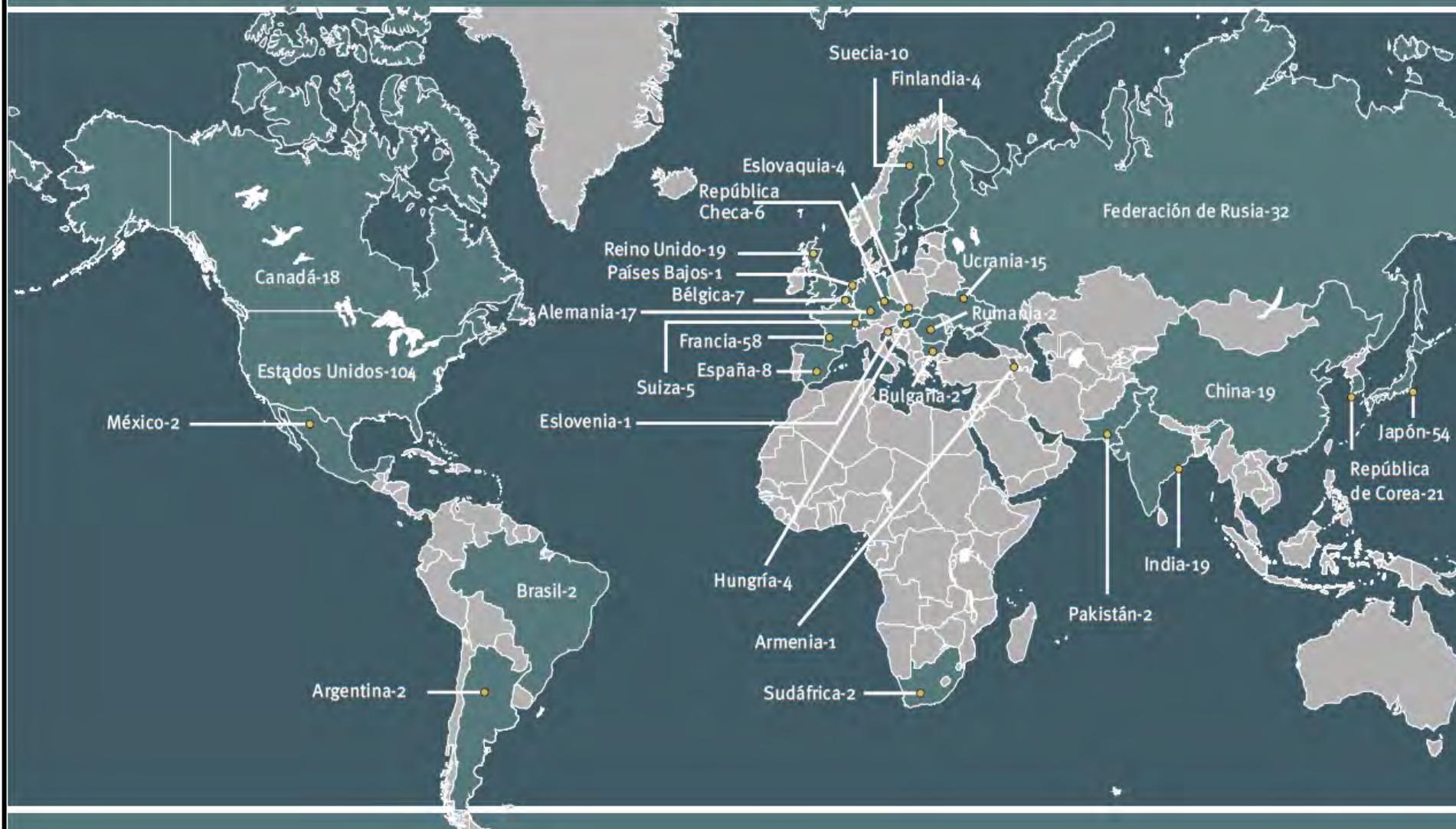
Armamento nuclear

Dosis media mundial por persona de radiactividad residual de ensayos nucleares

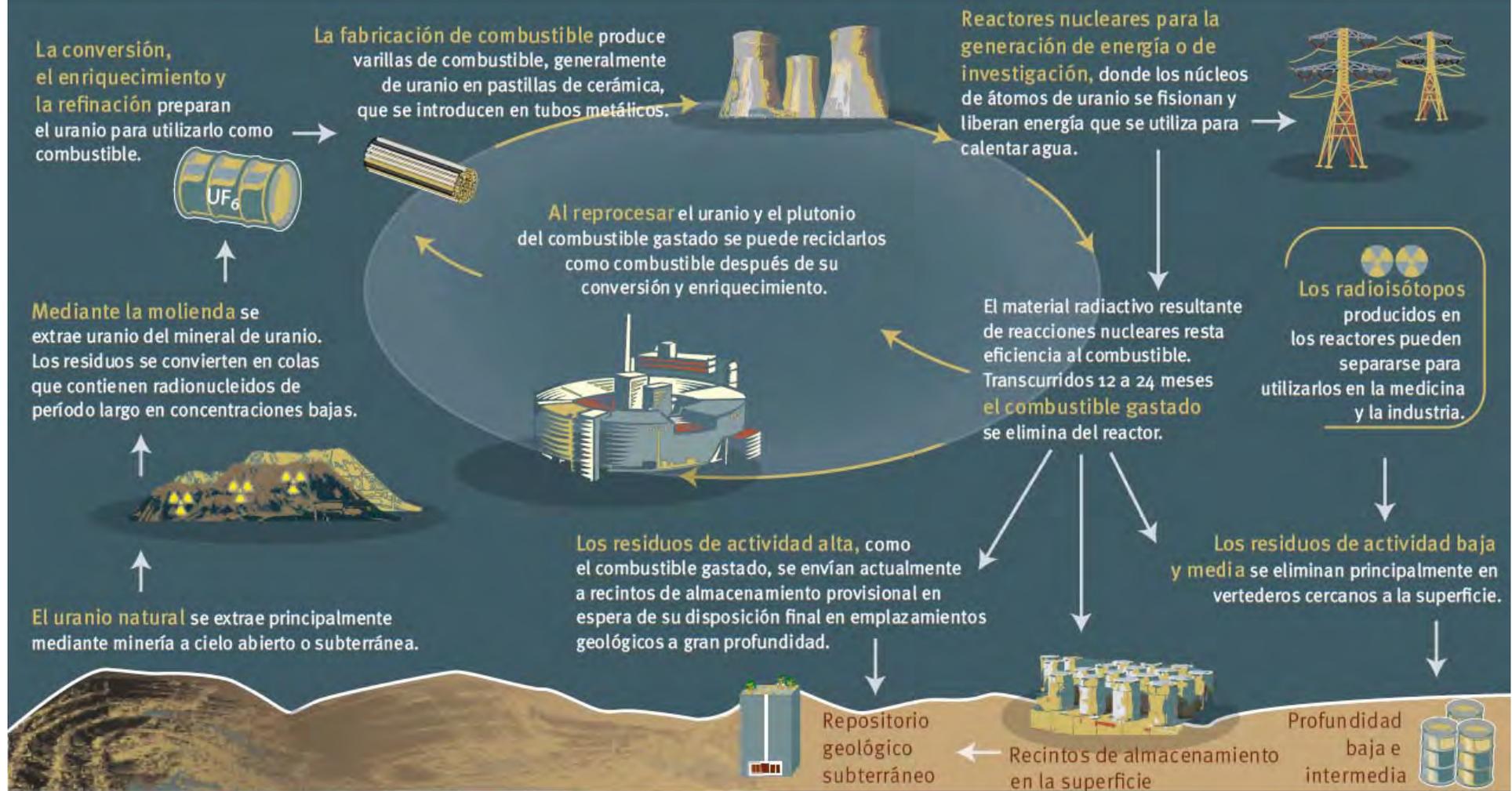


Reactores Nucleares

Centrales de energía nuclear en todo el mundo (2010)

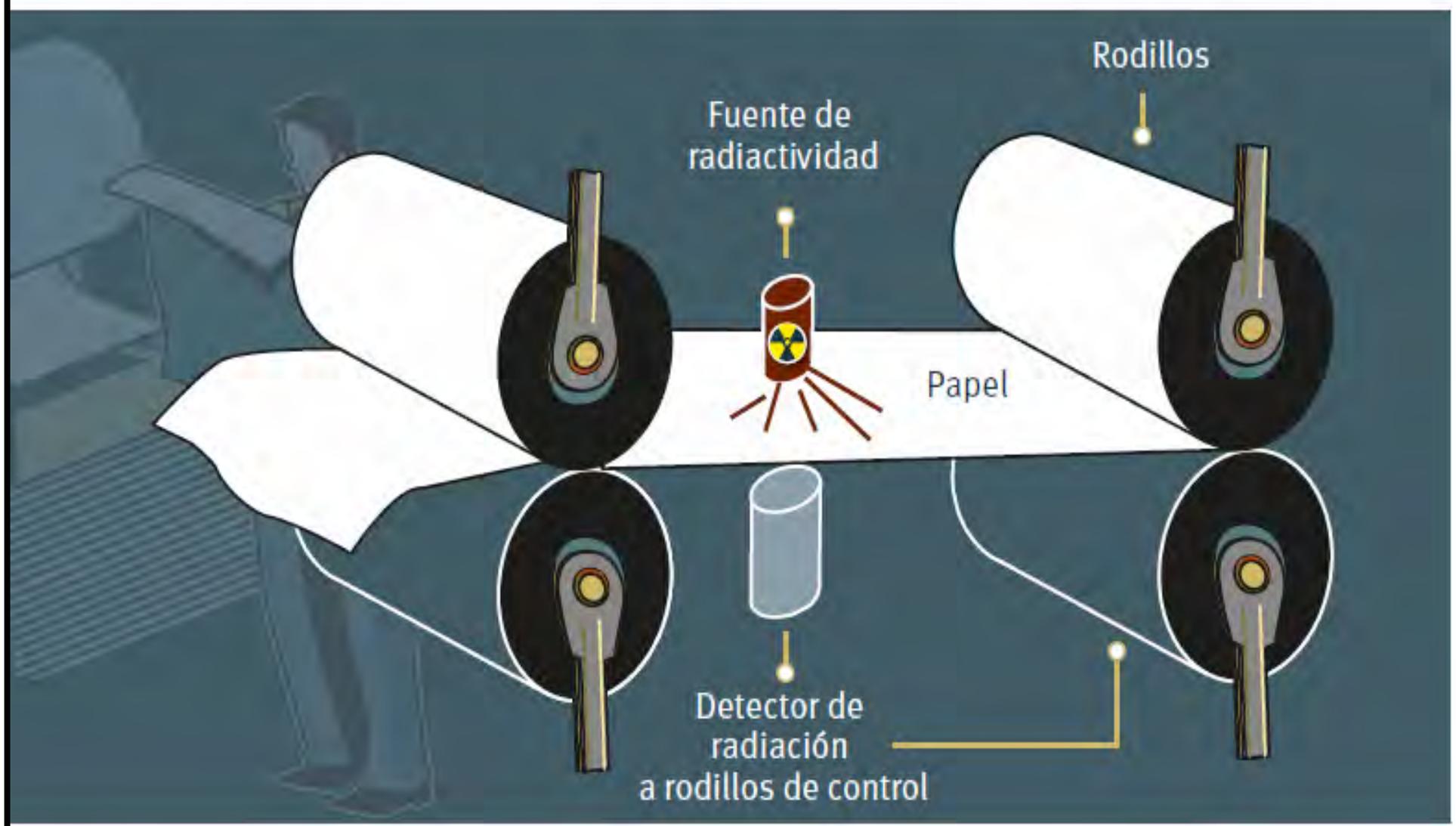


Procesos principales en la industria nuclear

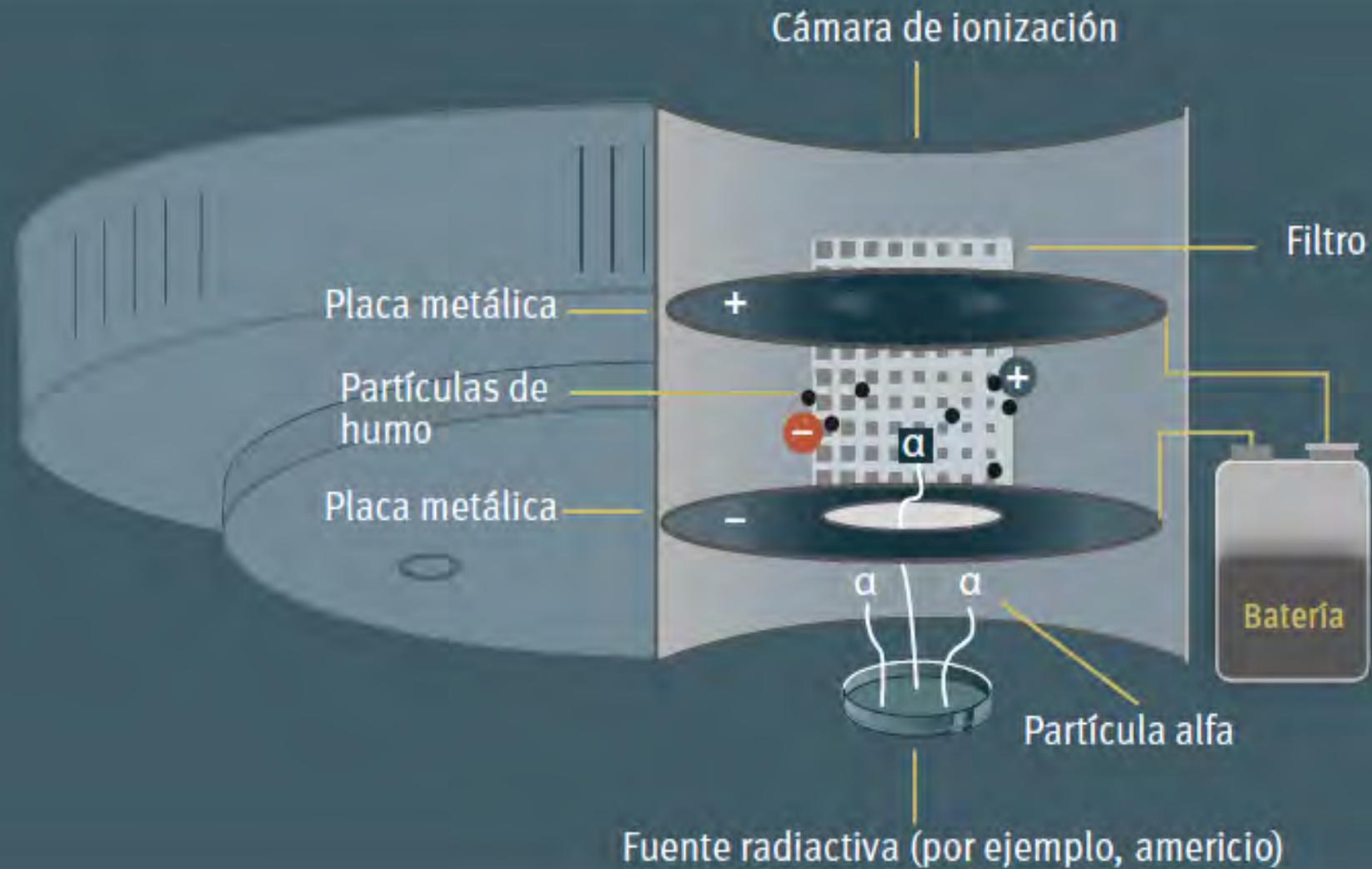


Aplicaciones Industriales

Dispositivo de medición de espesores por medio de radiación



Uso de fuente radiactiva en detector de humo



Accidentes

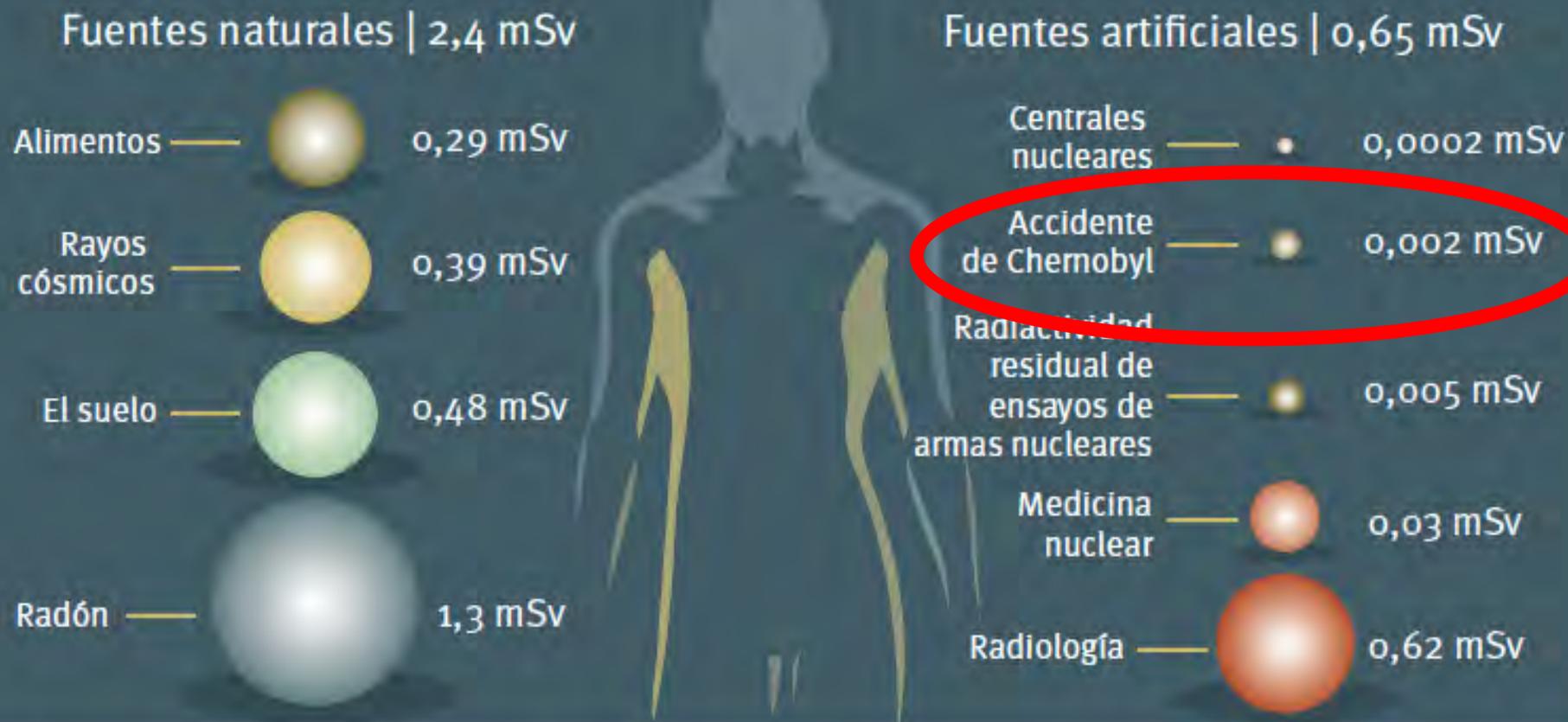
Número mundial estimado de accidentes radiológicos graves*

Tipo de accidente	1945–1965	1966–1986	1987–2007
En instalaciones nucleares	19	12	4
En la industria	2	50	28
Causados por fuentes huérfanas	3	15	16
En instituciones académicas y de investigación	2	16	4
En la medicina	No hay información	18	14

* Las cifras corresponden a los accidentes que se han comunicado o dado a conocer oficialmente. Se considera que el número de los que no se han comunicado es mucho mayor, especialmente en el ámbito de la medicina.

**Promedio de exposición a la
radiación para el público
y los trabajadores**

Exposición media del público, por fuente de radiación*



* Estimaciones redondeadas de la dosis efectiva recibida por una persona en el curso de 1 año (media mundial).

Tendencias mundiales de la exposición a radiación en el trabajo (en mSv)*

Años	1970	1980	1990	2000
Fuentes naturales				
Tripulaciones de aeronaves	—	3,0	3,0	3,0
Mineros del carbón	—	0,9	0,7	2,4
Otros mineros**	—	1,0	2,7	3,0
Trabajadores de diversos sectores	—	6,0	4,8	4,8
Total	—	1,7	1,8	2,9
Fuentes artificiales				
Trabajadores en el ámbito de la medicina	0,8	0,6	0,3	0,5
Trabajadores de la industria nuclear	4,4	3,7	1,8	1,0
Trabajadores de otras industrias	1,6	1,4	0,5	0,3
Trabajadores de diversos sectores	1,1	0,6	0,2	0,1
Total	1,7	1,4	0,6	0,5

* Estimaciones de la dosis efectiva media que recibe un trabajador en 1 año.

** Los mineros que extraen uranio se incluyen entre los trabajadores de la industria nuclear.

>1 000 mSv

Dosis utilizada en radioterapia

100 mSv

Dosis de los astronautas
(4 meses)

10 mSv

Tomografía computarizada (TC)
del abdomen

1 mSv

Dosis de los trabajadores
de la industria nuclear (1 año)

0,1 mSv

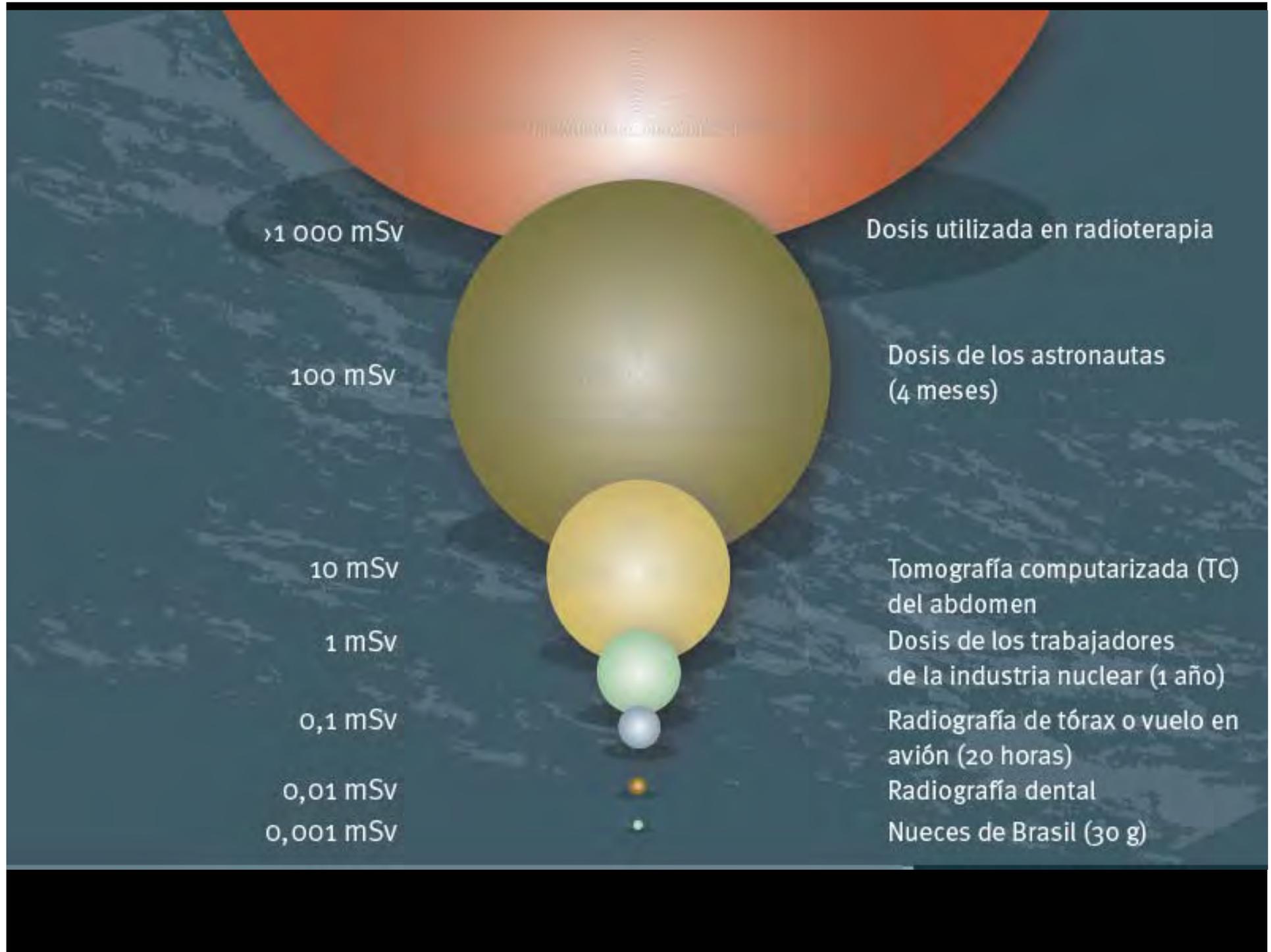
Radiografía de tórax o vuelo en
avión (20 horas)

0,01 mSv

Radiografía dental

0,001 mSv

Nueces de Brasil (30 g)

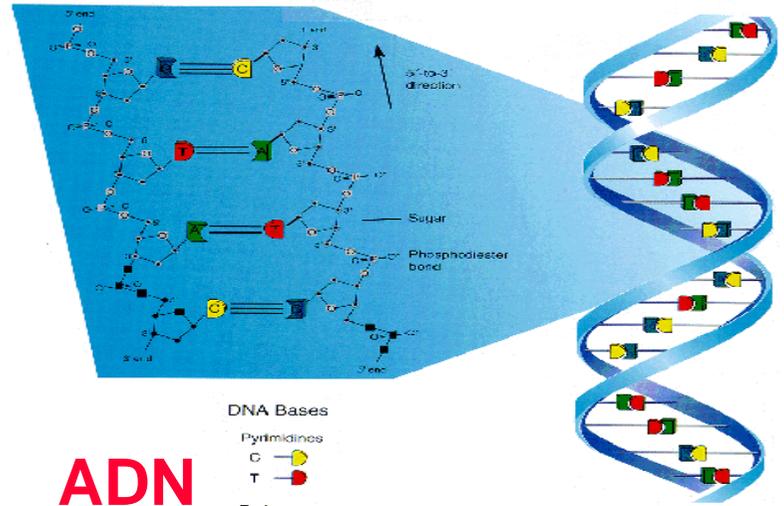
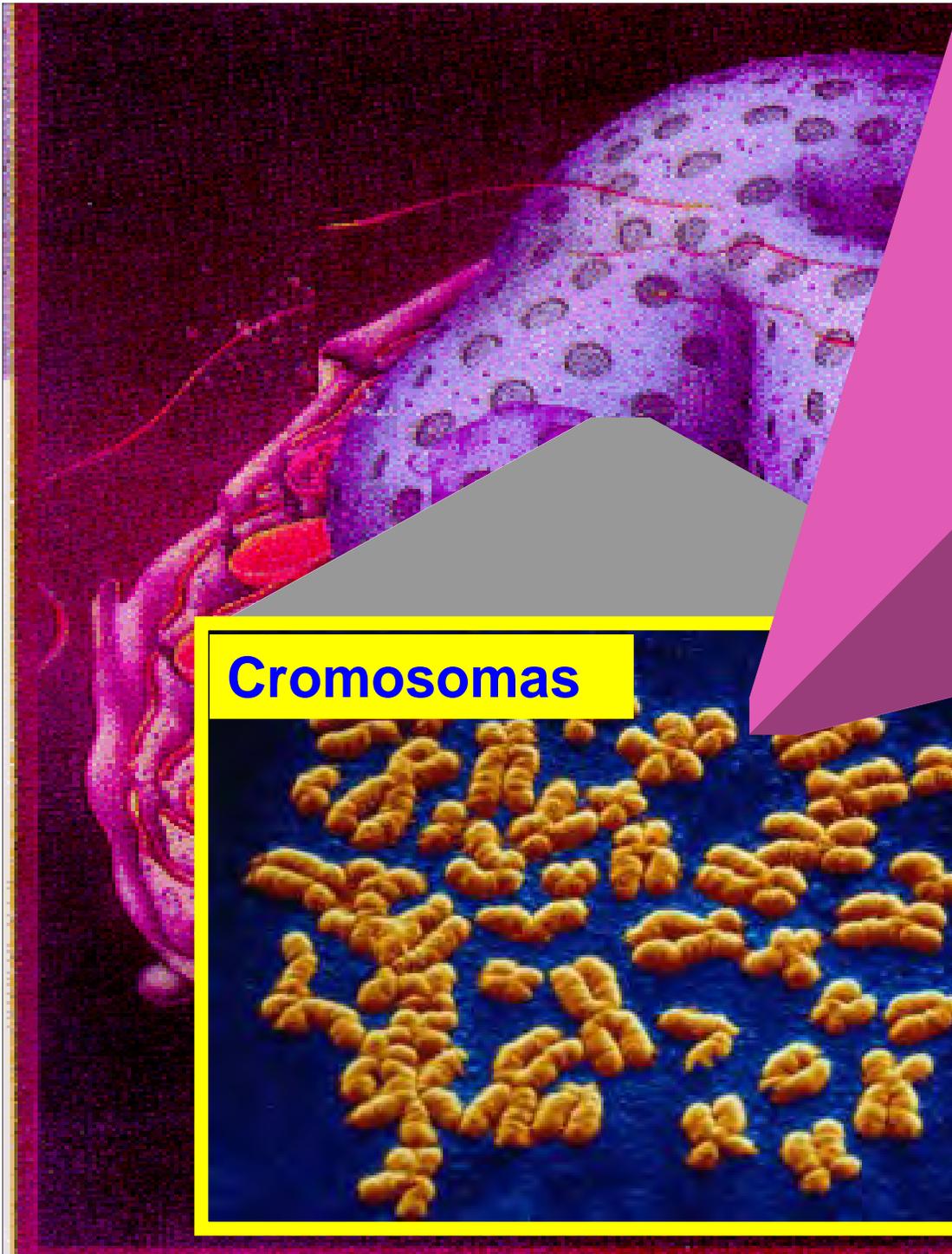


Tercera Parte:
**¿CÓMO NOS AFECTA LA
RADIACIÓN?**

**Efectos de la exposición a la
radiación ionizante:**

Hechos *vis-à-vis* conjeturas

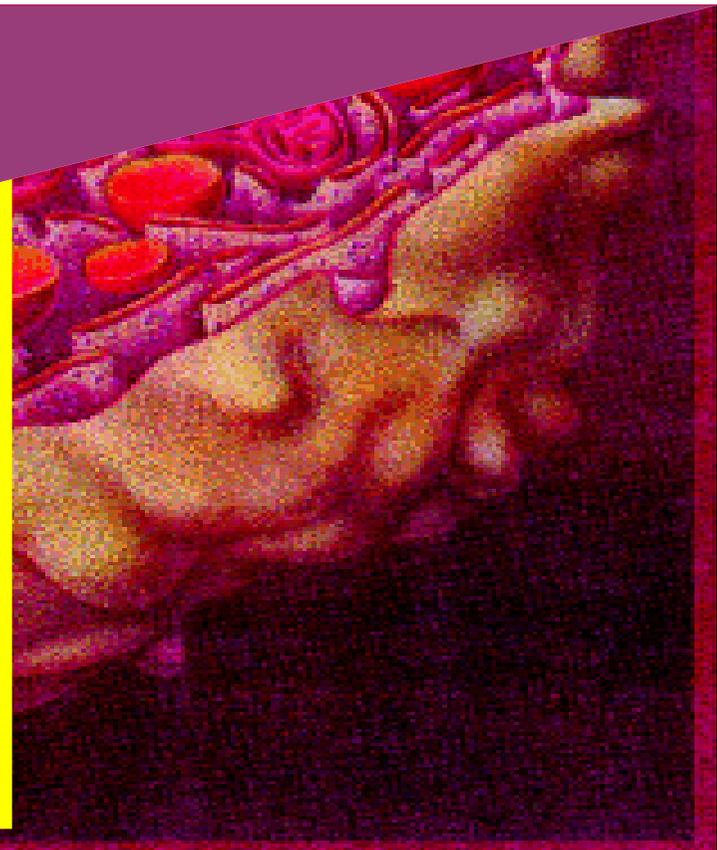
Los hechos verificables

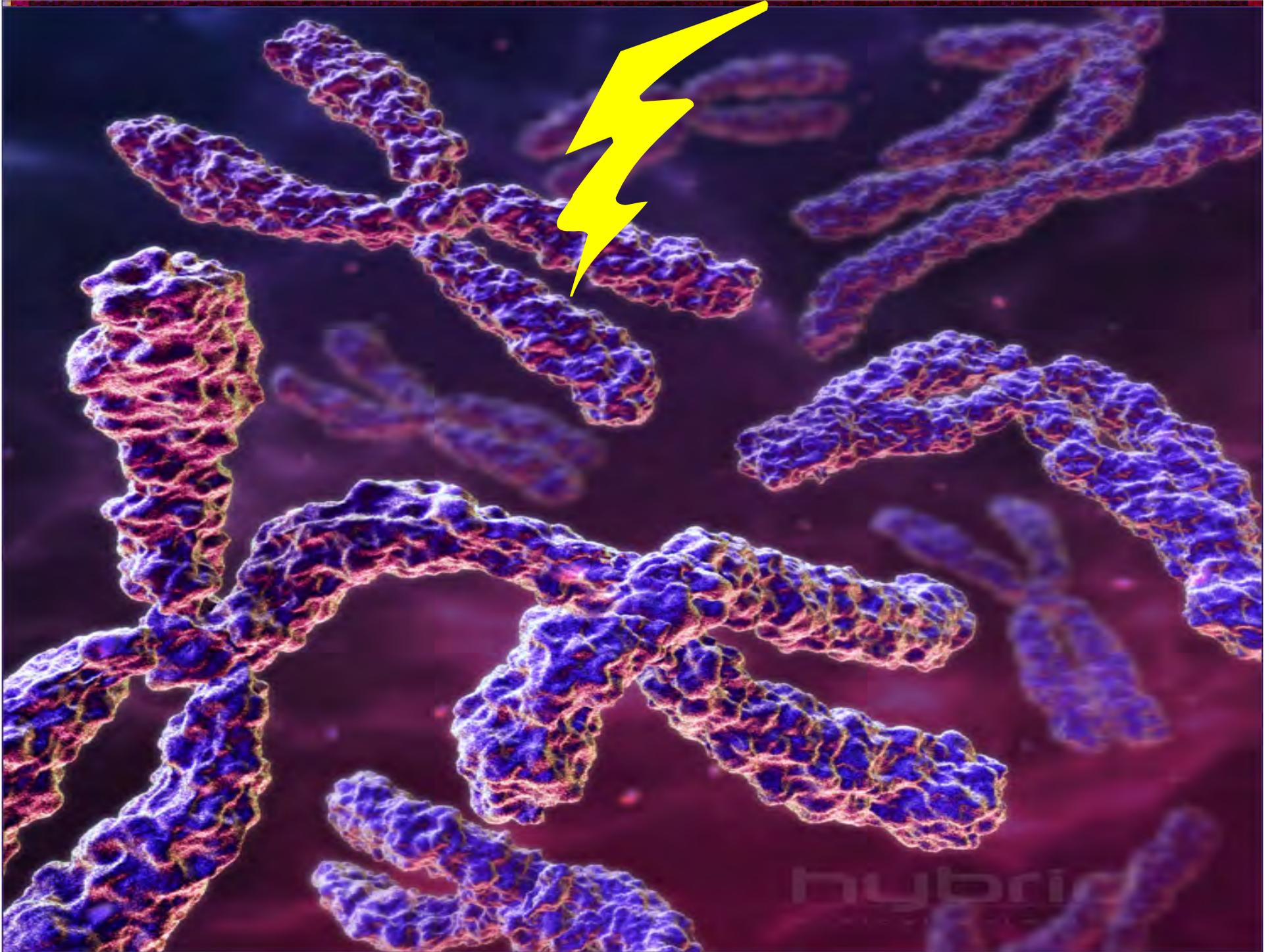


ADN

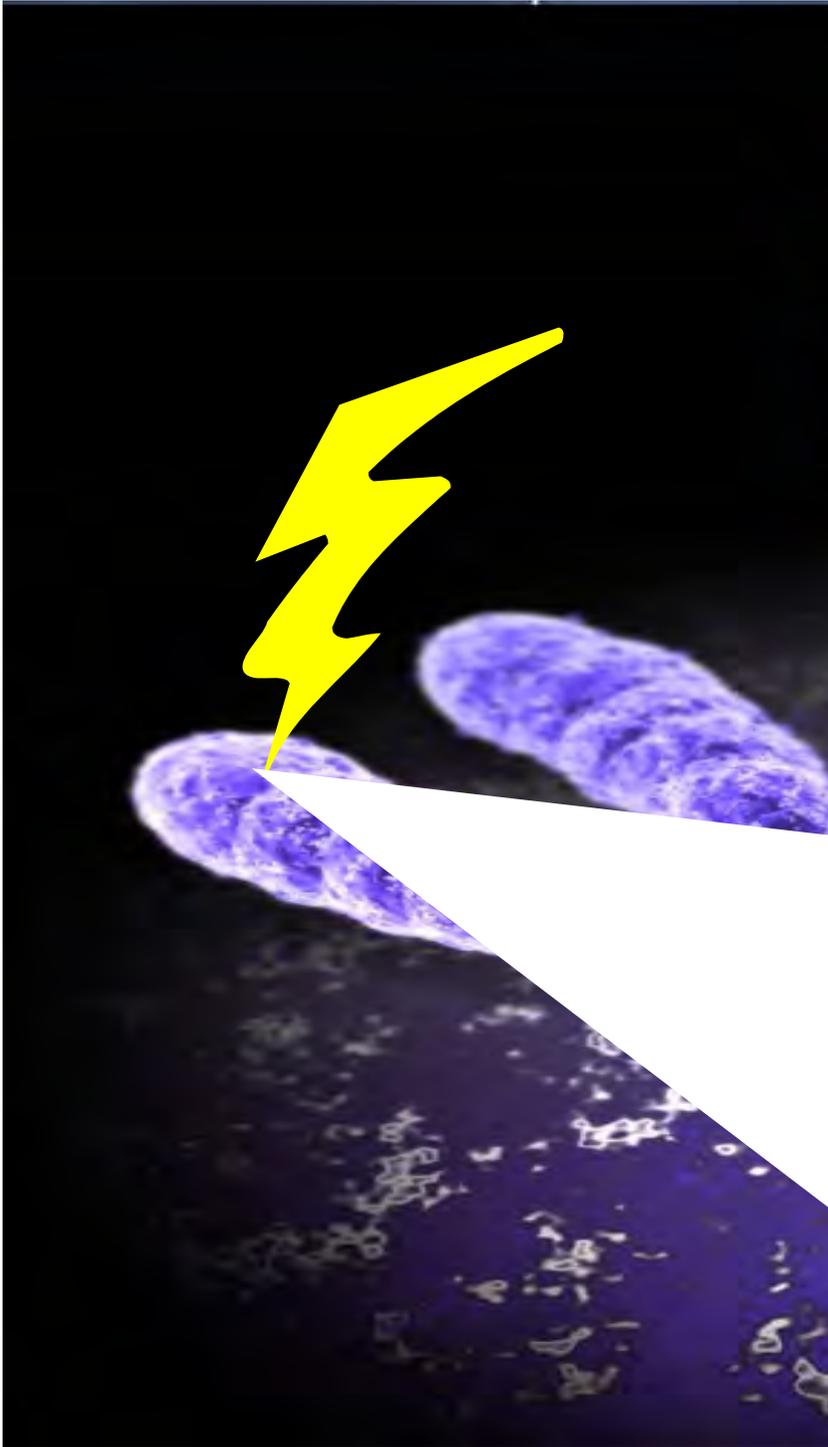
- DNA Bases
- Pyrimidines
 - C (yellow)
 - T (red)
 - Purines
 - A (green)
 - G (blue)

Cromosomas

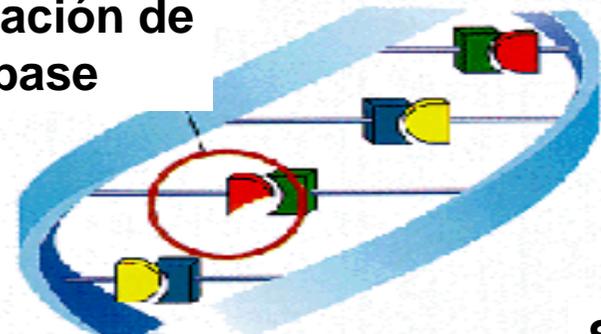




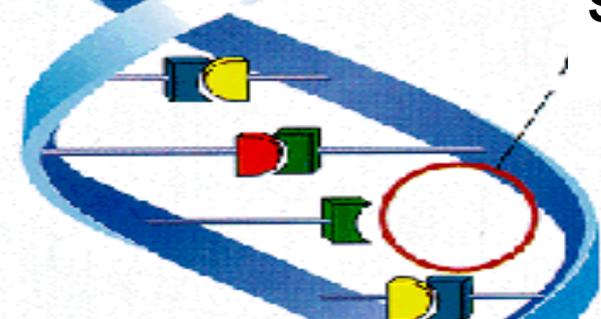




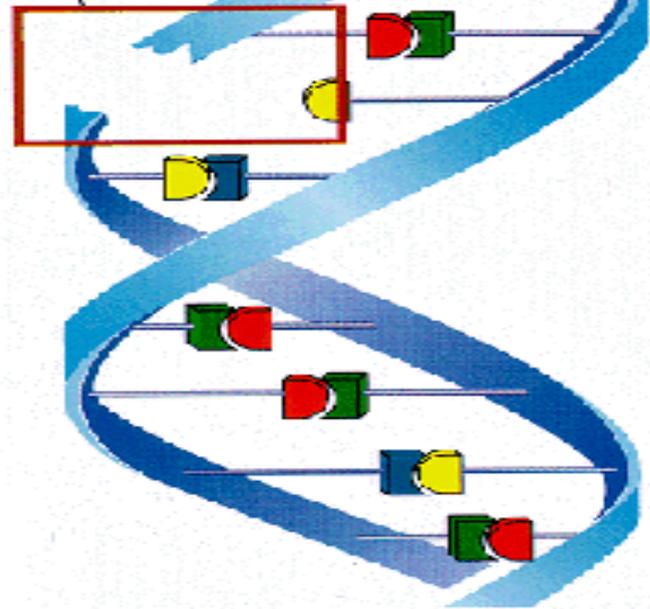
Alteración de una base

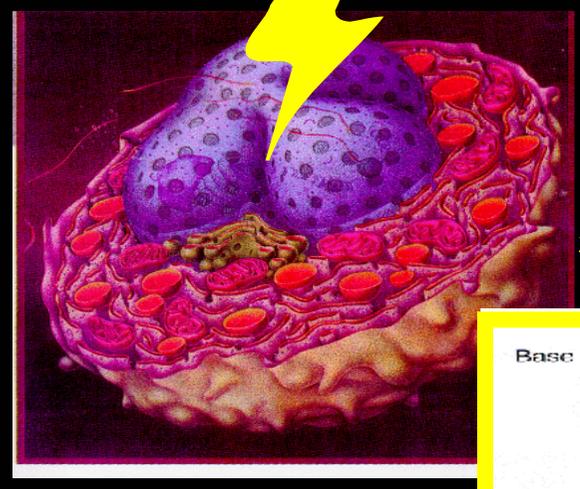


Sitio sin base

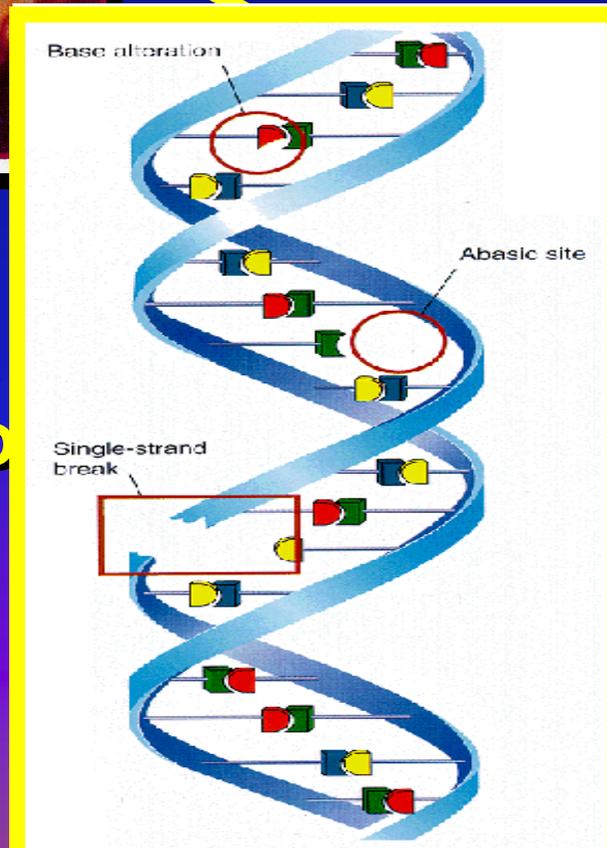


Rotura de un helicoide





**radiación
interacciona
con el núcleo
de una
célula!**



La probabilidad, p_D , de mutación a una dosis, D , es:

$$p_D = (a D + b D^2 + \dots k_n D^n) e^{-cD}$$

Como los términos de potencia >2 son triviales

$$p_D \cong (a D + b D^2) e^{-cD}$$

que es la así llamada relación cuadrática lineal.

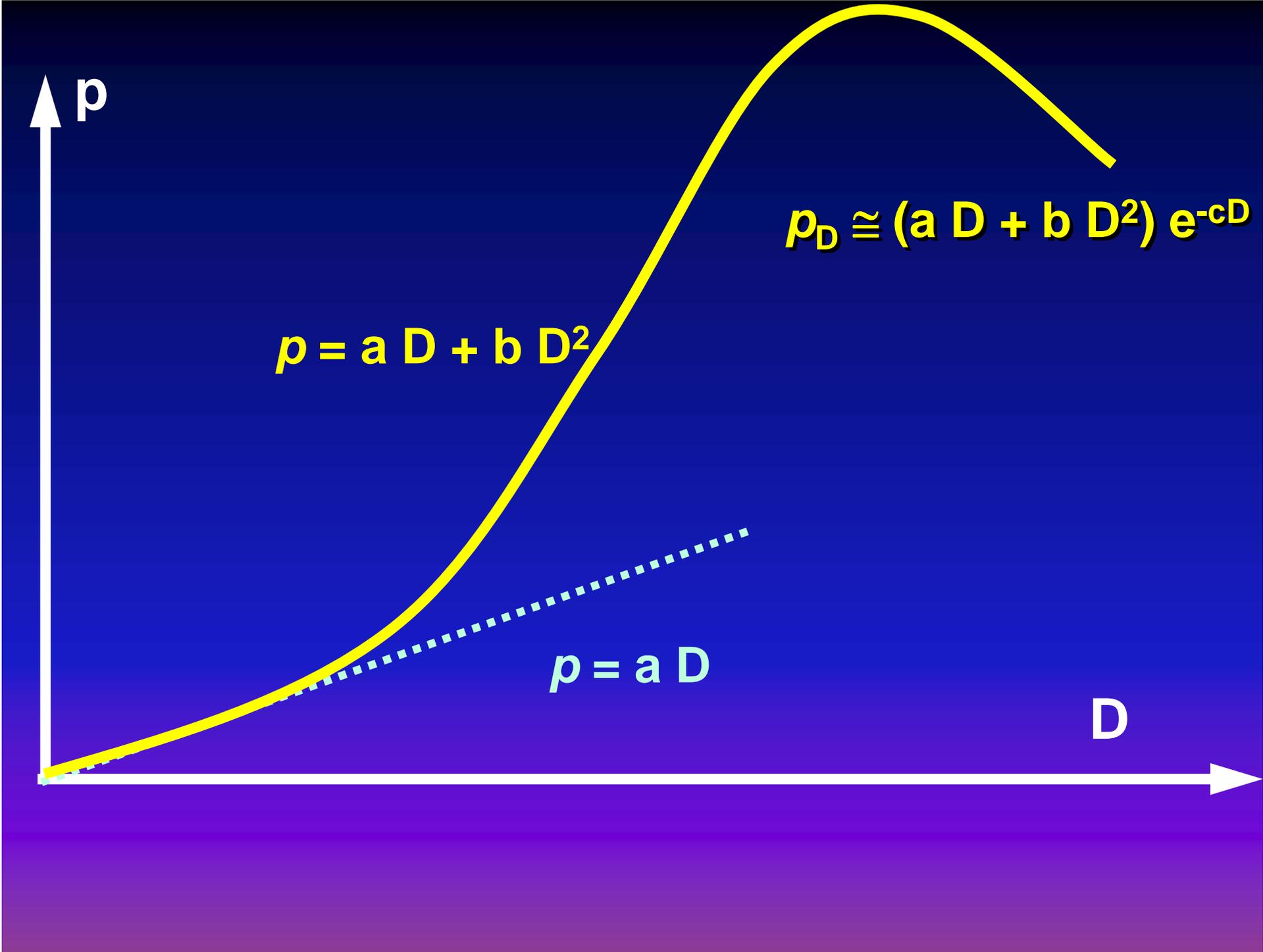
A bajas dosis la frecuencia de interacción es extremadamente baja:

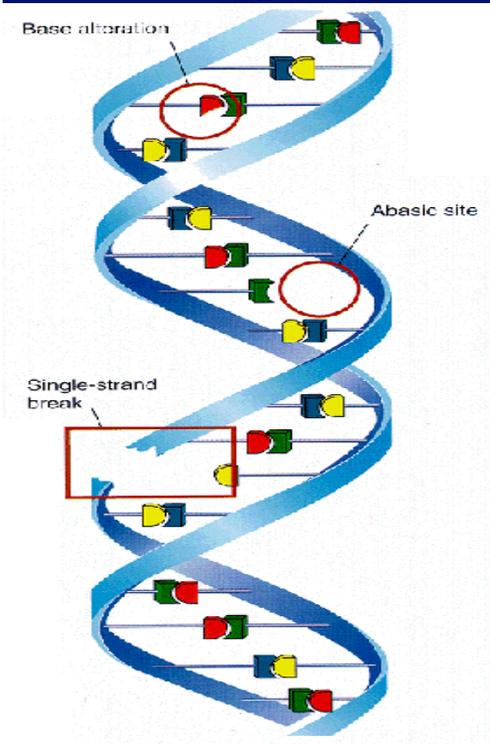
1mSv/año \Rightarrow 1 interacción / año/ célula

$$p_D \cong (a D + b D^2) e^{-cD}$$

$$p_D \cong a D$$

Que representa una relación lineal a bajas dosis.





Mutación del ADN

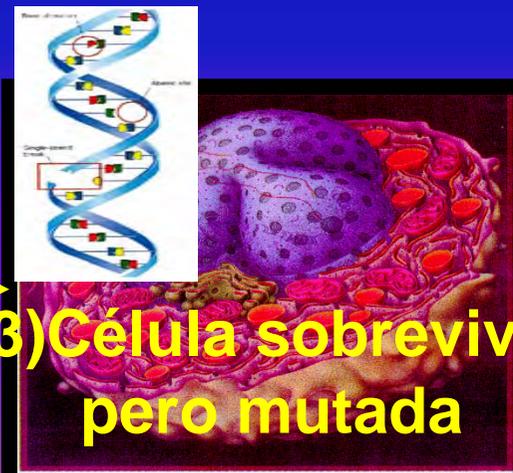
$$\rho_D \cong a D$$



Célula Viable



Efectos determinísticos



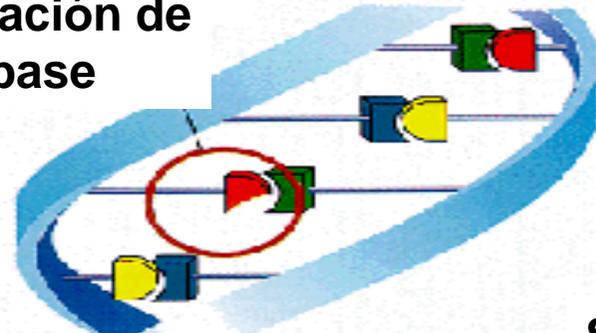
Efectos estocásticos

Primer resultado posible: la mutación es reparada

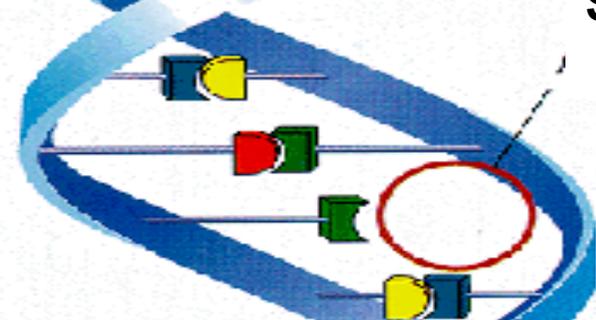


Célula Viable

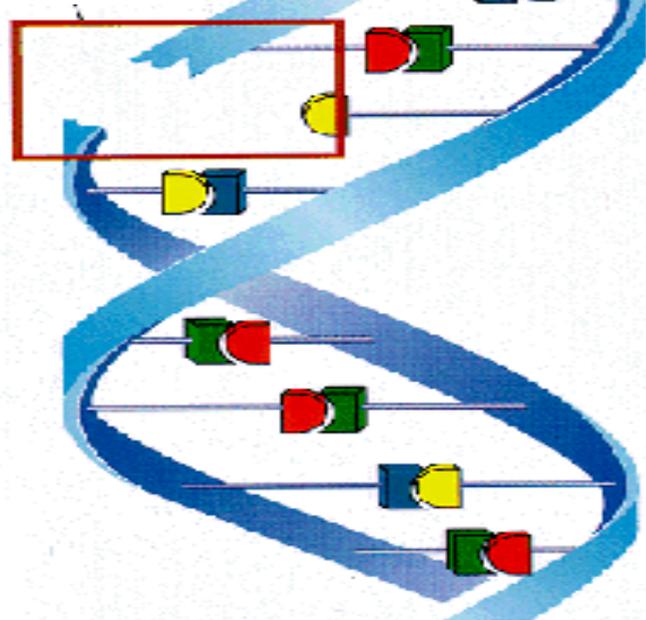
Alteración de una base



Sitio sin base



Rotura de un helicoide



BASE ALTERADA →

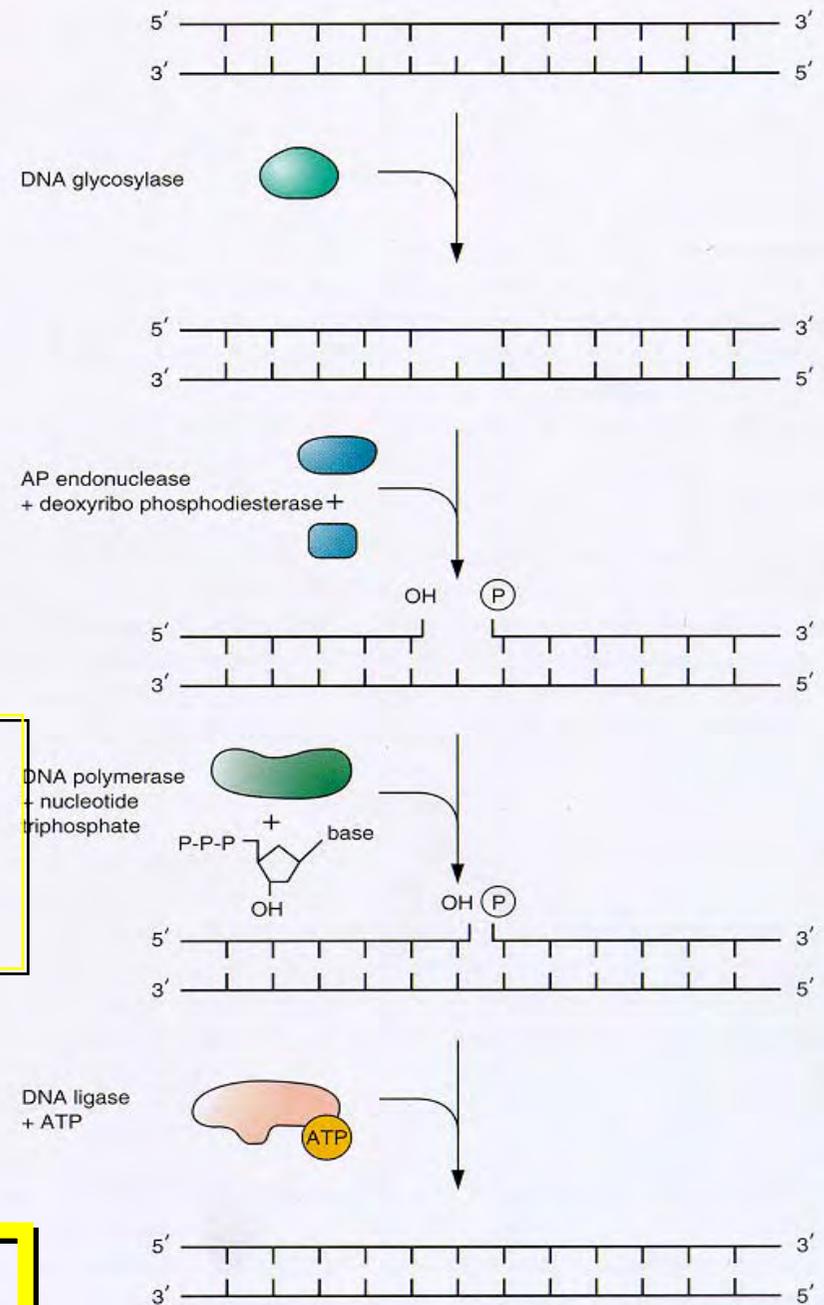
Lesión reconocida por la enzima **Glycosylasa** que libera la base dañada

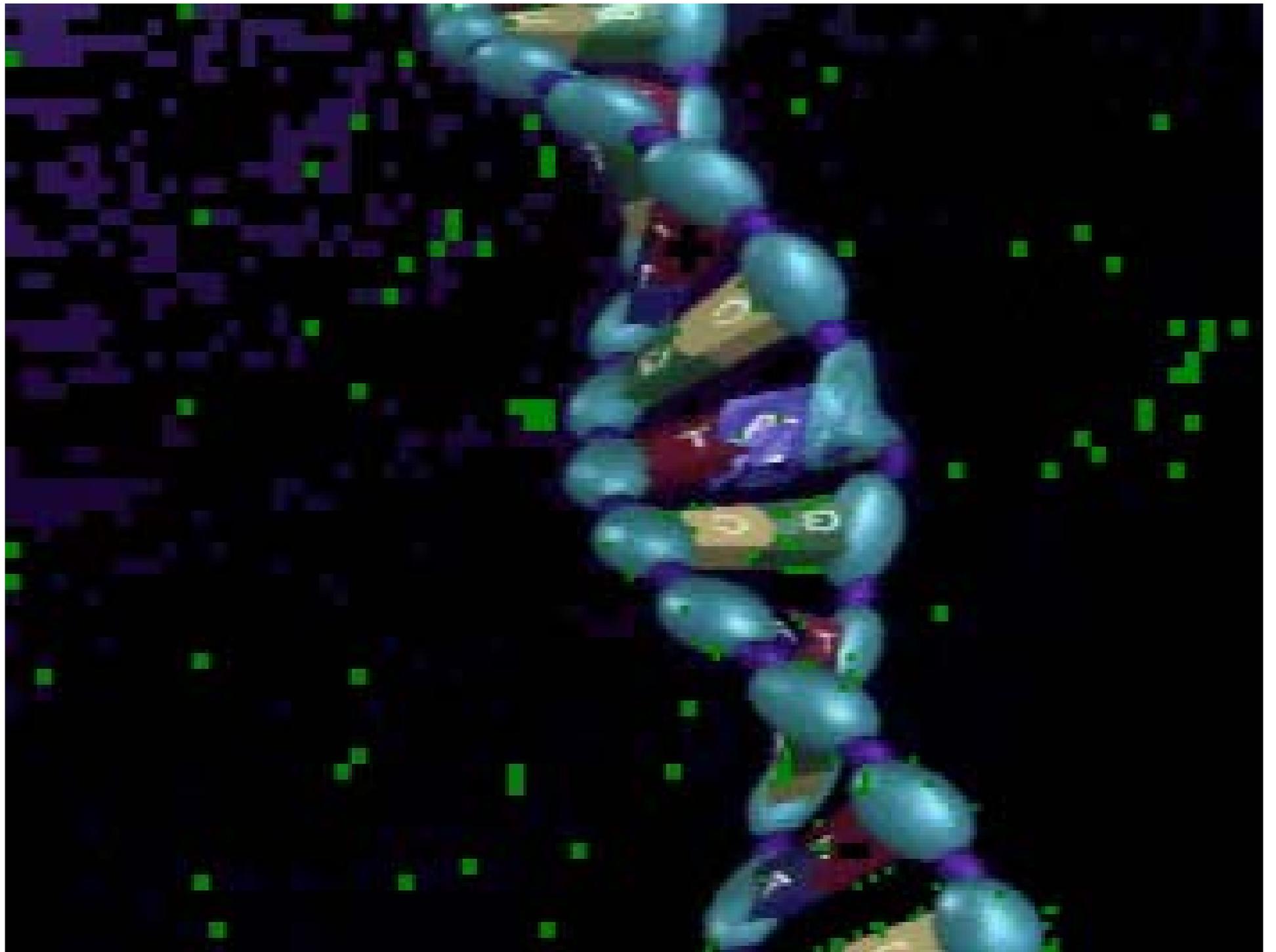
AP-endonucleasa hace una incisión que libera el azúcar remanente

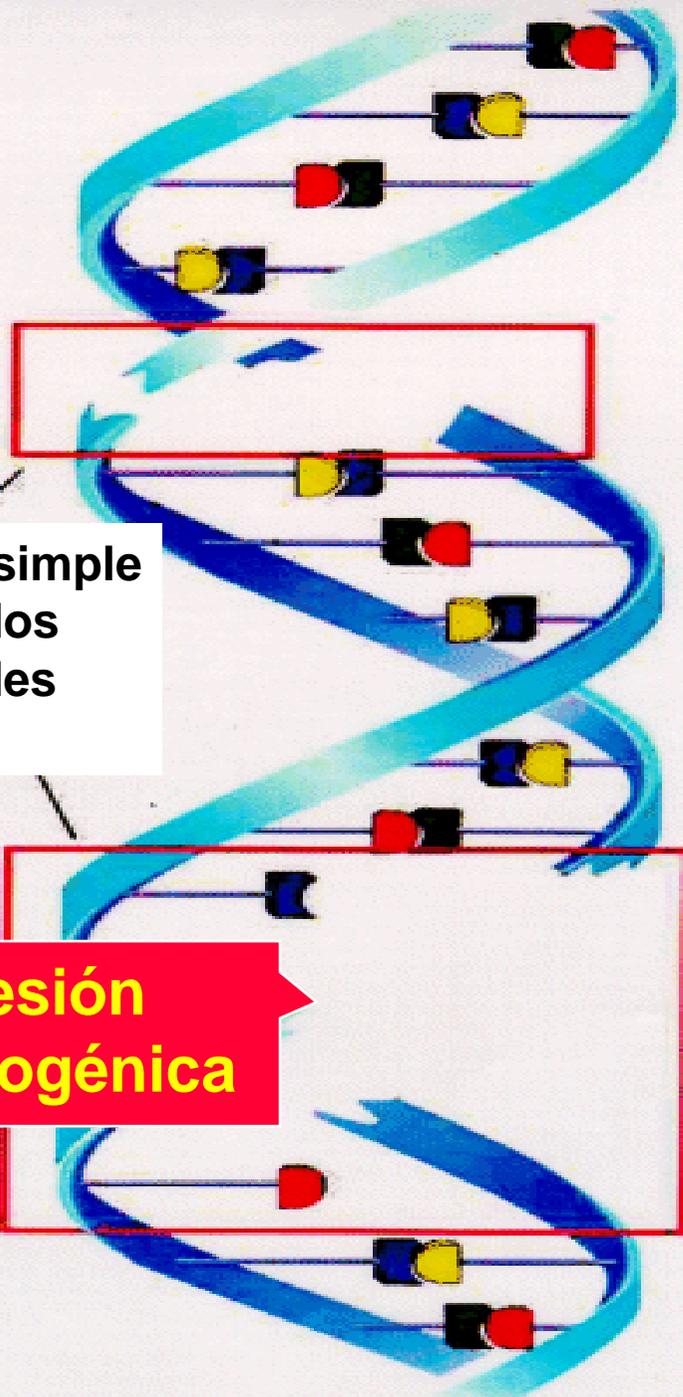
La brecha resultante se llena con **DNA-polymerasa**, pero queda una muesca en el DNA

Se completa la reparación: **DNA ligasa** sella la muesca

EL DNA HA SIDO REPARADO SIN PÉRDIDA DE INFORMACIÓN GENÉTICA







Rotura simple
de los dos
helicoides

The diagram illustrates a DNA double helix with two distinct types of damage. The top section shows a simple break in both strands, highlighted by a red rectangular box. The bottom section shows a clastogenic lesion, where a segment of one strand is missing, also highlighted by a red rectangular box. A red callout box with a yellow arrow points to this lesion.

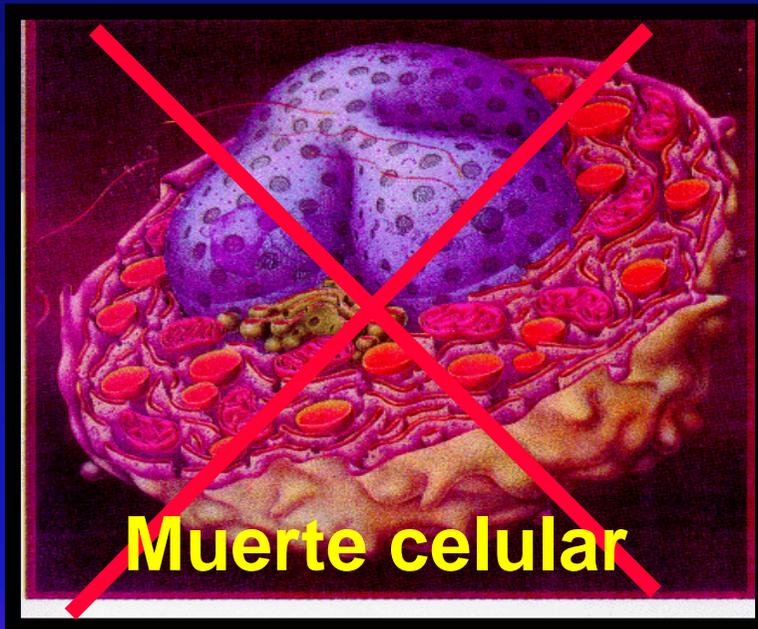
**Lesión
clastogénica**





Segundo resultado posible

La célula no es viable: muerte celular

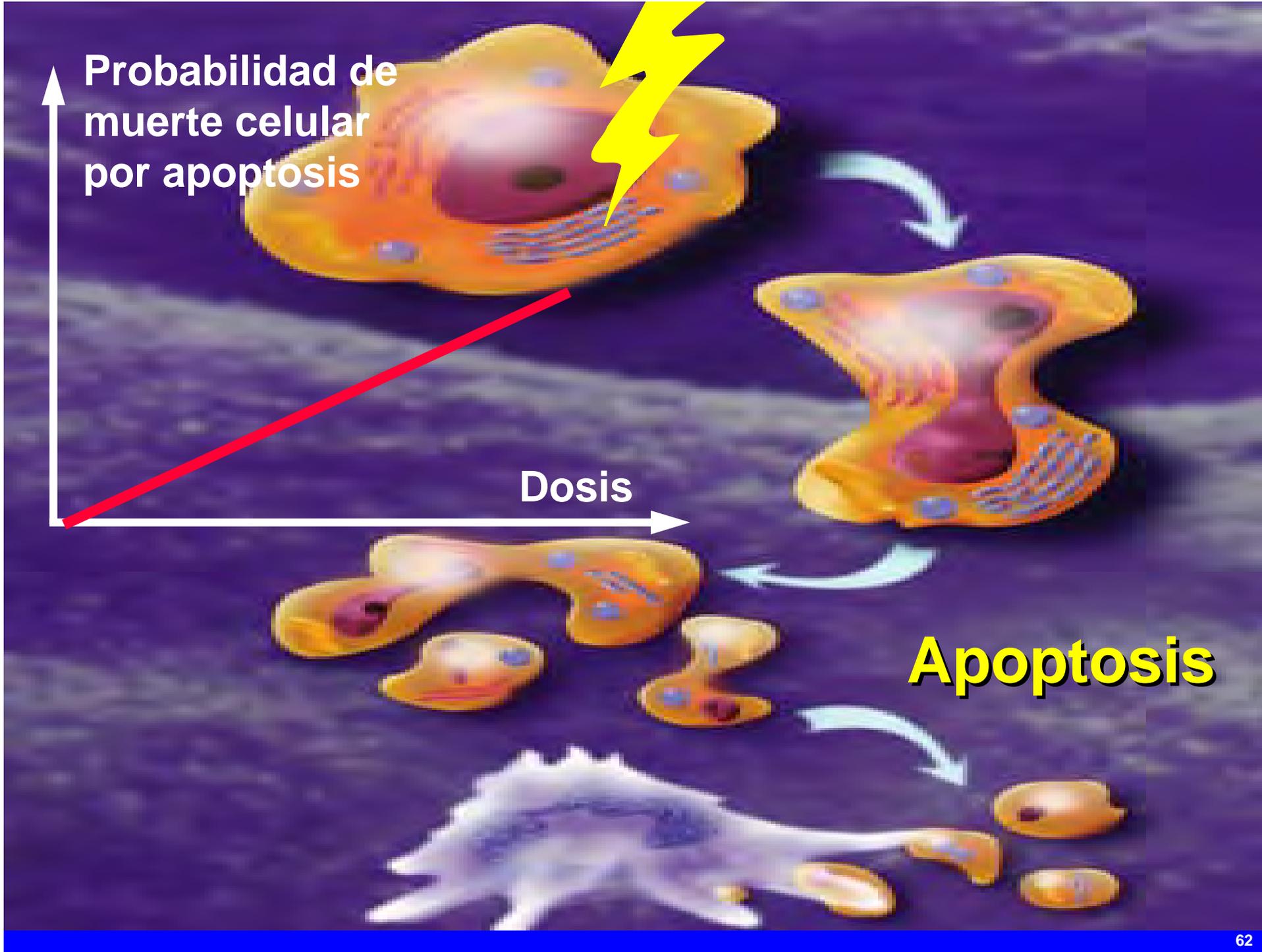


Célula no viable

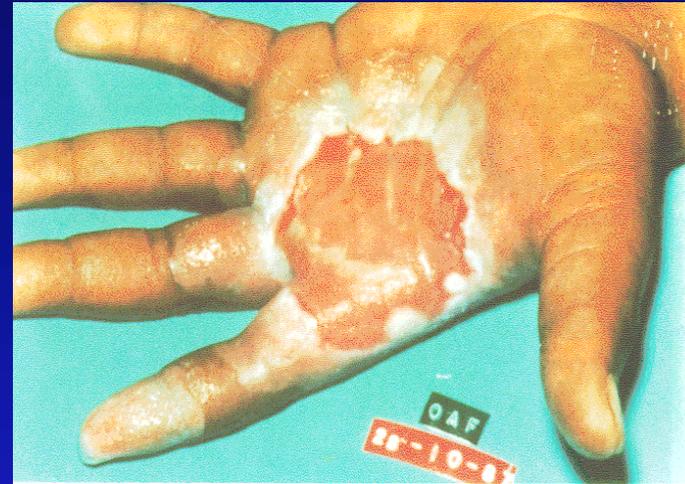
Probabilidad de muerte celular por apoptosis

Dosis

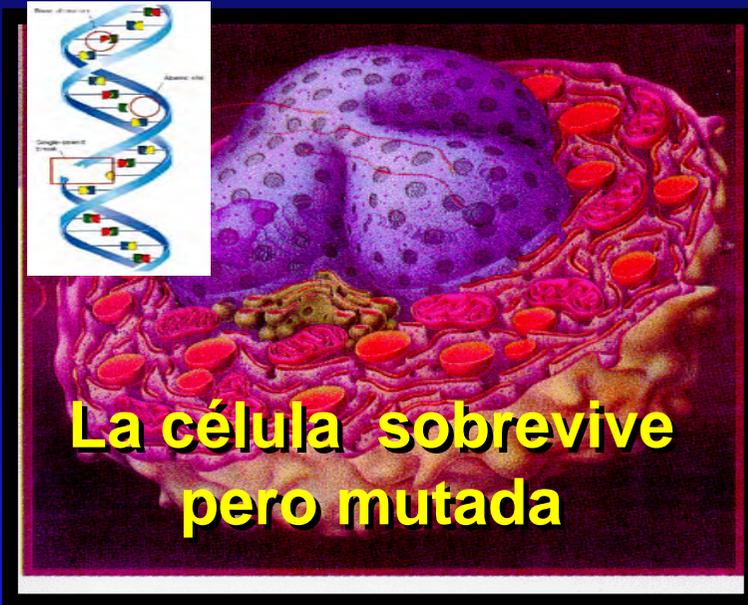
Apoptosis



Efectos determinísticos debidos a abundante muerte celular: quemaduras, y muerte

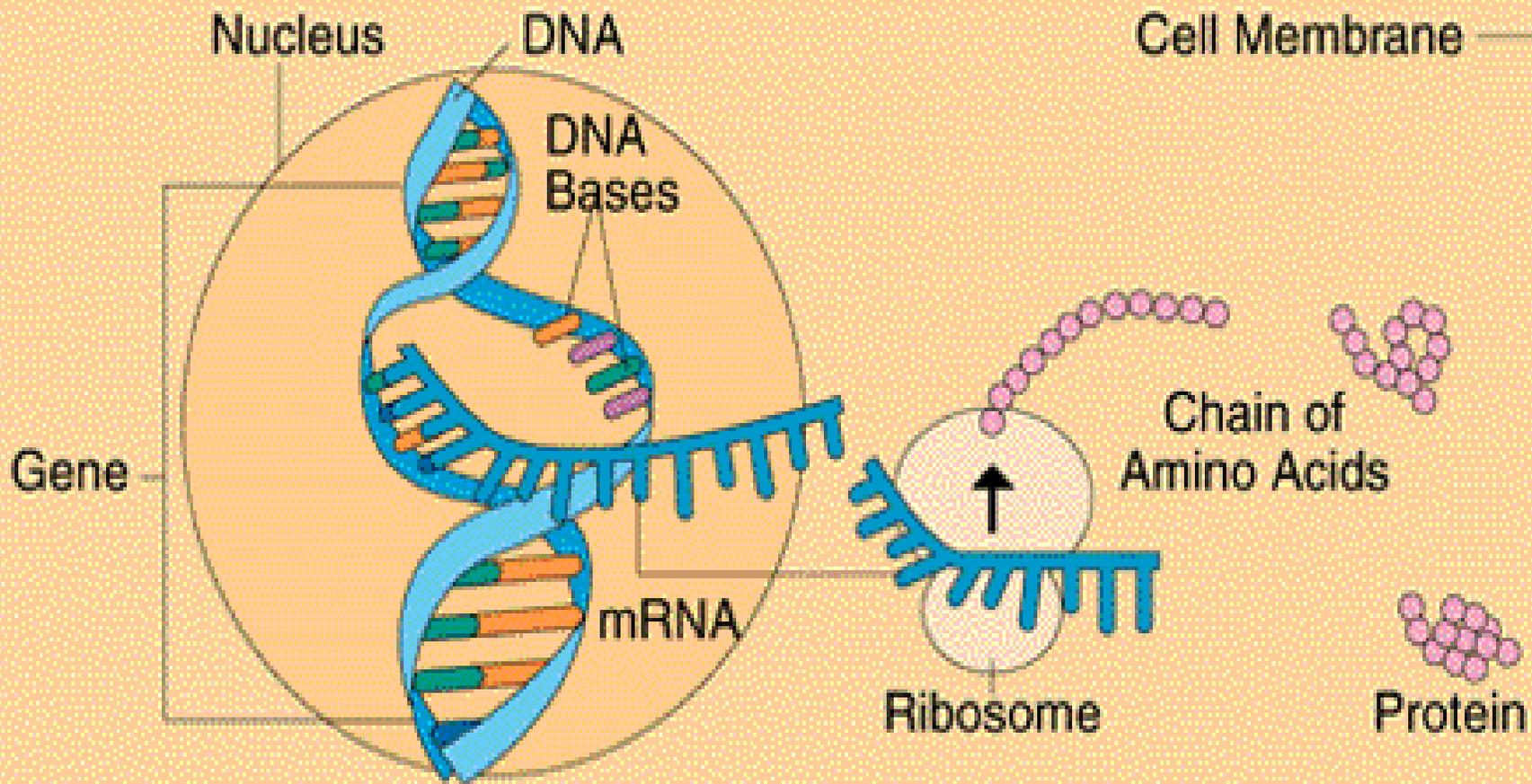


Tercer resultado posible: células mutadas que sobreviven a los procesos de apoptosis y son viables

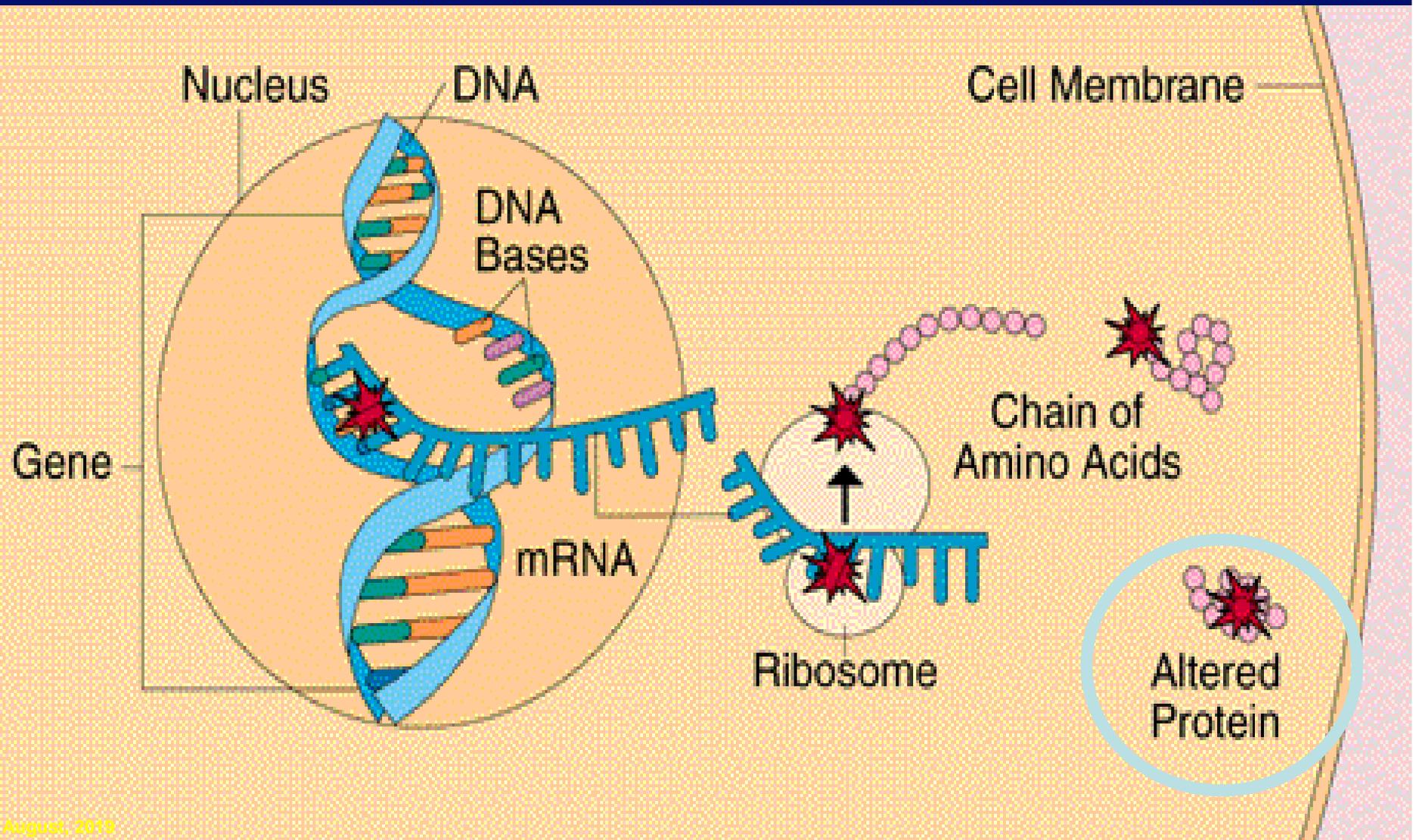


Proceso alterado

Proceso Normal

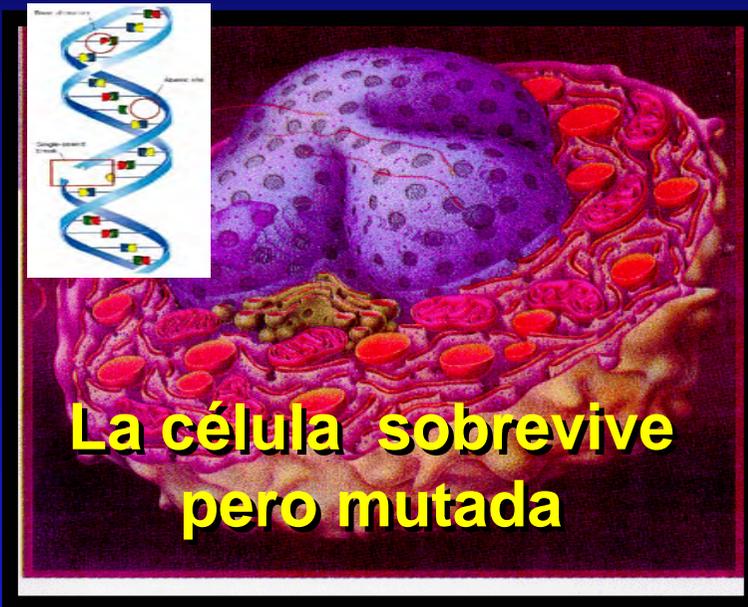


Proceso Alterado



Tercer resultado posible

La célula es viable, pero mutada



Efectos estocásticos

Efectos estocásticos



Cáncer



Heredables



Antenatales

Genes Relacionados con la Génesis del Cáncer

- **Proto-Oncogenes**
- **Genes Supresores de Tumores**
- **Genes Generadores de Apoptosis**
- **Genes Reparadores del ADN**

Opinión prevaleciente sobre la inducción de cáncer por radiación

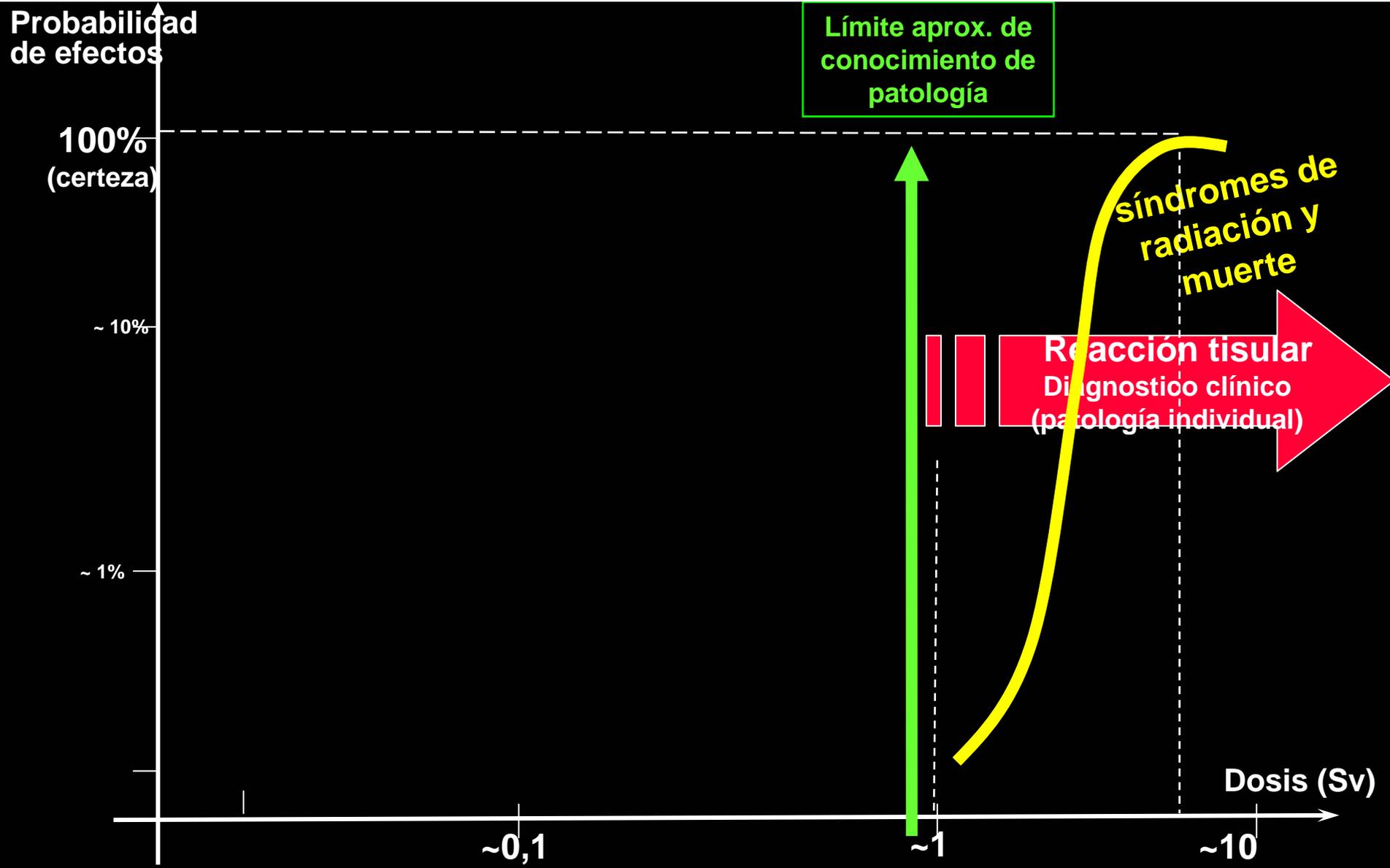


Efectos de la radiación en la salud

Efectos tempranos

(determinísticos – reacciones tisulares)

Radiopatología



Exposición accidental en la medicina

La radioterapia supone la administración de dosis altas a los pacientes. Por ello, es prioritario prevenir los efectos agudos.

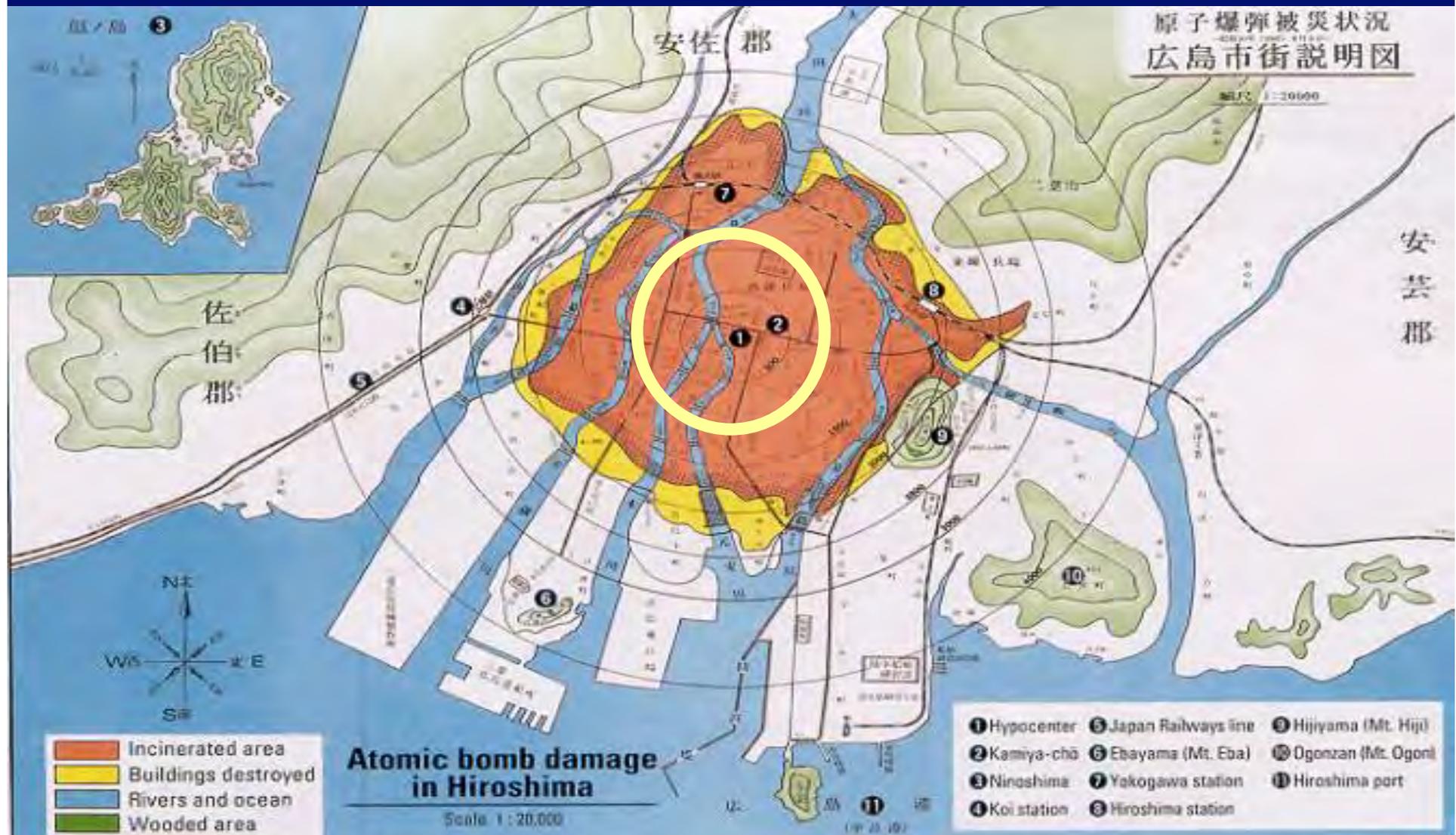


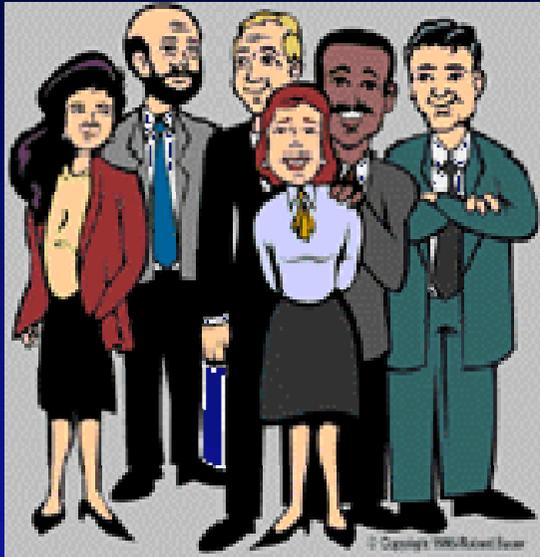
**Efectos diferidos
(estocásticos)**

Radioepidemiología

Cohorte de Hiroshjima y Nagasaki

Sobrevivientes: 86,500 individuos





Control

“**N**” personas
“**C**” cánceres
“**n**” probabilidad
de cáncer ‘natural’



Grupo expuesto

“**N**” personas
“**E**” cánceres
“**n**” probabilidad de
cáncer ‘natural’
“**p**” probabilidad de
cáncer de radiación

Difícil de detectar!

E-C

$$C = n N$$

Número de cánceres en control

$$E = n N + p_d D N$$

Número de cánceres en grupo expuesto

Significancia epidemiológica

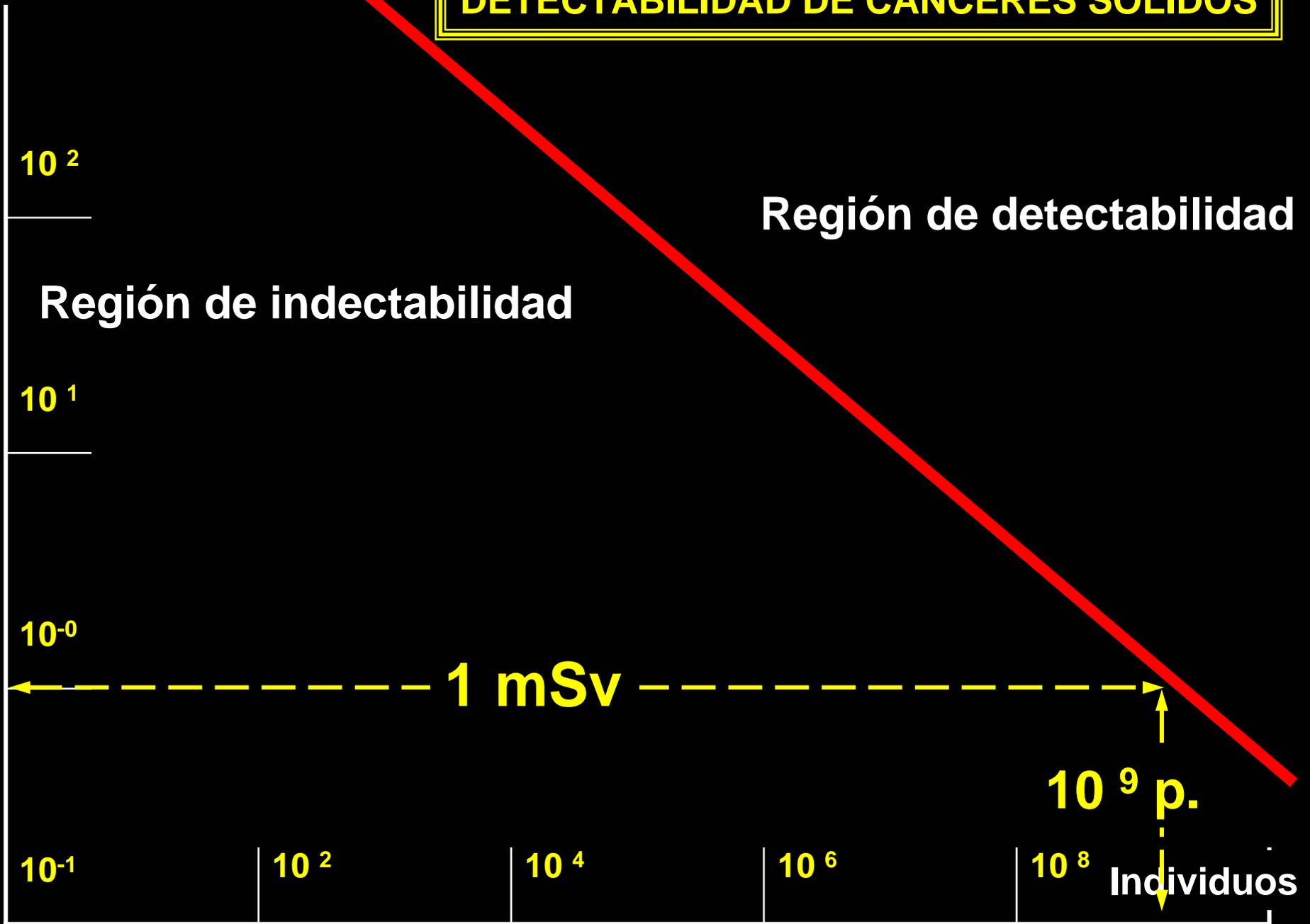
$$N \geq \frac{\text{Constante}}{D^2}$$

La ecuación que indica el número de personas, **N**, requeridas para detectar un exceso de cánceres a una dosis **D**.

$$(\text{Constante} = 8 n / p_d^2)$$

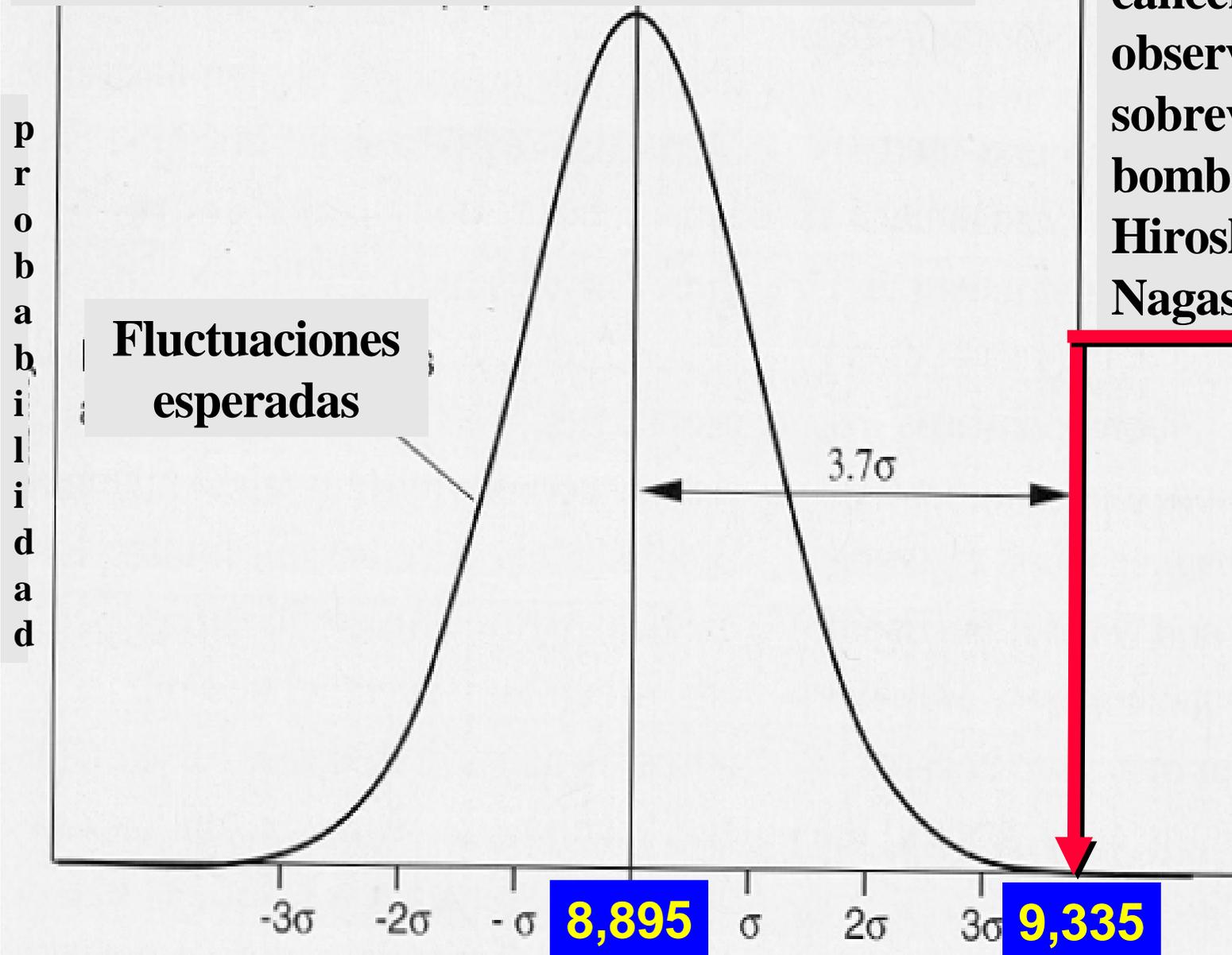
Dosis (mSv)

DETECTABILIDAD DE CÁNCERES SÓLIDOS



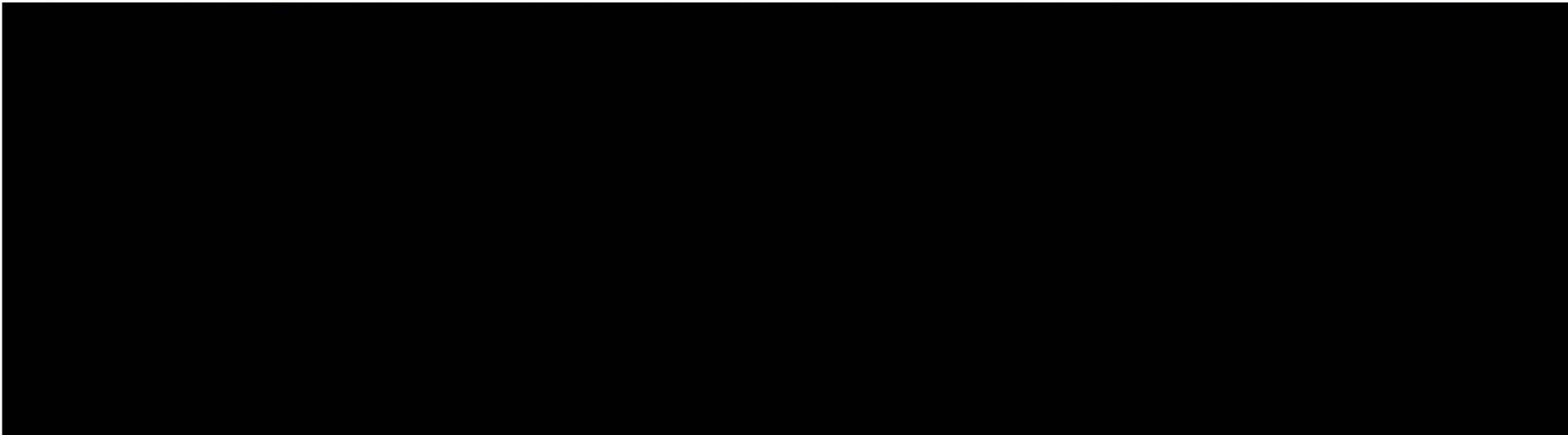
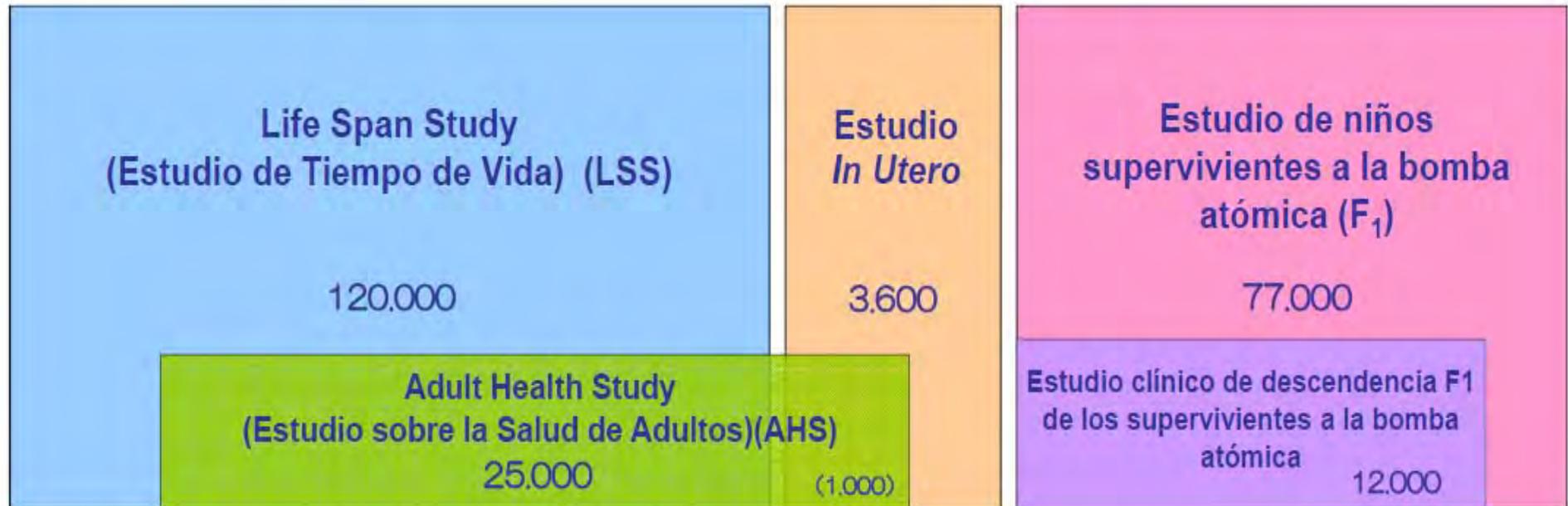
Número de muertes por cáncer esperadas en la población sobreviviente al bombardeo

Numero de cánceres observados en los sobrevivientes del bombardeo de Hiroshima y Nagasaki.

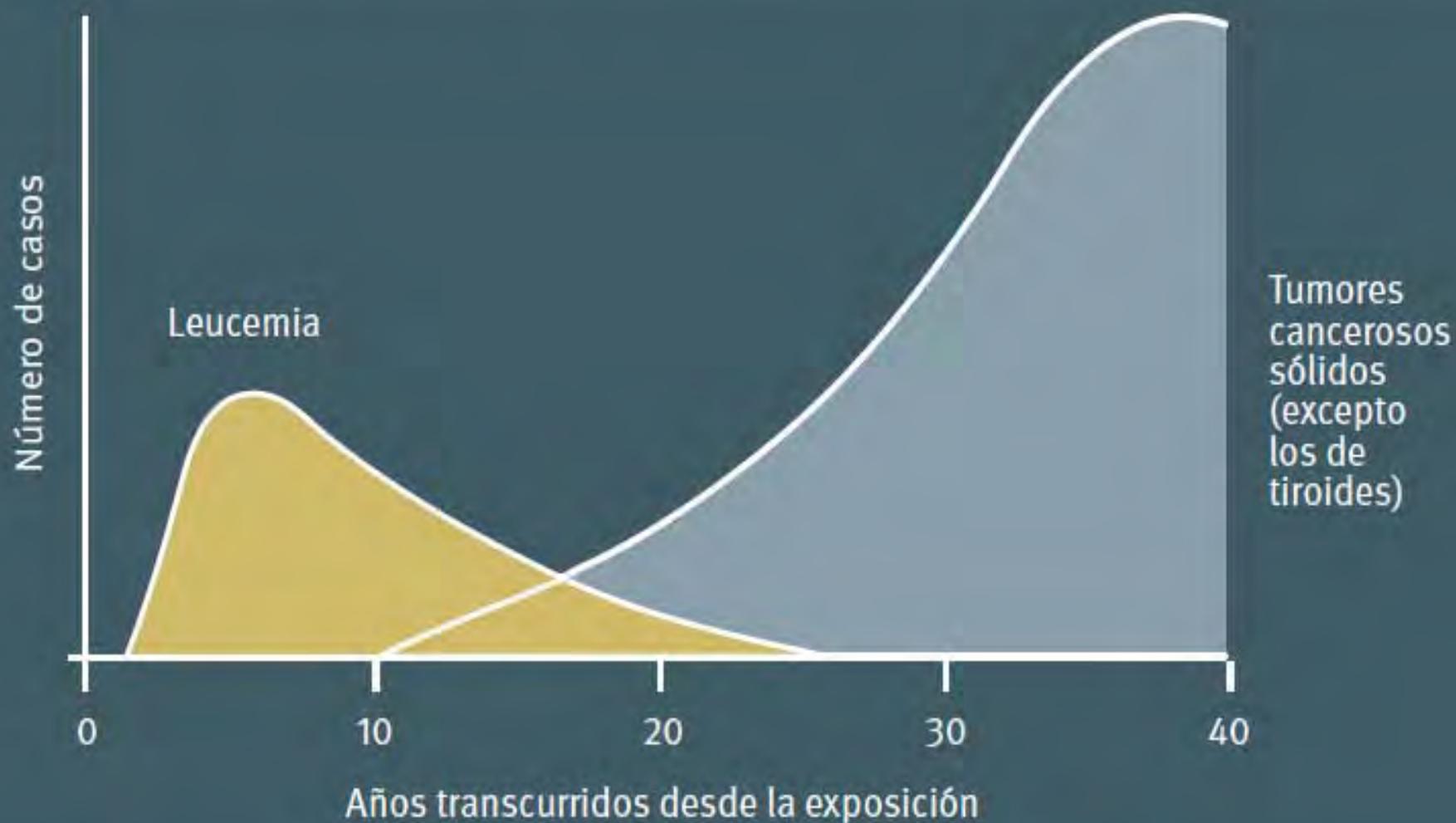


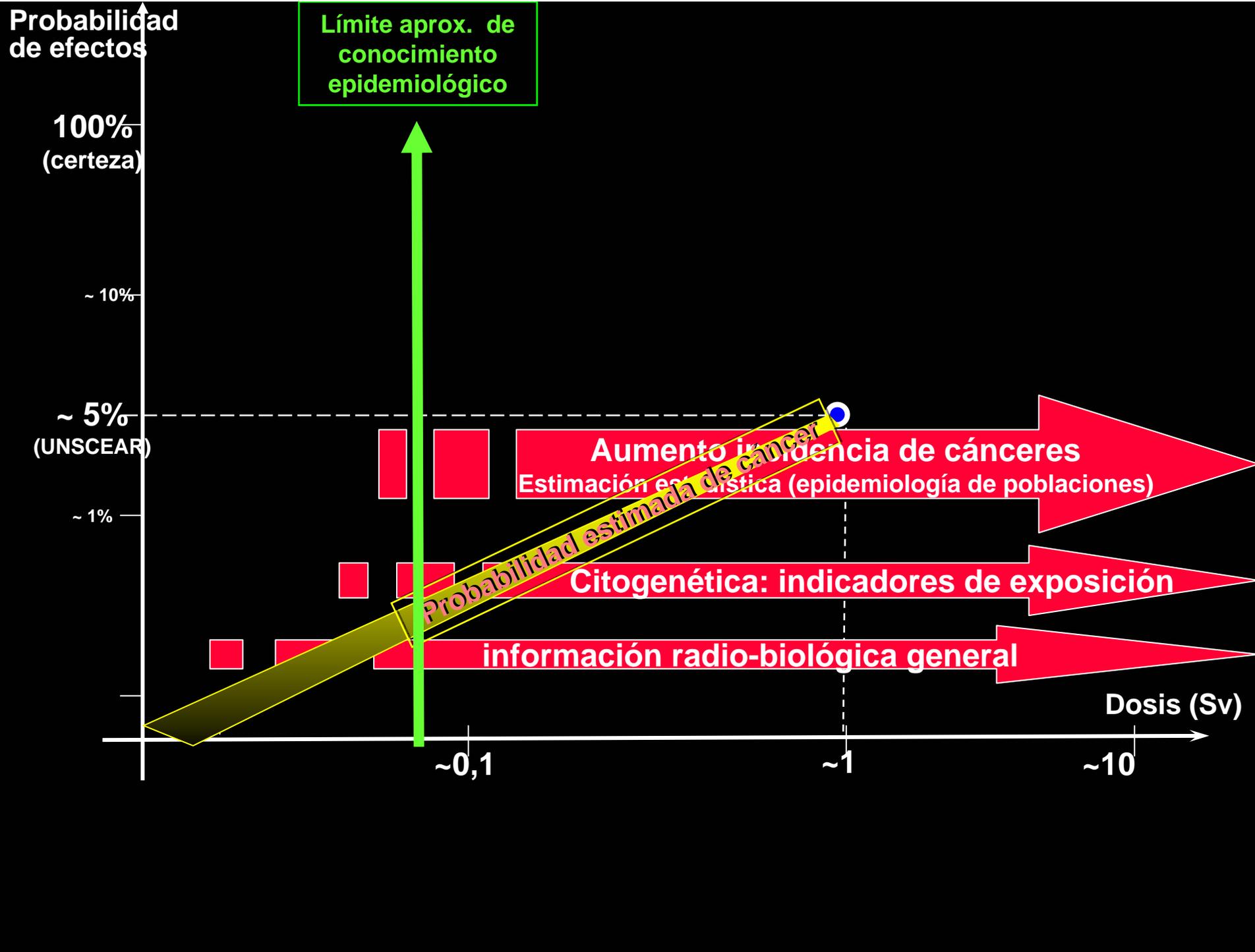
Número de muertes por cáncer

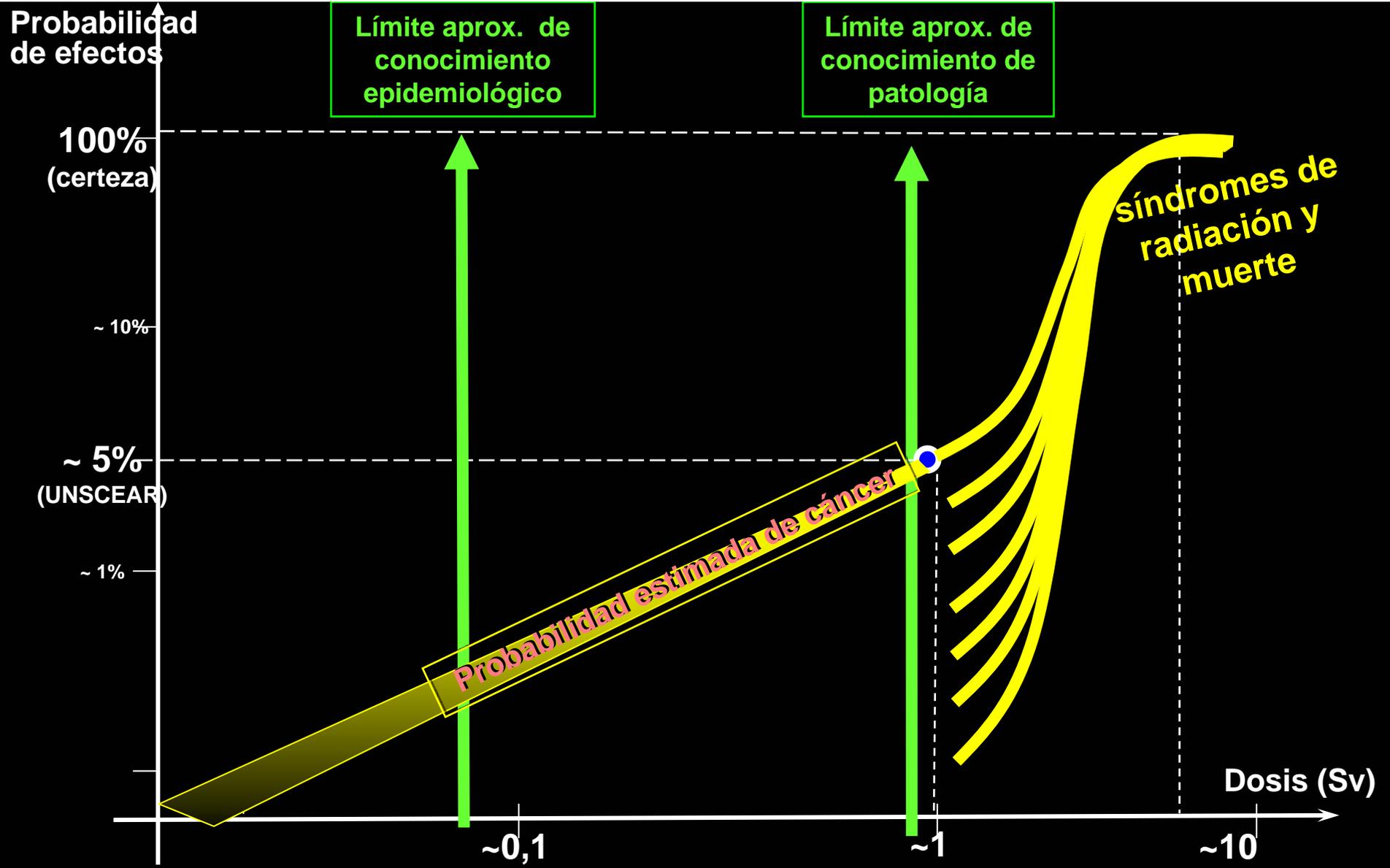
Cohortes de Estudio de la RERF



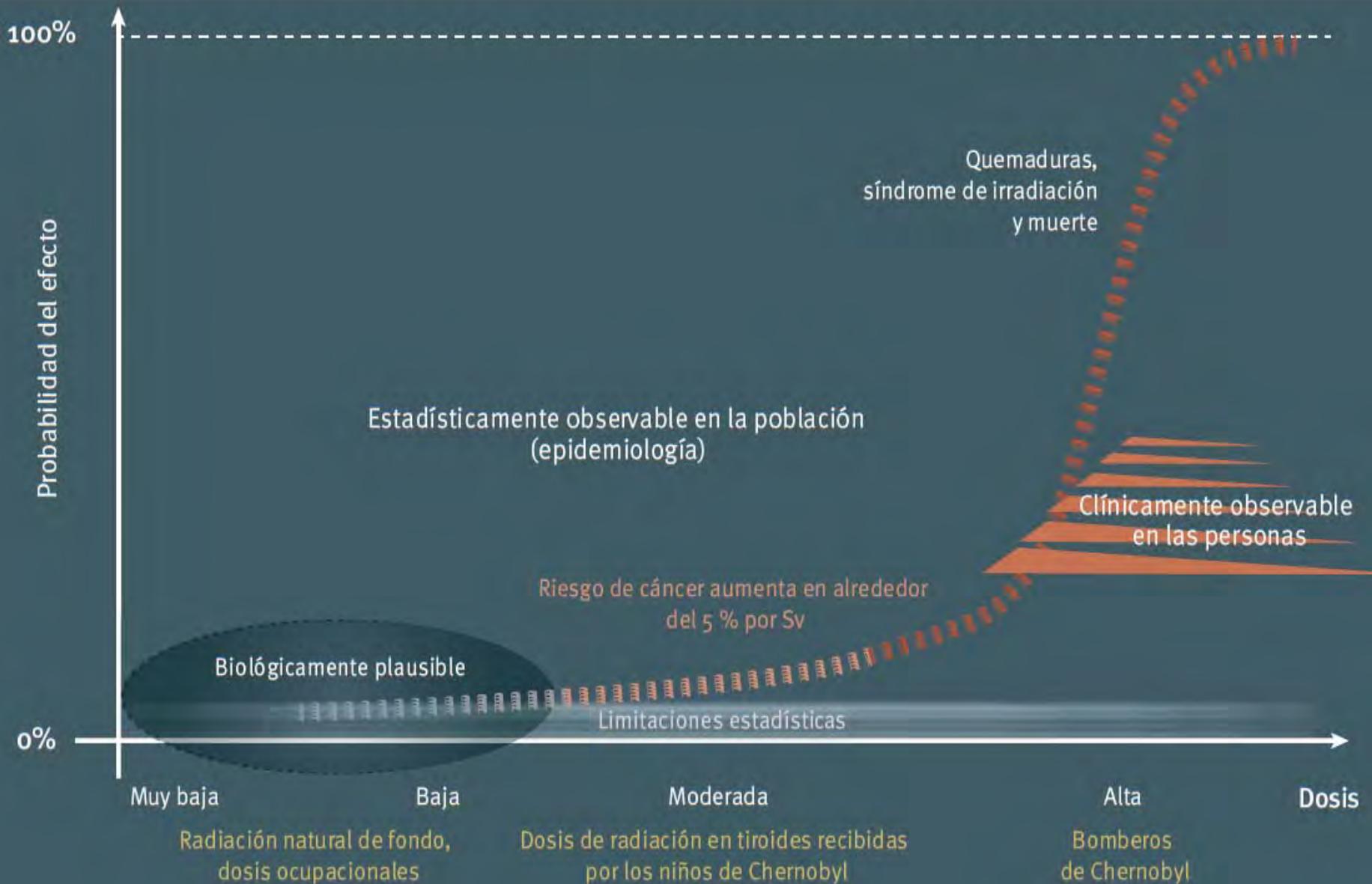
Aparición de un cáncer tras exposición a radiación





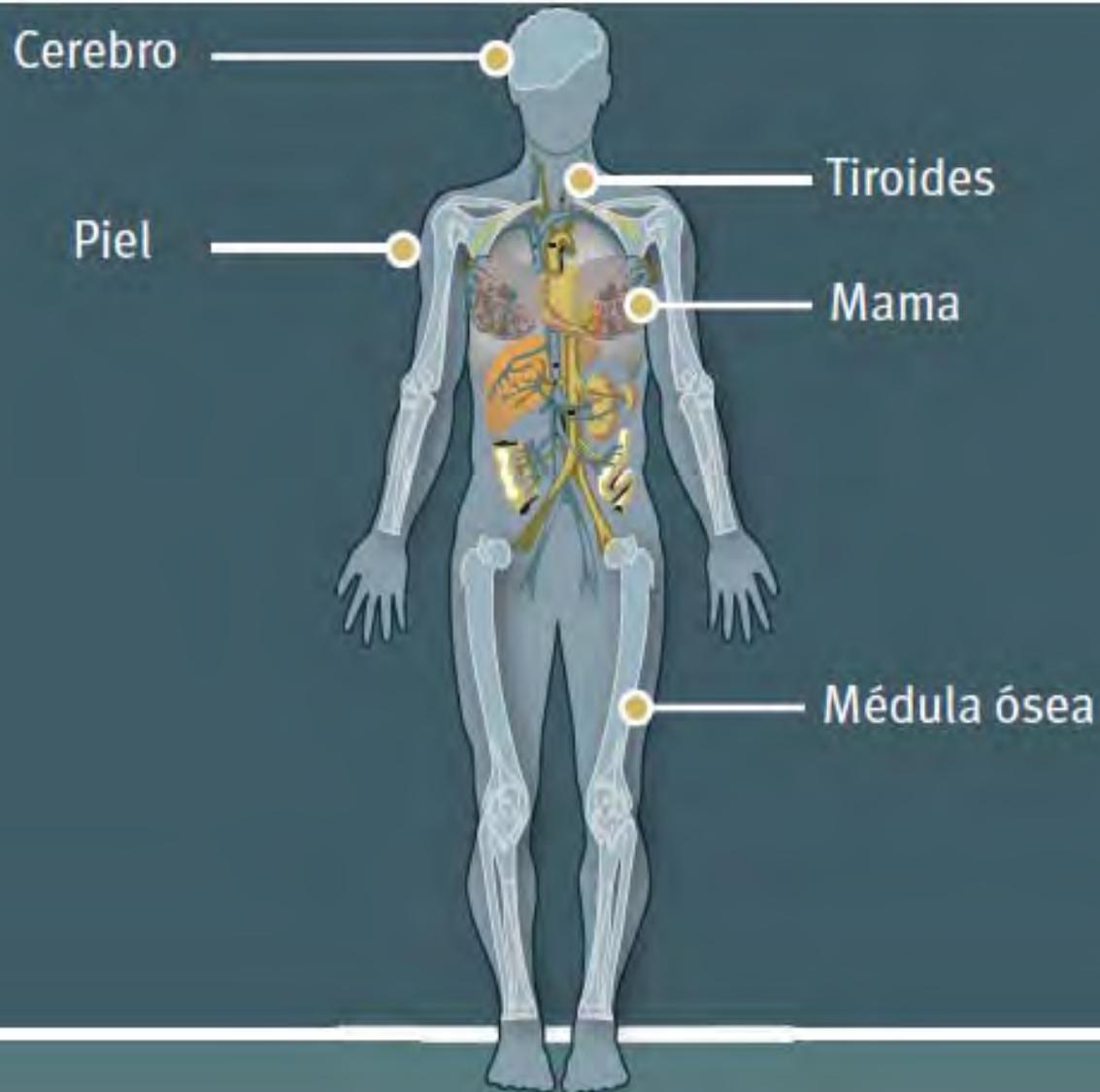


Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



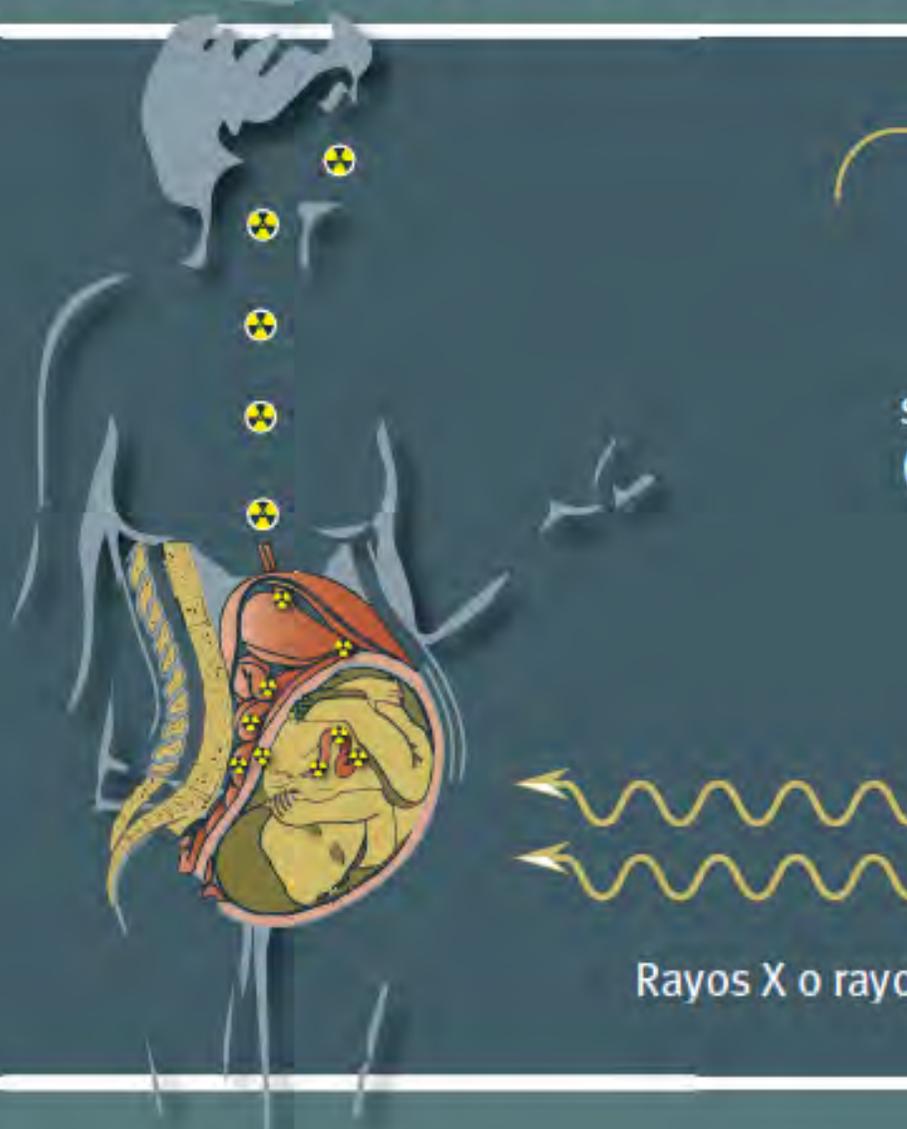
Efectos en niños nacidos y por nacer

Órganos especialmente radiosensibles de los niños



Los niños y adolescentes menores de 20 años expuestos a radiación tienen alrededor del doble de probabilidades de contraer un **tumor cerebral** que los adultos expuestos a la misma dosis. Se ha observado un riesgo similar de **cáncer de mama** entre las niñas y adolescentes menores de 20 años expuestas a radiación.

Vías de exposición de los embriones a radiación



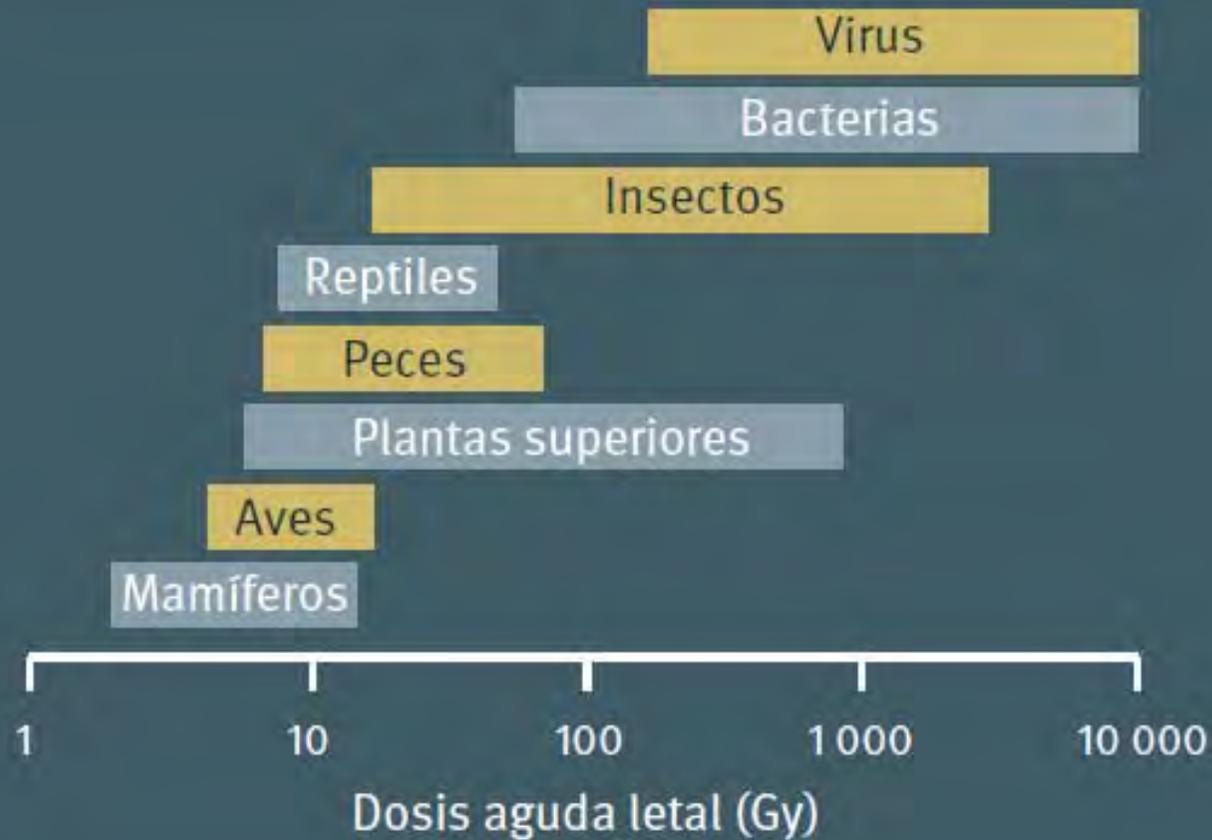
Exposición interna
debida a la ingestión de
radiofármacos o alimentos
sólidos y líquidos radiactivos
(contaminados) por la madre.

Vía externa
por exposición de la madre
a rayos X o rayos gamma.

Rayos X o rayos gamma

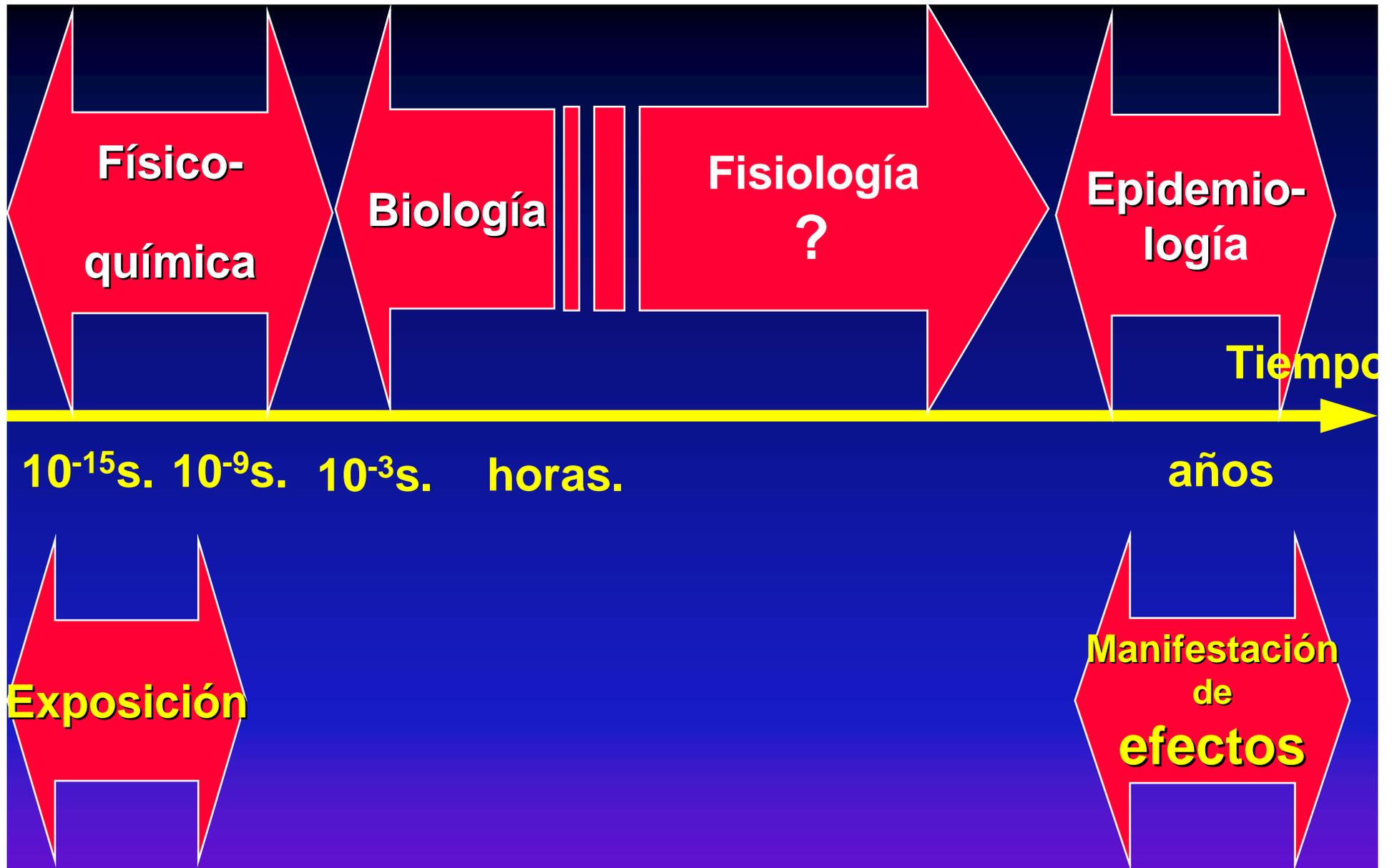
Efectos en los animales y las plantas

Rangos de las dosis agudas letales para algunos animales y plantas



Hasta aquí fueron 'hechos verificables'.

Veamos ahora las 'conjeturas'



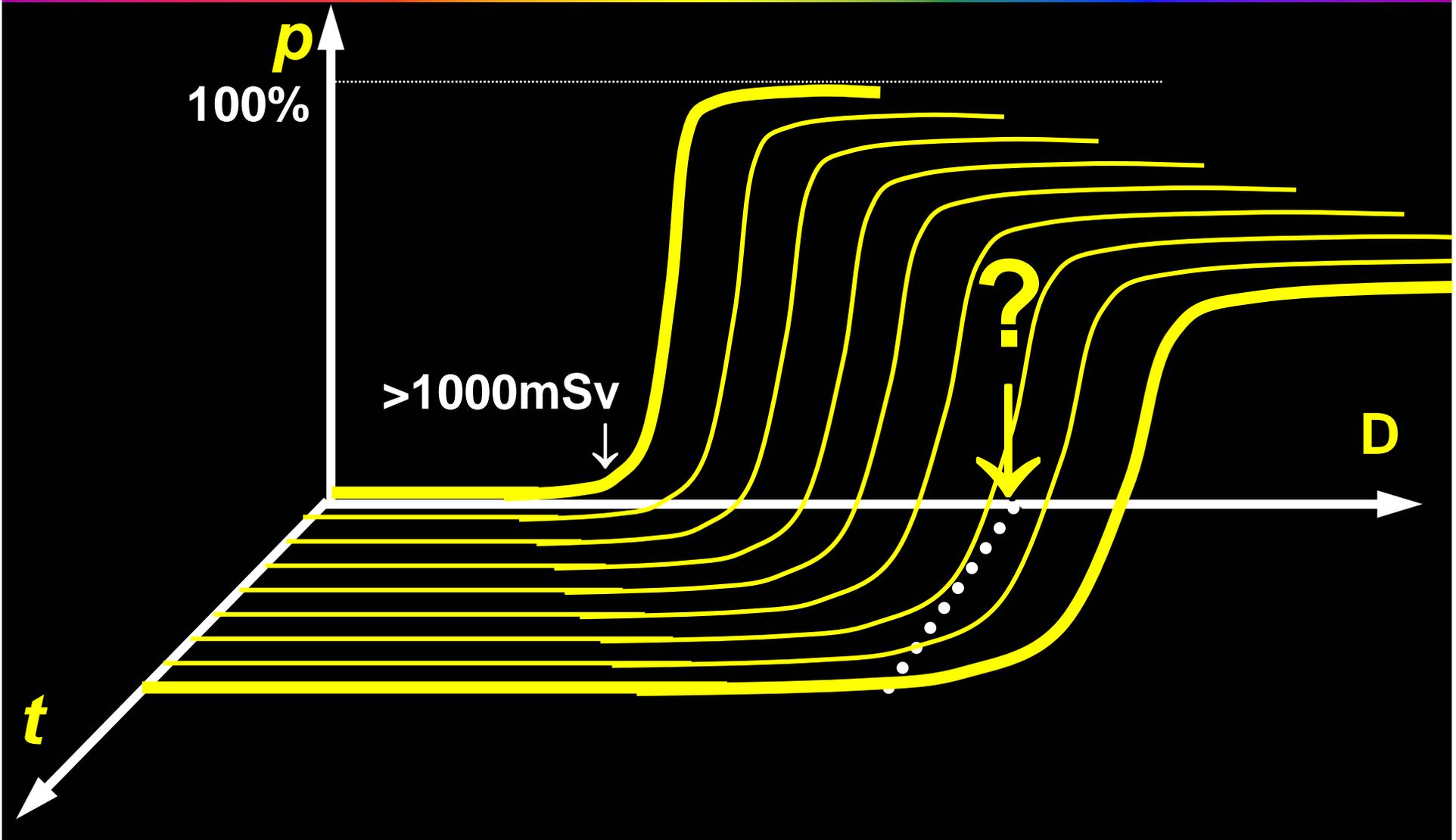
¡Modestia!:

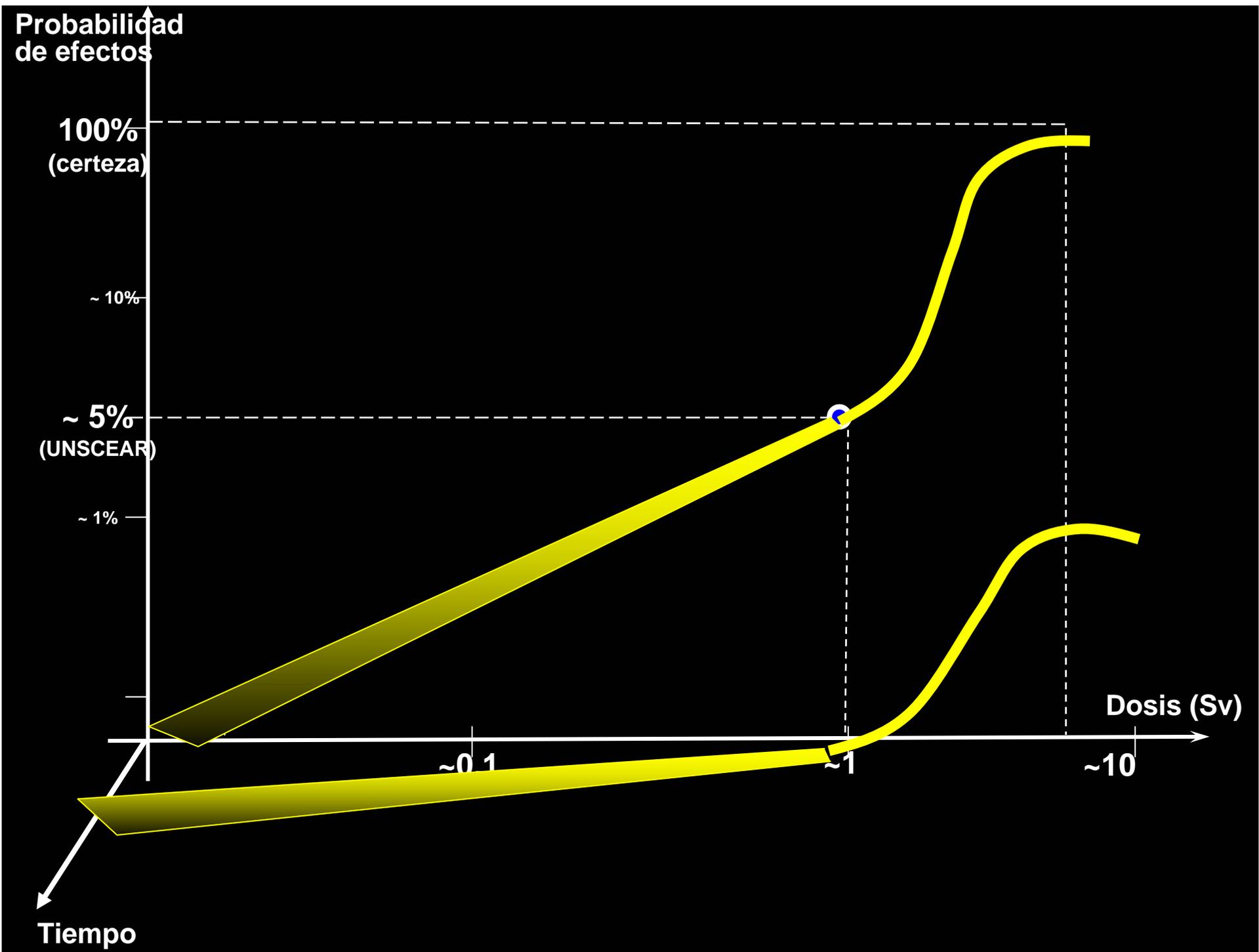
Reconocer que la escala de tiempo limita el saber

Primera conjetura:

**La respuesta con dosis
prolongadas es similar a la
respuesta a dosis agudas.**

Efectos determinísticos



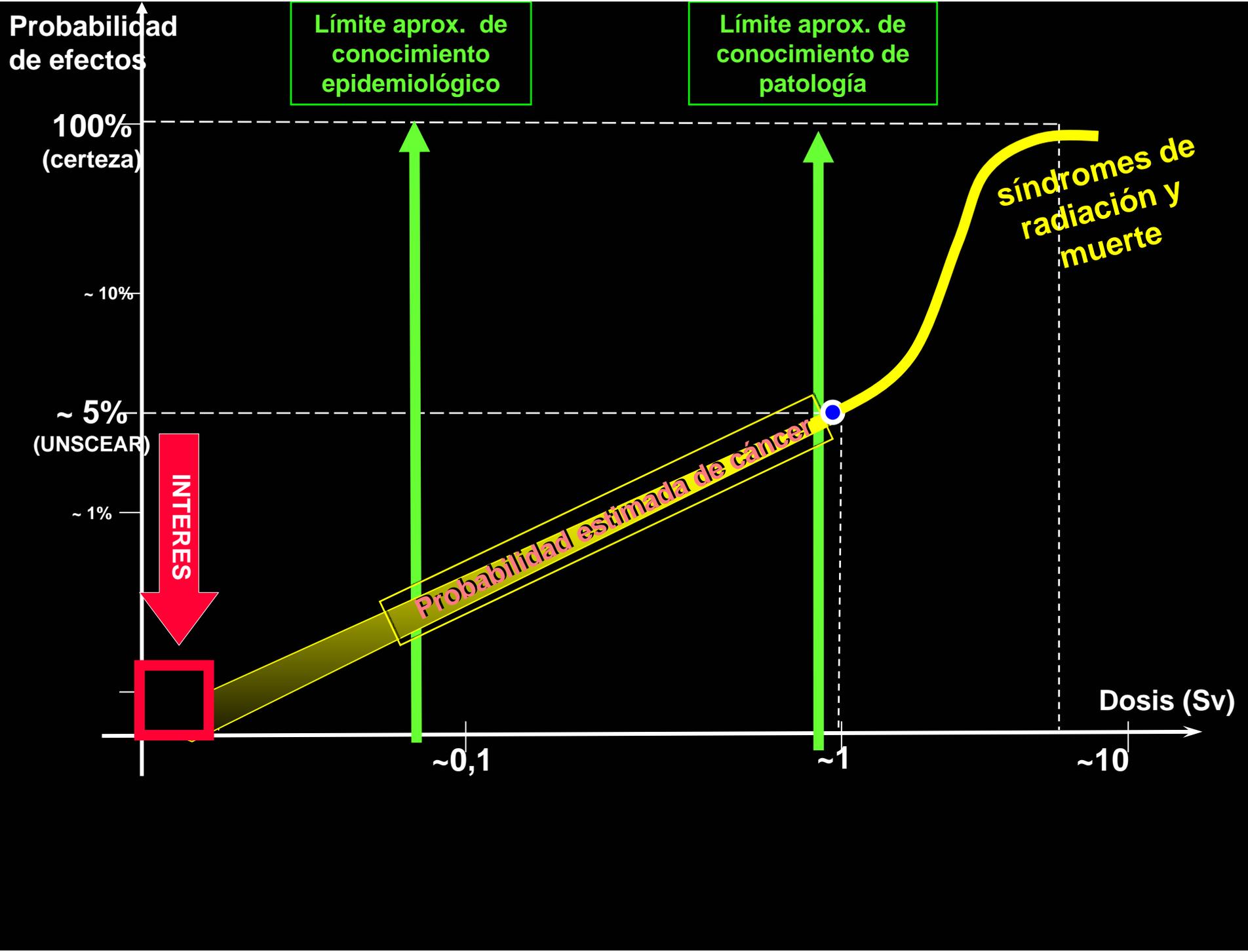


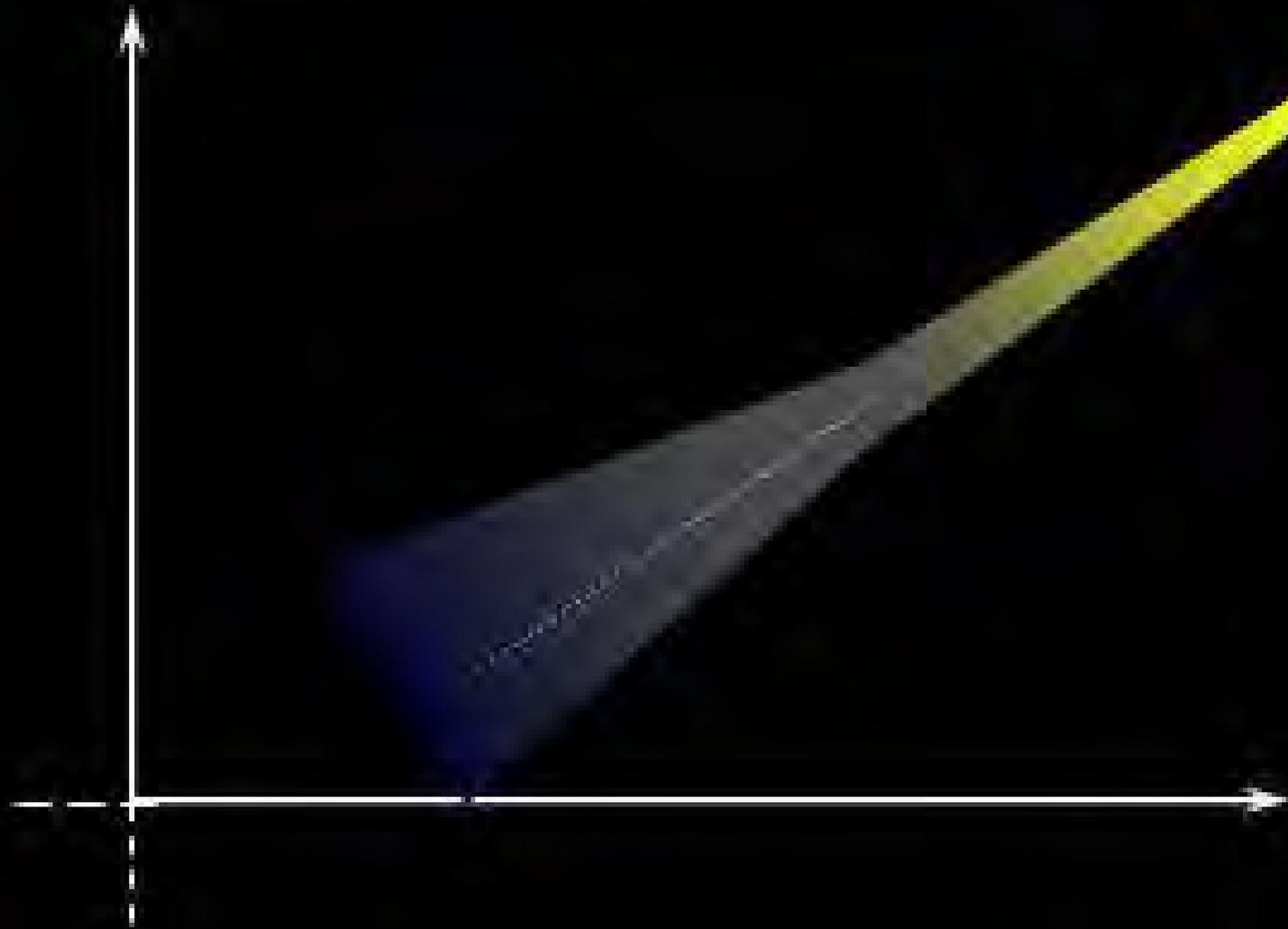
Segunda conjetura:

**La respuesta a bajas dosis es similar
a la respuesta a altas dosis.**

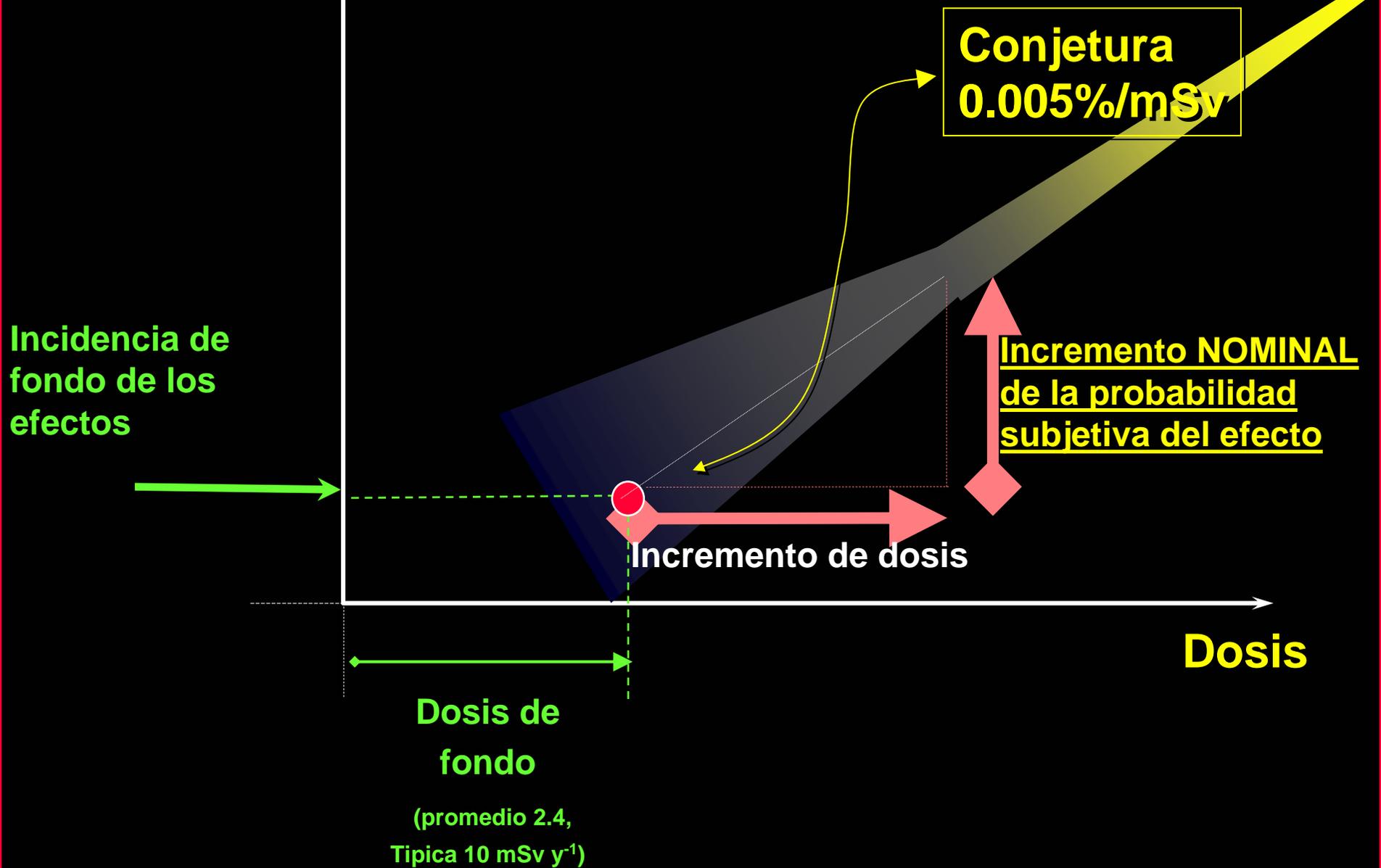
Probabilidad
de efectos tardíos

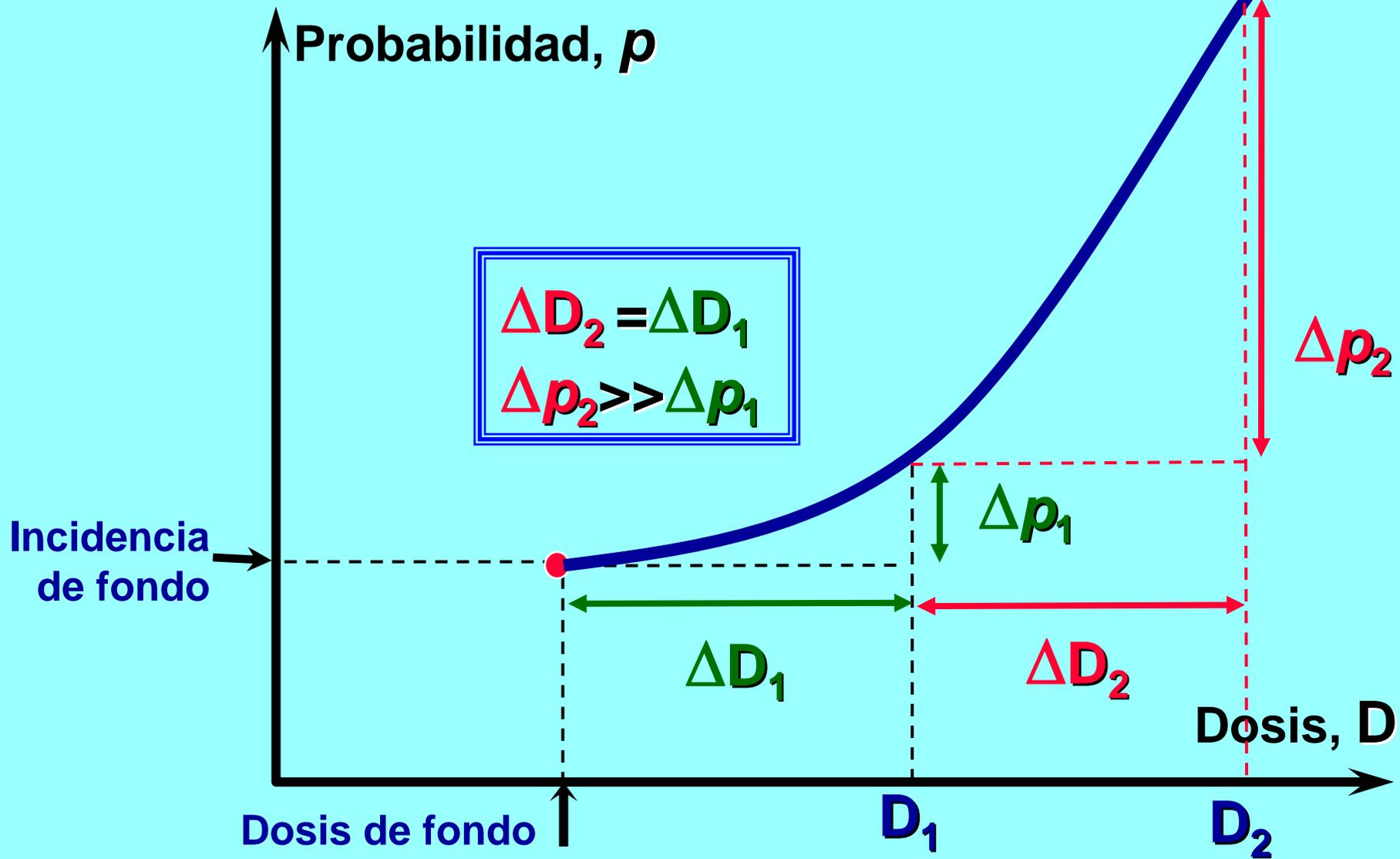




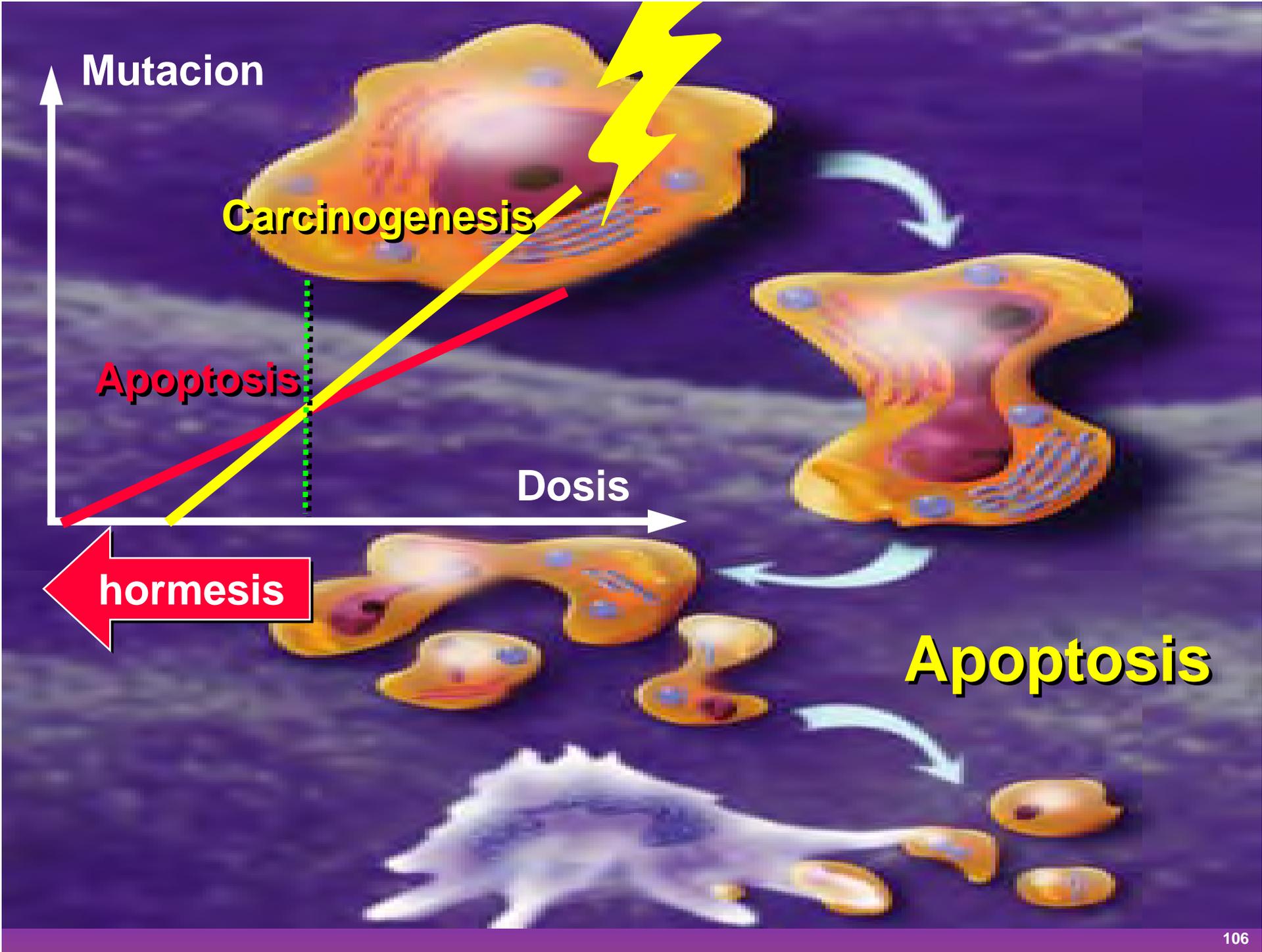


Probabilidad postulada de efectos

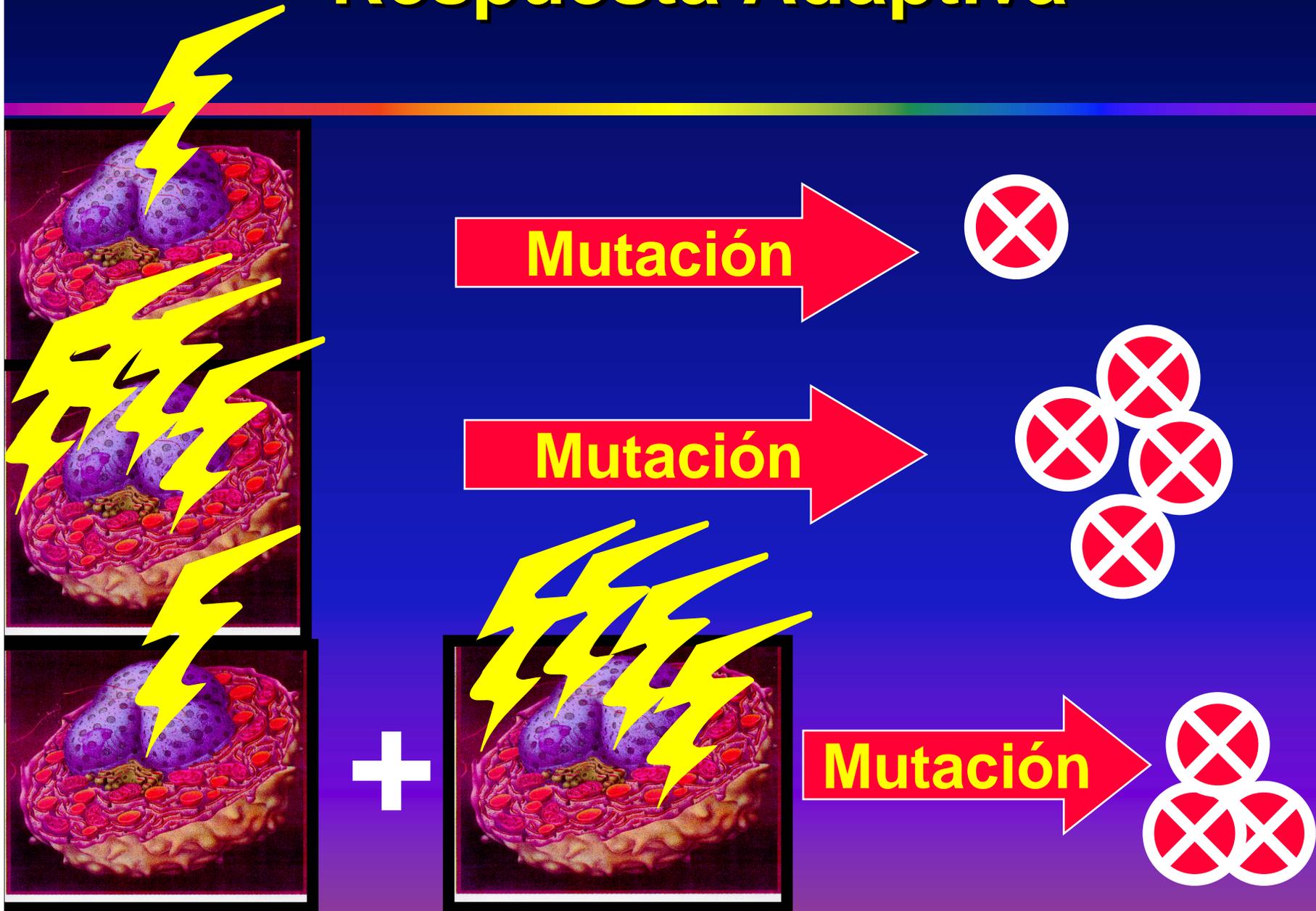




Tercera conjetura:
No influyen en el riesgo de
efectos fuera del blanco y
otros fenómenos

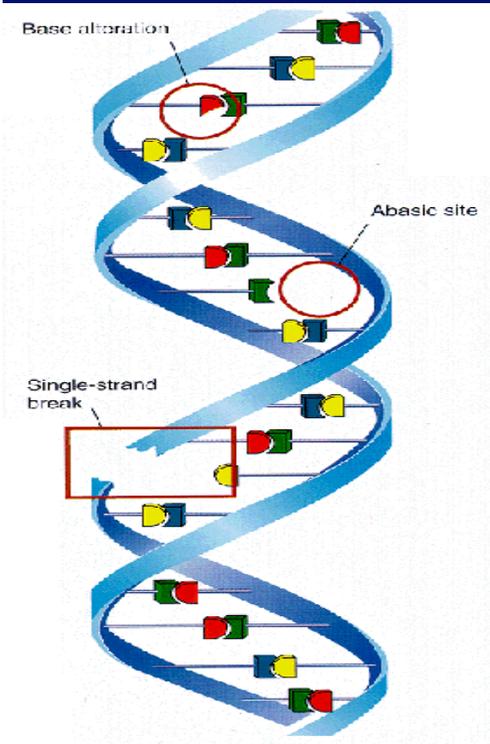


Respuesta Adaptiva



Inestabilidad Genómica ...

... o ... adquisición incremental de
alteraciones en el genoma.



Célula viable (sin mutaciones)
Equivocado!



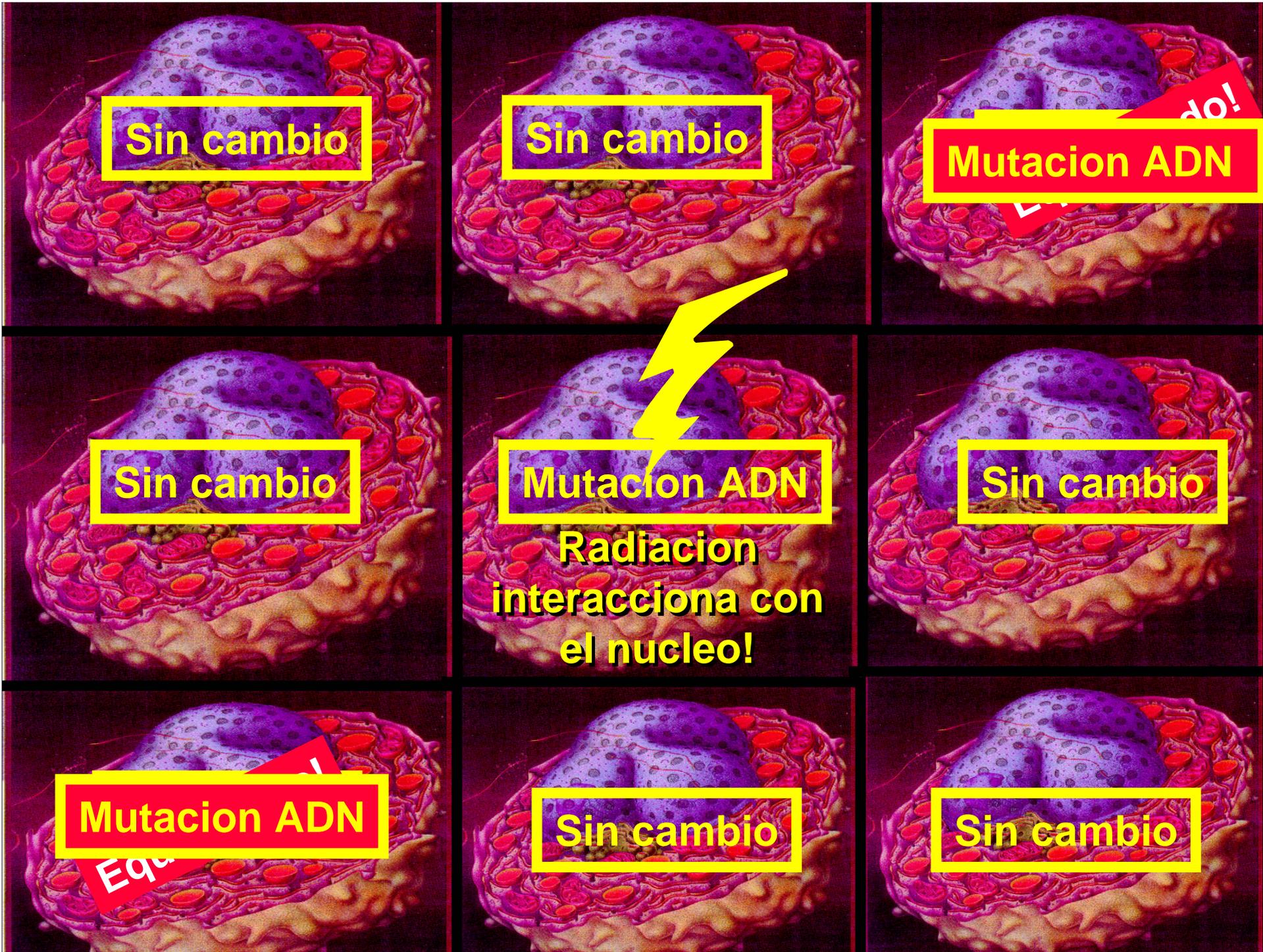
Célula no-viable



Efectos mutacionales
Equivocado!

Efecto 'vecindad' (bystander)

- **Habilidad de células afectadas por la radiación para transmitir manifestaciones de daño a otras células que no habían sido afectadas por la radiación.**



Sin cambio

Sin cambio

Mutacion ADN

Sin cambio

Mutacion ADN

Sin cambio

Radiacion
interacciona con
el nucleo!

Mutacion ADN

Sin cambio

Sin cambio

Equ

do!

Efectos Abscopales

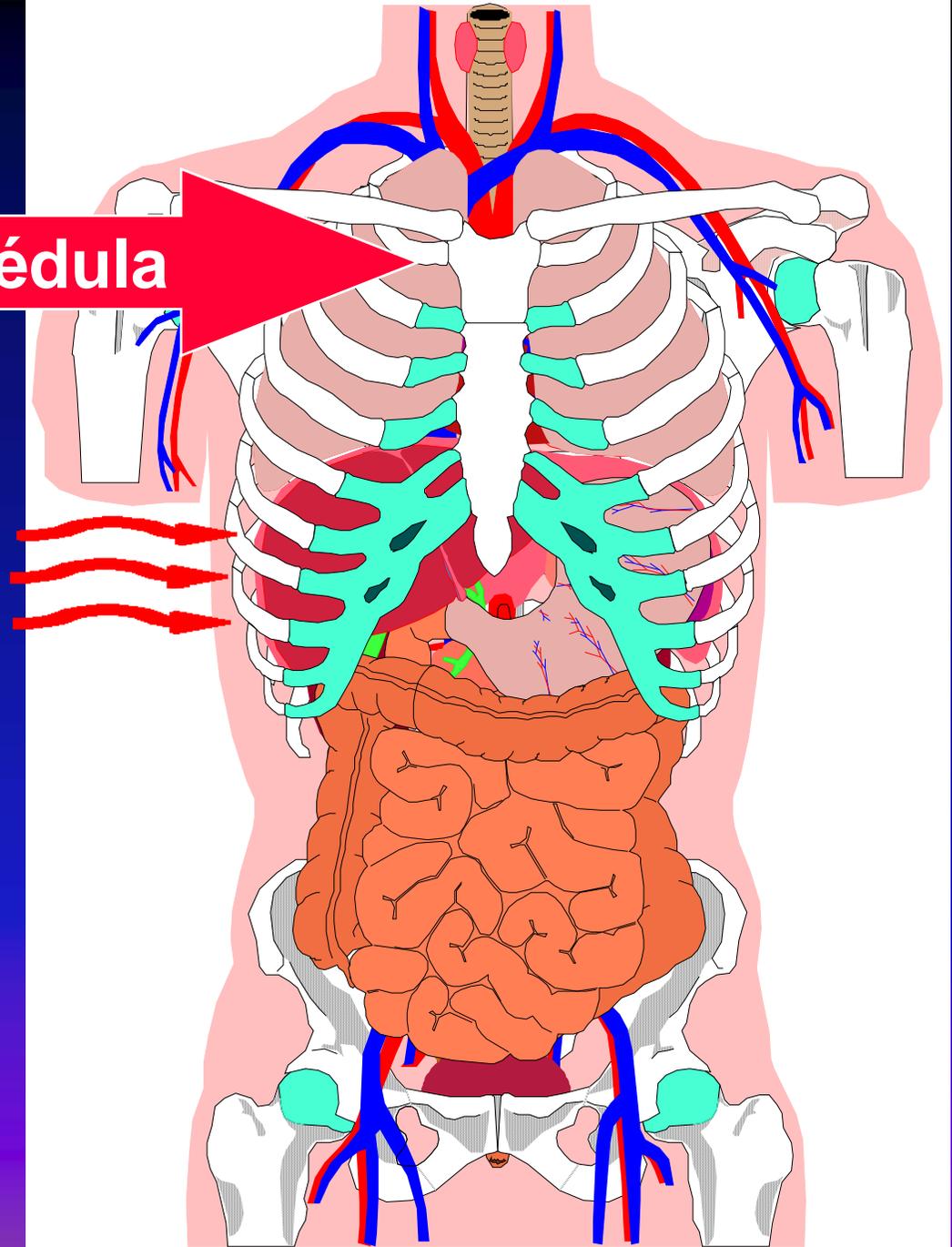
**Respuesta a la radiación
de tejidos alejados
del área de exposición.**

Human & Experimental Toxicology, Volume 23, Issue 2, 1 February 2004, Arnold

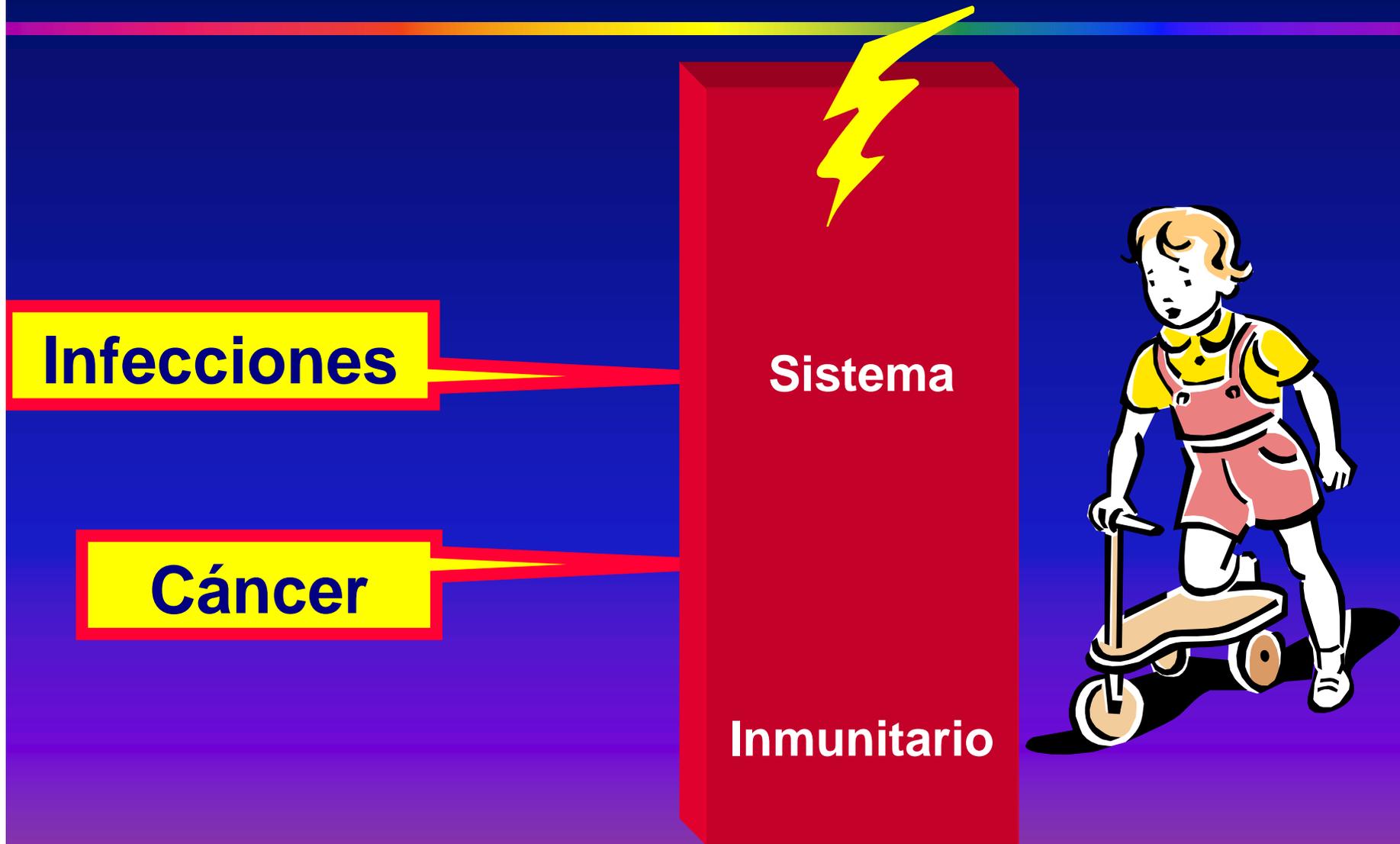
Efecto en médula

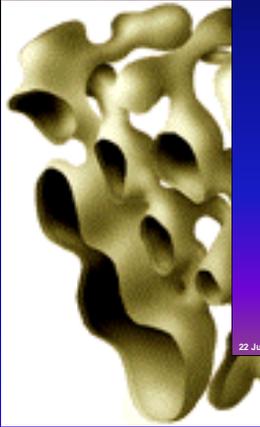


**Irradiación de
Hígado**



¿afecta la radiación al sistema inmunitario?





Reticulo endoplas

22 June, 2005

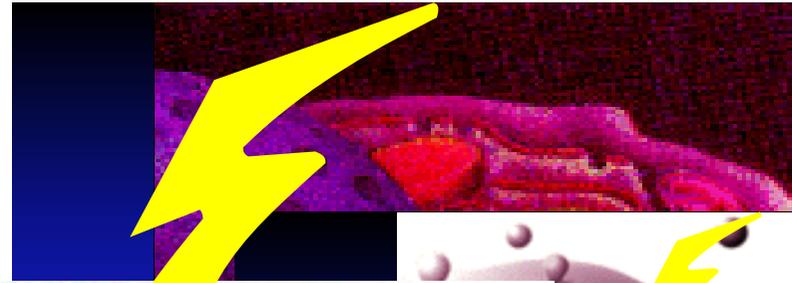
IRPA11: Sievert Lecture



Mitochondria

9 July, 2005

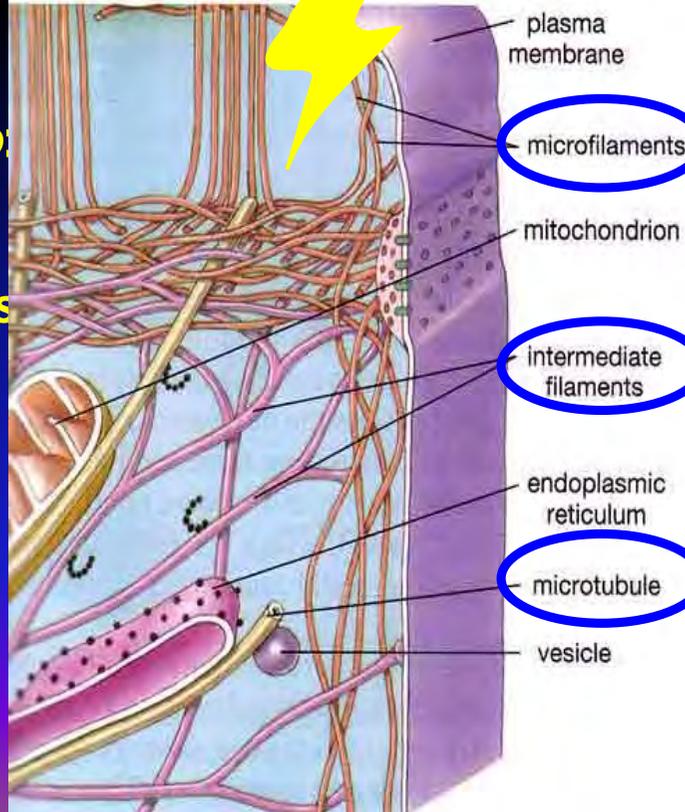
IRPA11: Sievert Lecture



o de Golgi

PA11: Sievert Lecture

176



Citoesqueleto
red de
Microfilamentos
y
Microtubulos

Reticulo endoplasmatico duro

cubierto con

Ribosomes

22 June, 2005

IRPA11: Sievert Lecture

174

**Cuarta conjetura:
suponer que los efectos
heredable que se manifiestan
en algunas especies (la mosca
por ejemplo) también se
manifiestan en los humanos**

Epidemiología de los efectos hereditables

Las estimaciones de riesgos hereditarios que se basan en estudios animales no se han manifestado en el especie humana



Quinta conjetura: Efectos en el embrión



13

(28 days)



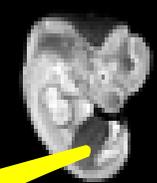
14

(32 days)



15

(33 days)



16

(37 days)



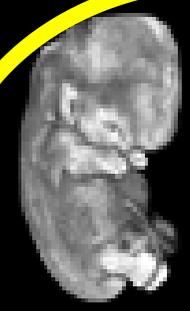
17

(41 days)



18

(44 days)



19

(47 days)



20

(50 days)



21

(52 days)



22

(54 days)



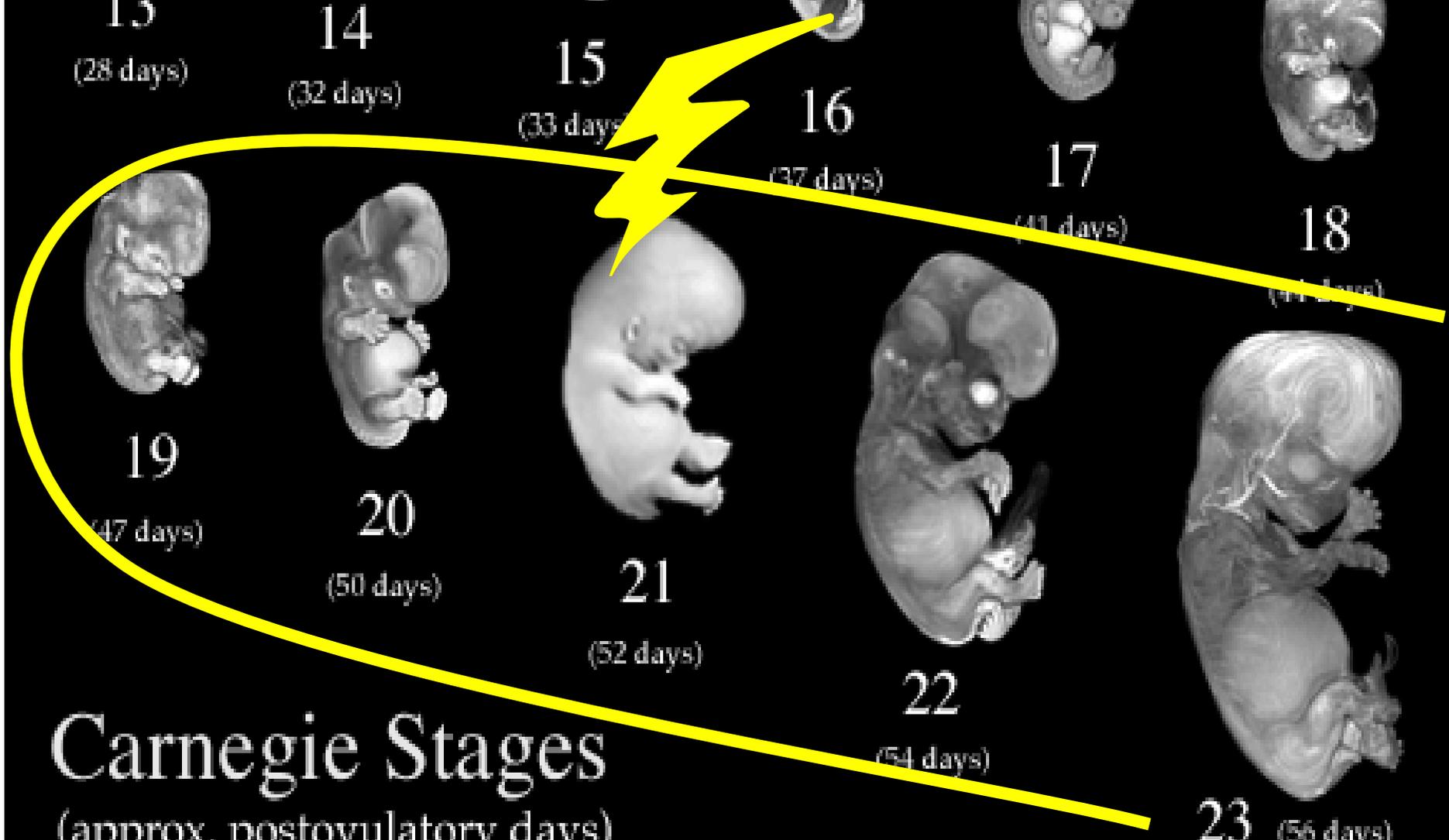
23

(56 days)

10 mm

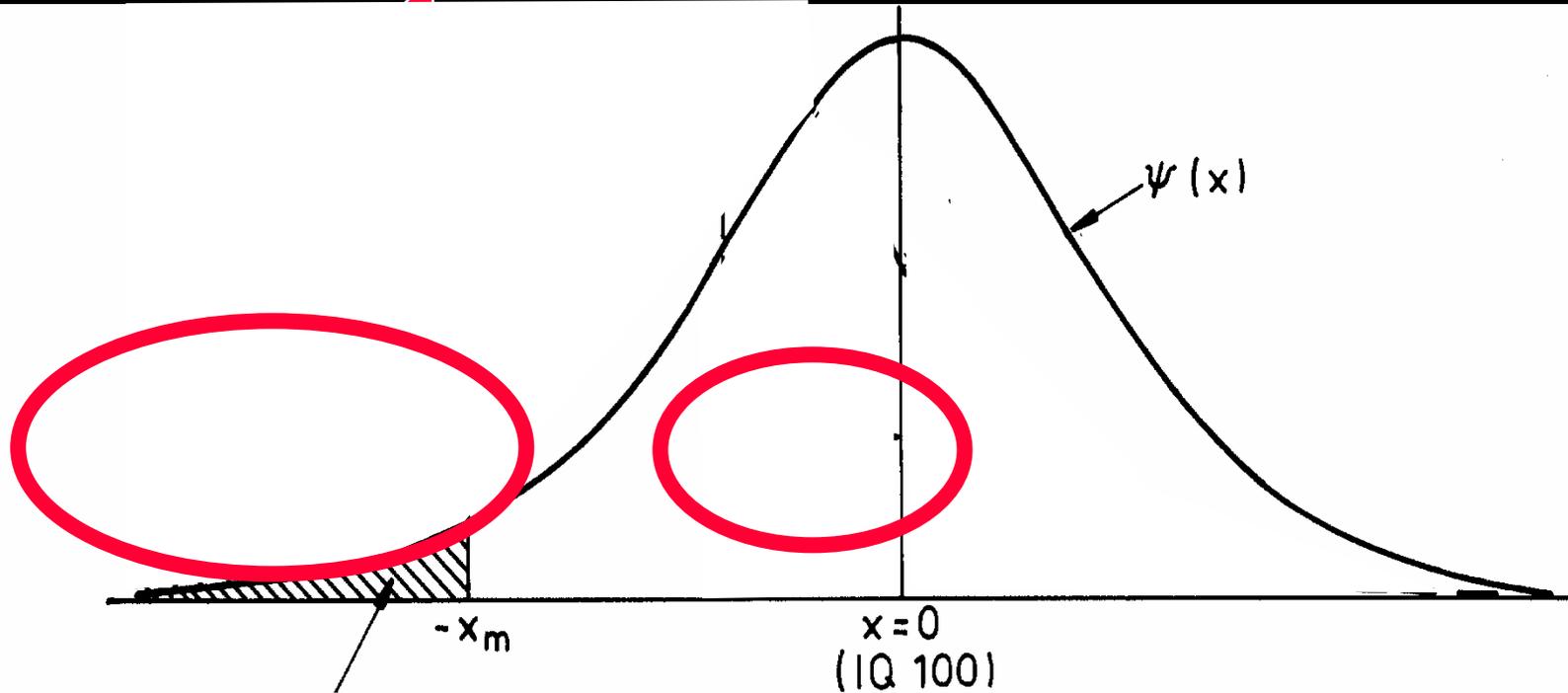
Carnegie Stages

(approx. postovulatory days)



Desplazamiento de la curva IQ:

30 unidades IQ per 1000 mSv (durante las semanas 8-15)



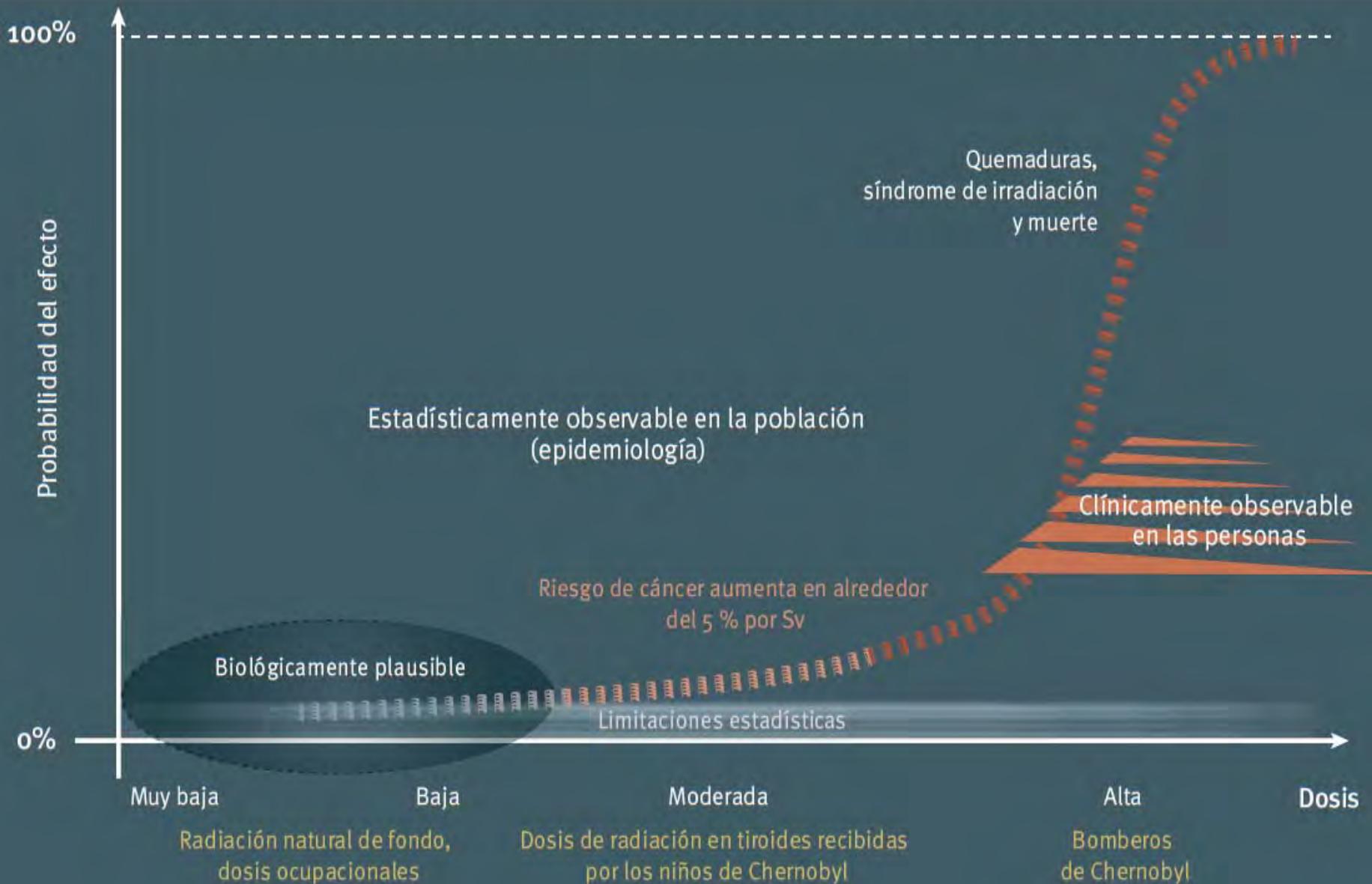
Fracción retardada, f

Hechos y conjeturas en la relación

entre

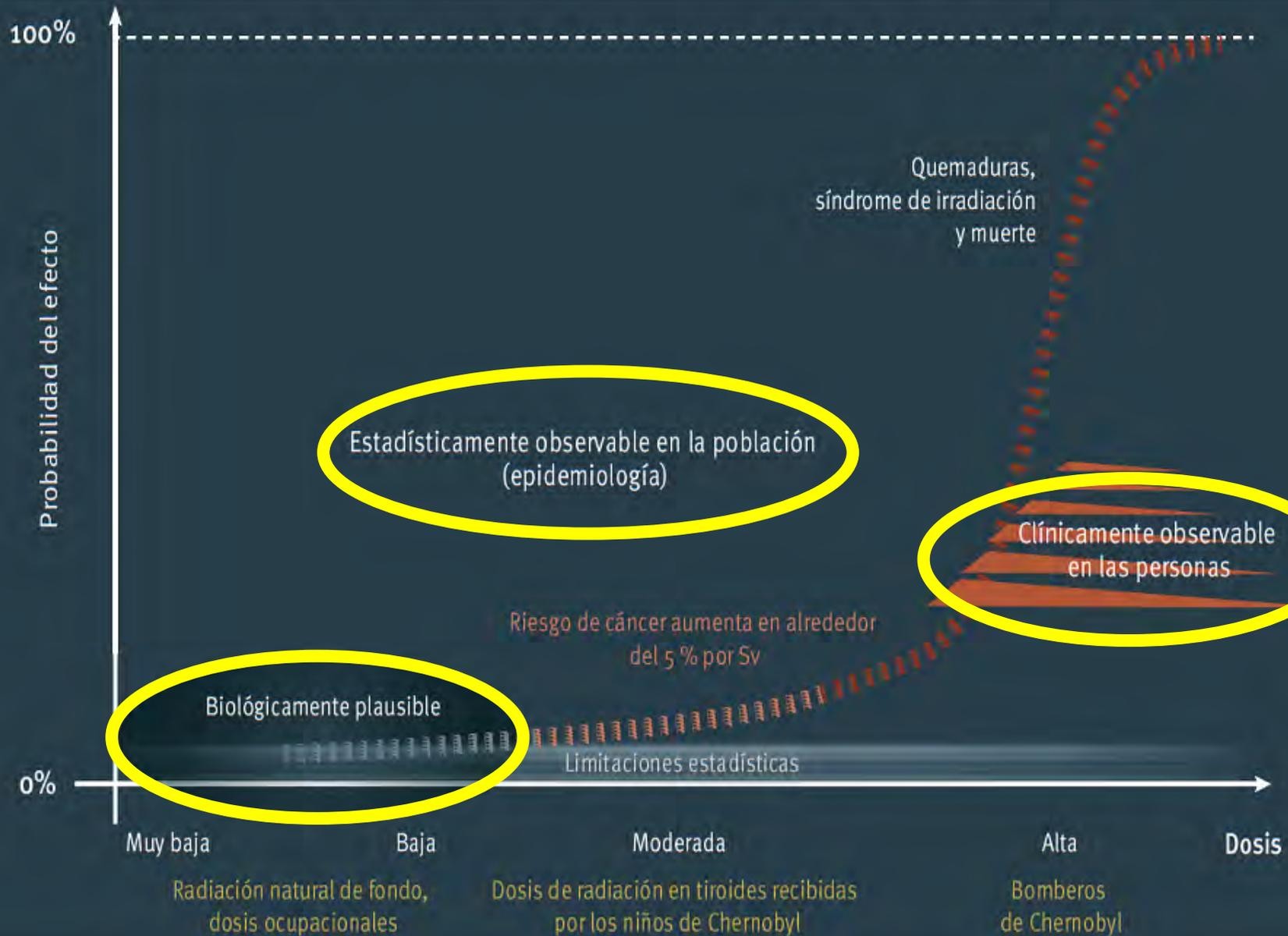
las dosis de radiación y los efectos

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



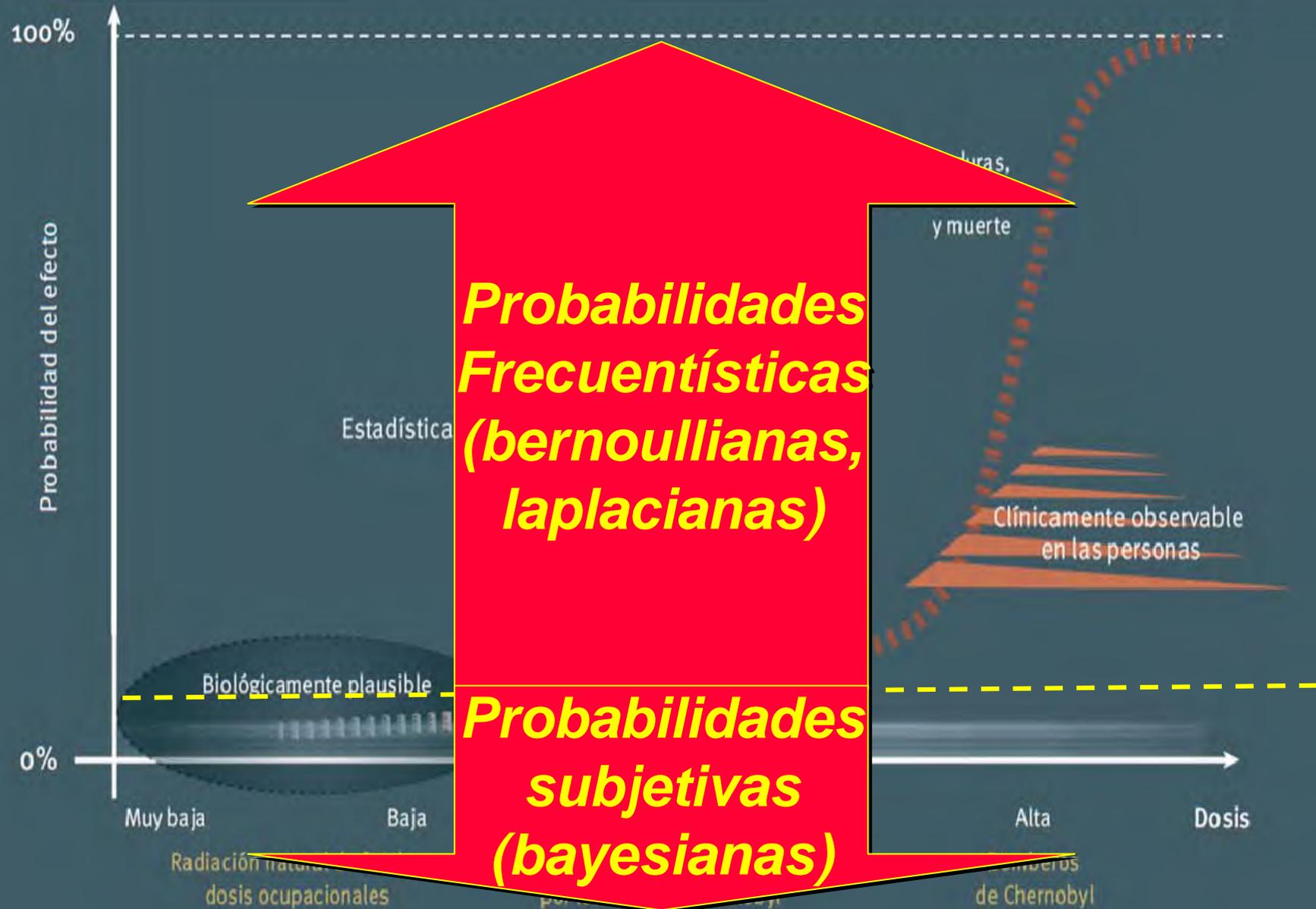
Observación de efectos

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



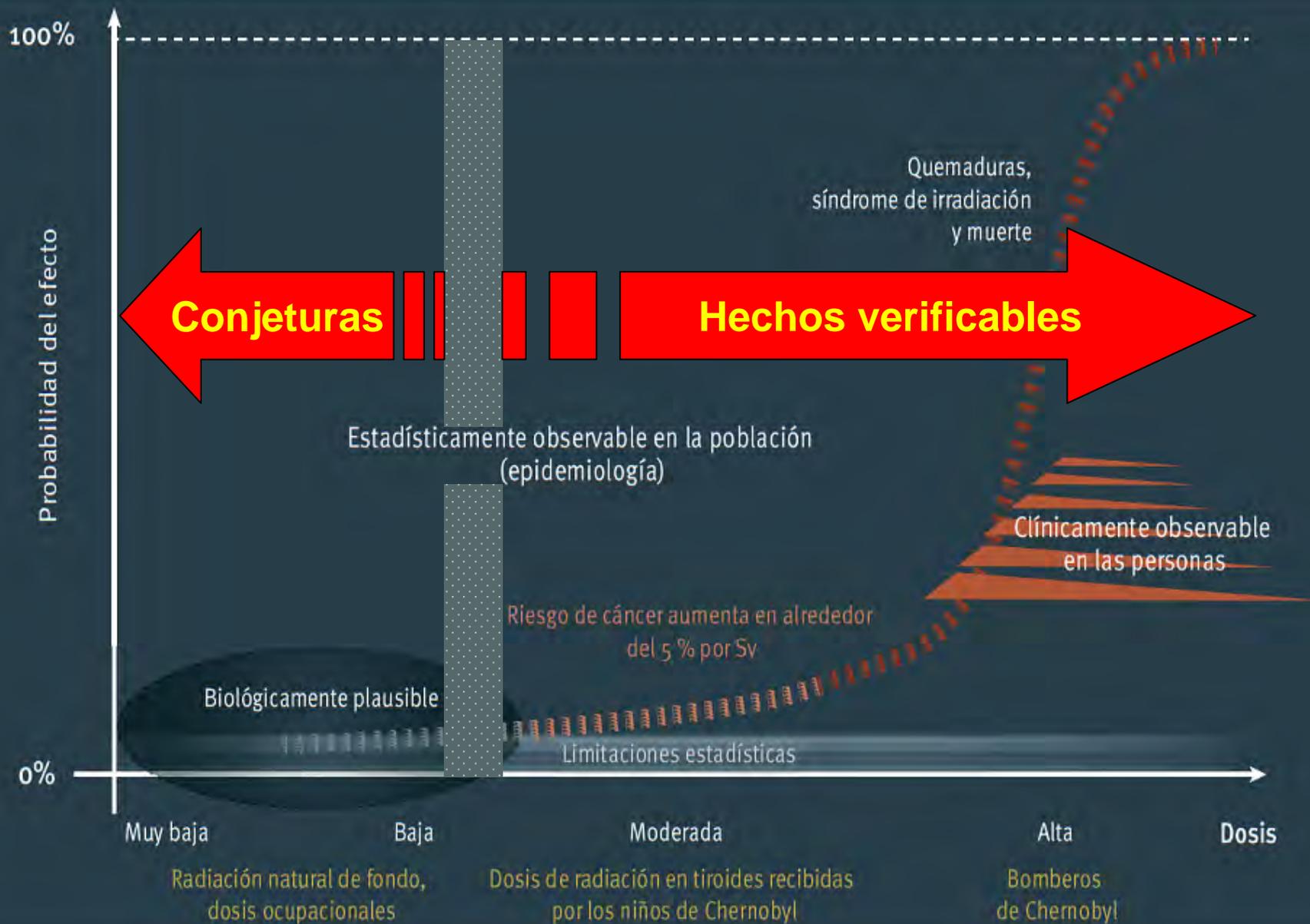
Probabilidades frecuentistas
versus
Probabilidades subjetivas

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



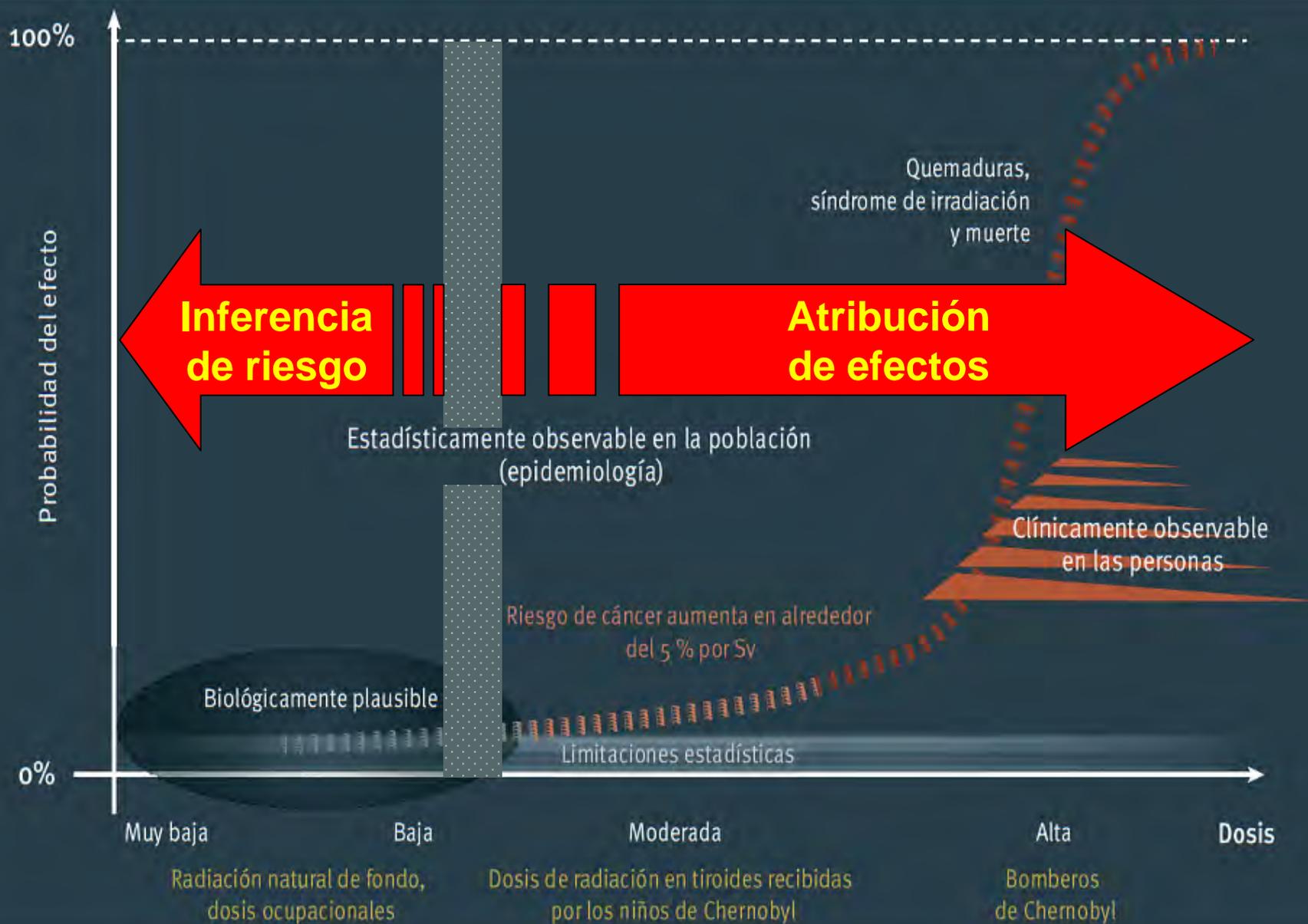
Hechos verificables
versus
conjeturas subjetivas

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



Atribución *versus* Inferencia

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



Diagnóstico individual

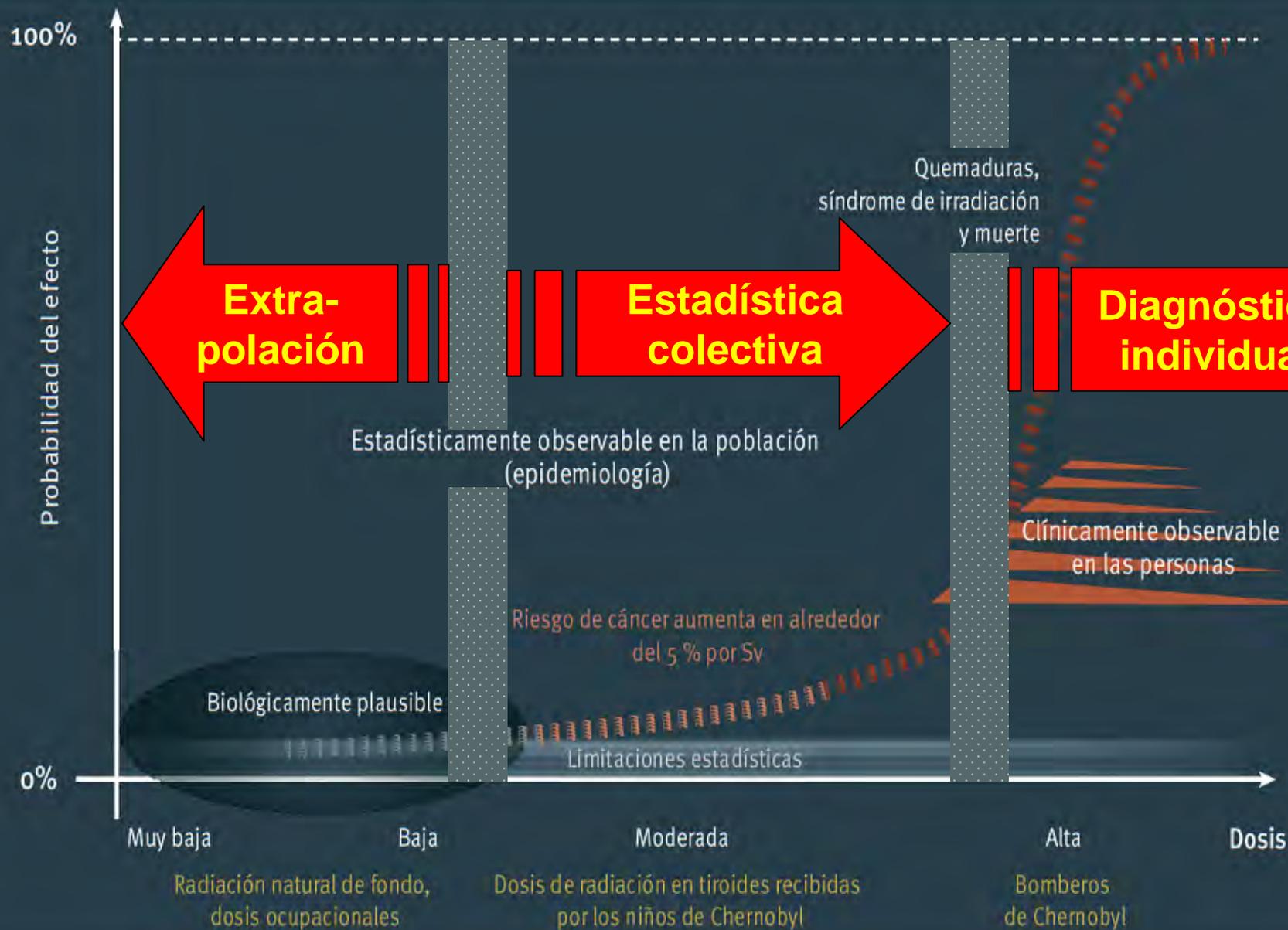
versus

Estimación estadística

versus

Extrapolación subjetiva

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



Atribución individual

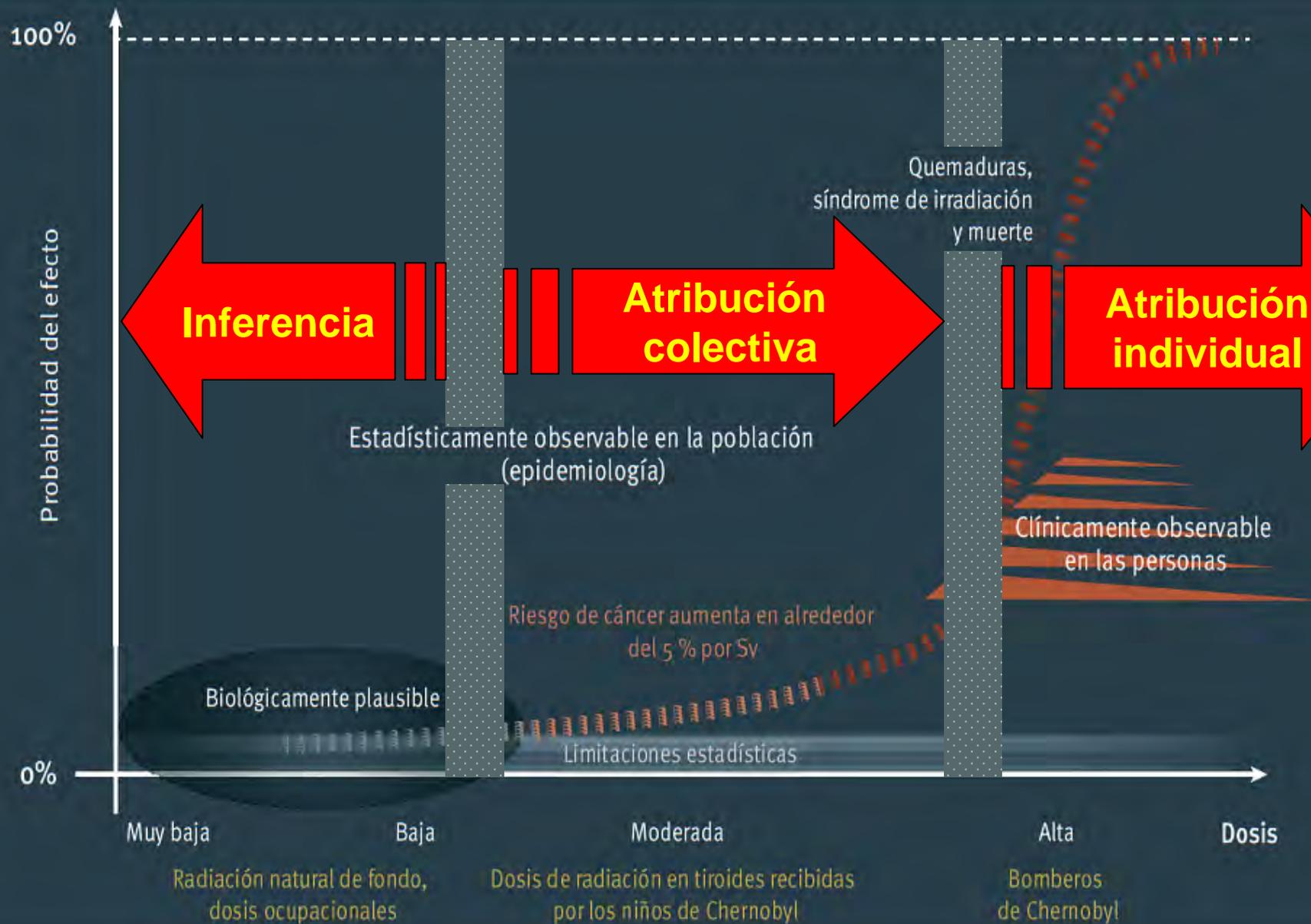
versus

Atribución colectiva

versus

Inferencia

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



Atestación patológica

versus

Atestación epidemiológica

versus

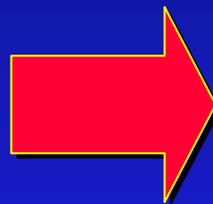
Juicio subjetivo de expertos

Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



Estimación de riesgo

~5% / Sv



~0,005% / mSv

Hecho objetivo



Conjetura subjetiva

Imputación de daño

Atribución es diferente a ***Imputación***

Científicos



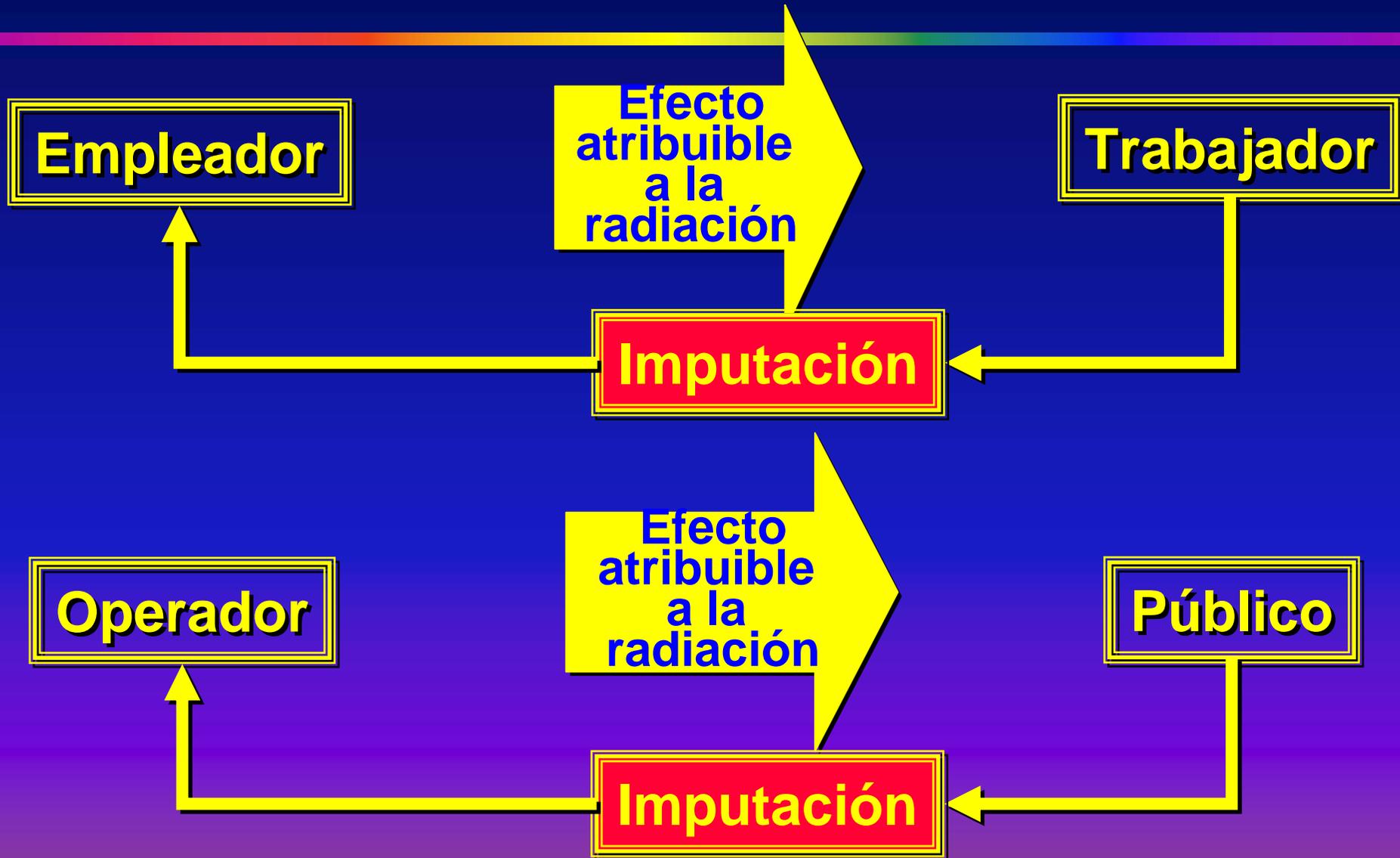
Atribuyen

Abogados

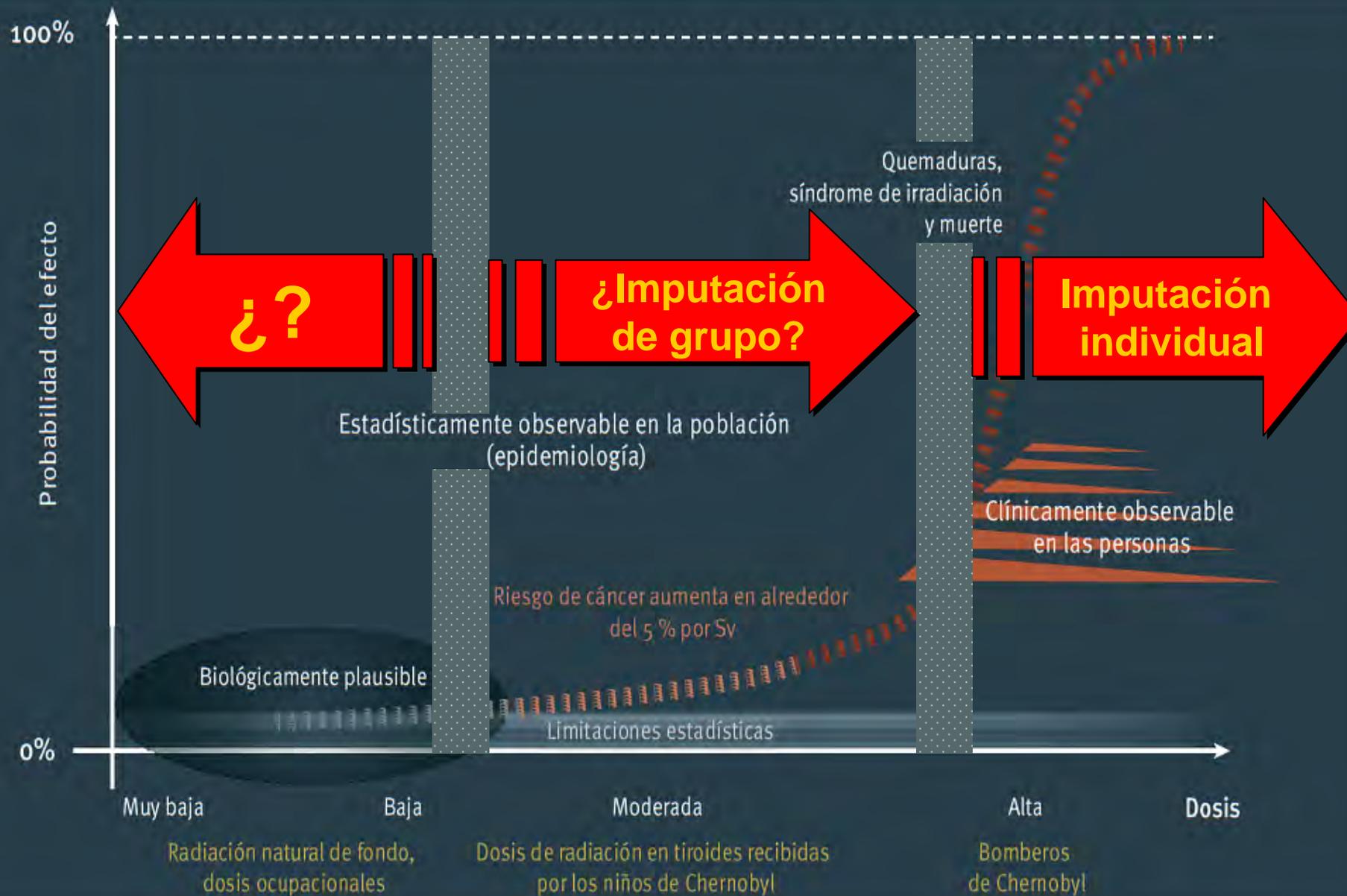


Imputan

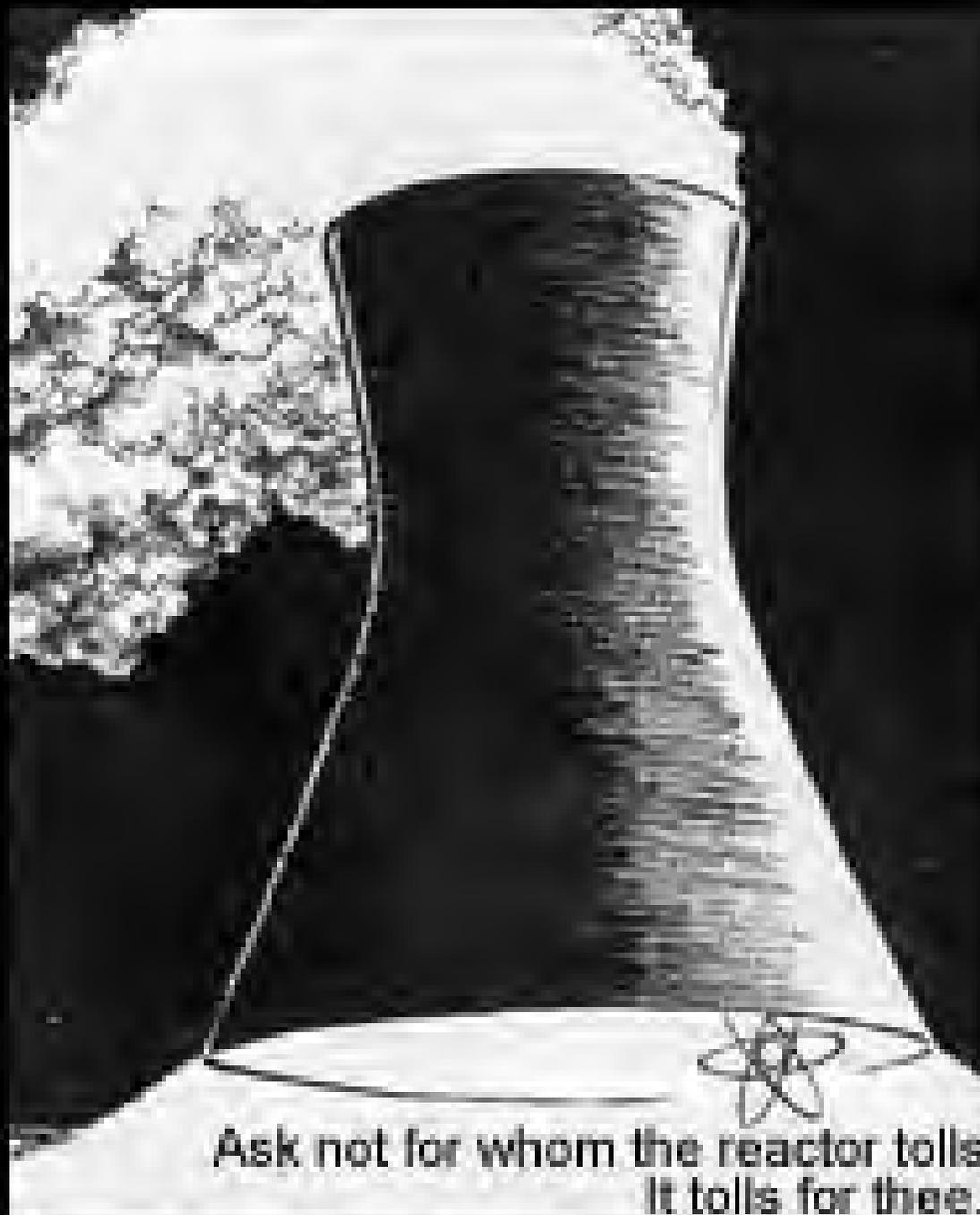
Imputación



Relación entre las dosis de radiación y los efectos en la salud



Mitología



Efectos de Chernobyl informados por los medios en Ucrania



Cuarta Parte:

Experiencia personal en

Chernobyl y Fukushima

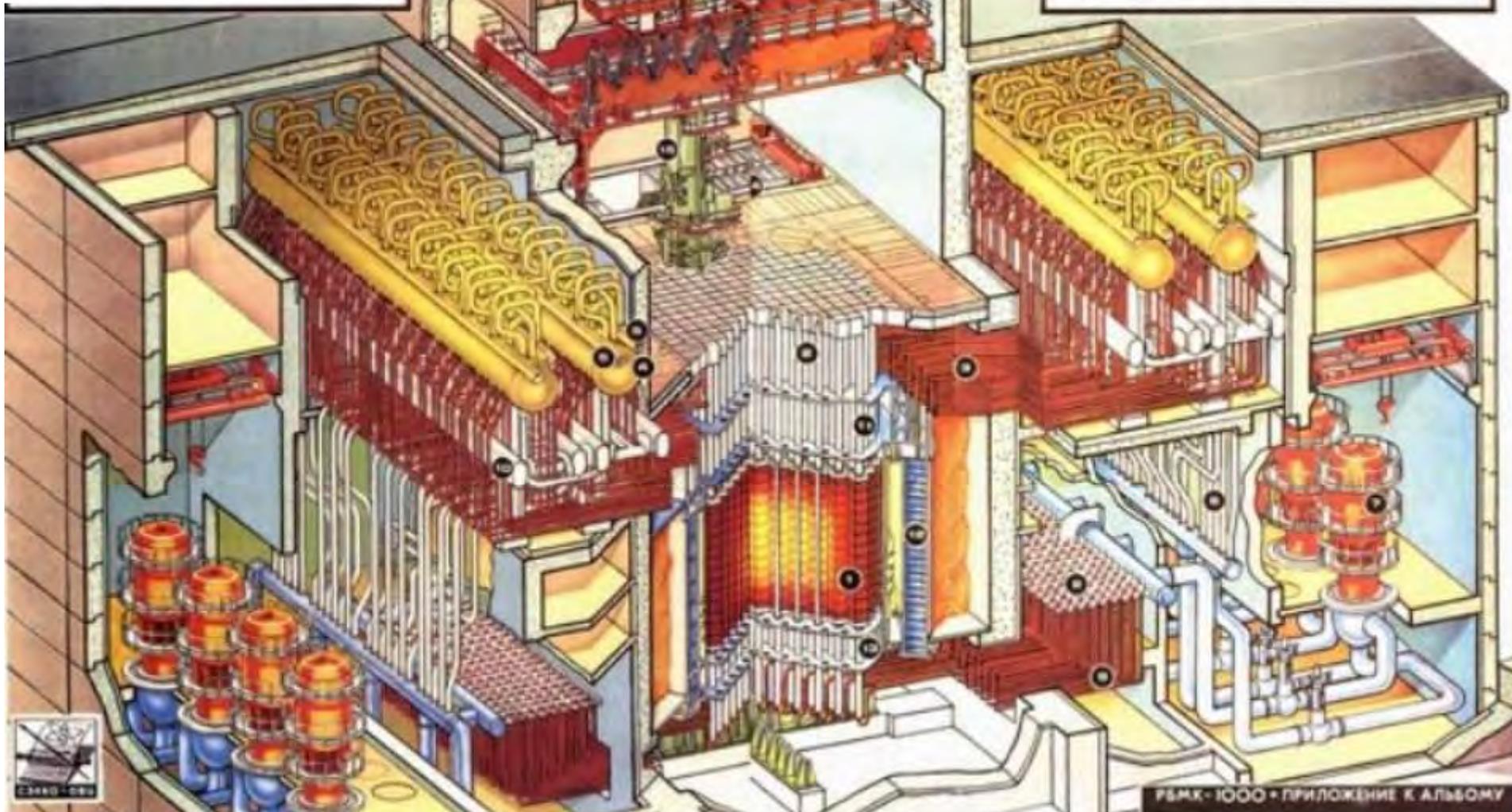
El accidente de Chernobyl



Stalin y el armamento nuclear

RBMK

- 1 Reaktor
- 2 Genomföringar till bränslekanaler
- 3 Rör för ånga/vatten från reaktorns bränslekanaler
- 4 Ångseparatörer
- 5 Ångsepareringslödar
- 6 Rör för återcirkulerat vatten från ångseparatorerna
- 7 Huvudcirkulationspumpar
- 8 Fördelningslödar
- 9 Rör för ingående reaktorvatten
- 10 Utrustning för detektering av bränslelöcker
- 11 Övre strålkärl
- 12 Strålkärnor och värmeskydd
- 13 Undre strålkärl
- 14 Bästing för använt bränsle
- 15 Bränsleytmaskin
- 16 Trosvan

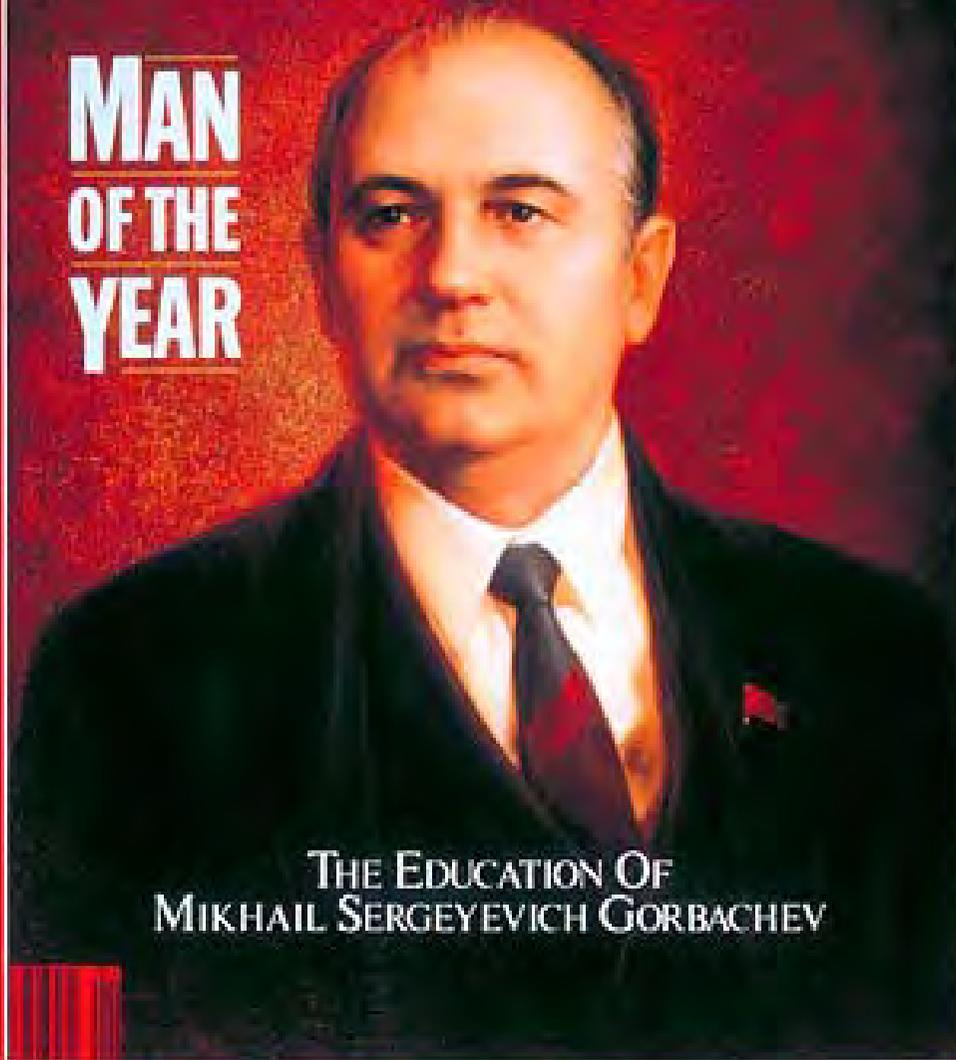


JANUARY 4, 1988

\$2.00

TIME

**MAN
OF THE
YEAR**



THE EDUCATION OF
MIKHAIL SERGEYEVICH GORBACHEV



© Коллекция «Современная Россия»
Иллюстрация: Андрей Сидоров, 2019 г.
www.ivanovart.com

ПЕРЕСТРОЙКА

ДЕМОКРАТИЯ

РЕФОРМА

ГЛАСНОСТЬ

ПРОЛЕТАРИИ ВСЕХ СТРАН, СОЕДИНЯЙТЕСЬ!

КОММУНИСТИЧЕСКАЯ
ПАРТИЯ
СОВЕТСКОГО СОЮЗА

ДЕМАГОГИЯ
ВОЛКИТАРНОСТЬ
БЮРОКРАТИЗМ
ДОГМАТИЗМ
КОНФОРМИЗМ
БУЛЮНТАРИЗМ

El vertido de Chernóbil



1.2 10¹⁹ Bq

131 I

55% 50 000 000 Ci - 3,2 10¹⁸ Bq

134,137 Cs

33% - 4,0 10¹⁷ Bq

Noble gases:

100% - 7,0 10¹⁸ Bq

of I-131 Released From the Site (in curies)	Site	Time Period
150,000,000 Ci	Nevada Test Site, Nevada	1952–1970
50,000,000 Ci	Chernobyl (former Soviet Union)	1986
740,000 Ci	Hanford Reservation, Washington	1944–1972
60,000 Ci	Savannah River Site, South Carolina	1955–1990
8,000–42,000 Ci	Oak Ridge National Laboratory, Tennessee	1944–1956
20,000 Ci	Windscale, United Kingdom	1957
15–21 Ci	Three Mile Island, Pennsylvania	1979

**Estimación
temprana de la
exposición global:
UNSCEAR (1988)**

**SOURCES, EFFECTS
AND RISKS
OF IONIZING RADIATION**

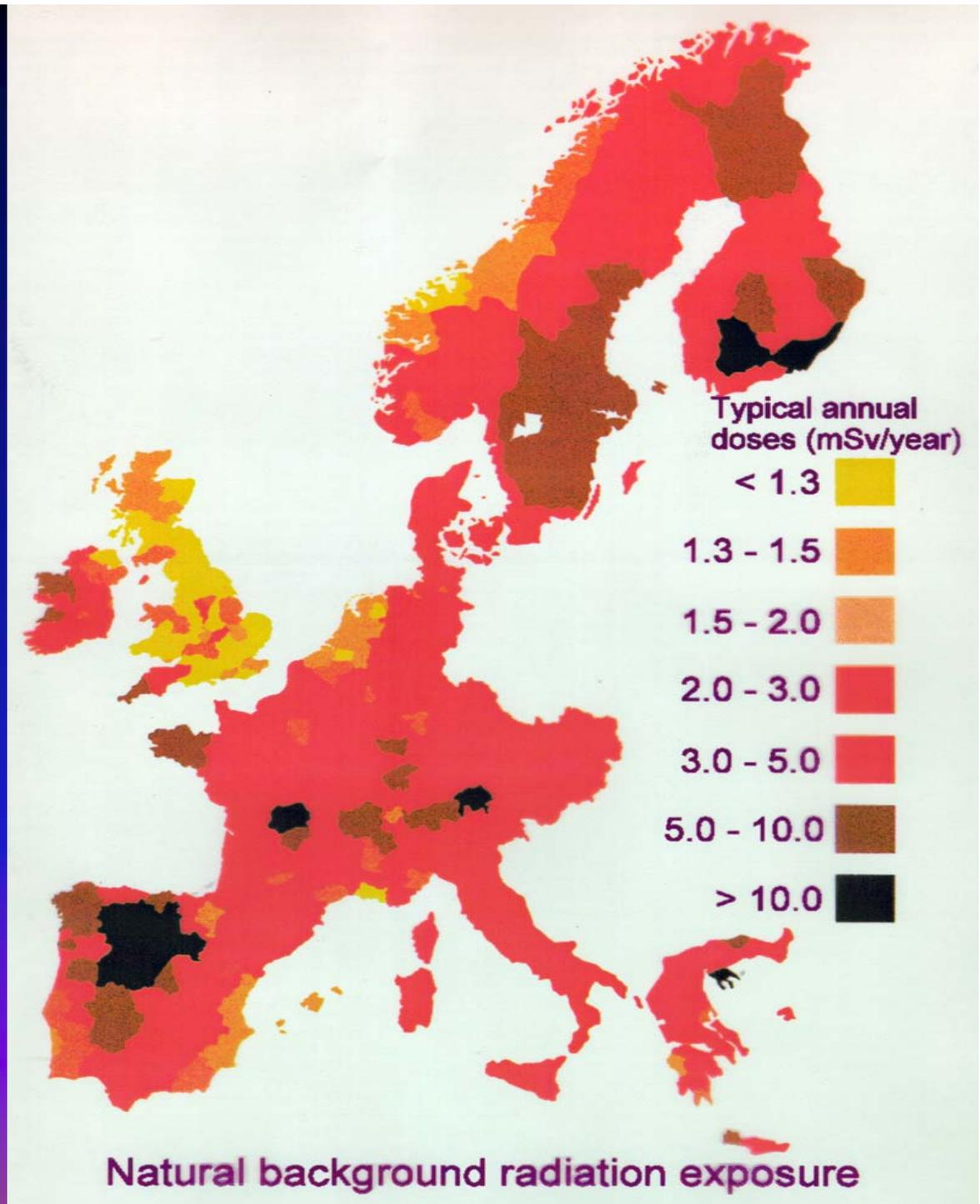
United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
1988 Report to the General Assembly, with annexes



UNITED NATIONS

Dosis en el primer año atribuibles CHERNOBYL

- Bulgaria < 0.7 mSv
- Austria < 0.7 mSv
- Finlandia < 0.5 mSv
- mayoría < 0.3 mSv



**La reunión de Viena
Agosto 1996**



Valery Legasov





safety series
safety series
No. 75-INSAG-1

INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP

**Summary Report on the
Post-Accident Review Meeting
on the Chernobyl Accident**



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, 1986

IAEA-TECDOC-516

MEDICAL ASPECTS OF THE CHERNOBYL ACCIDENT

PROCEEDINGS OF AN ALL-UNION CONFERENCE
ORGANIZED BY THE
USSR MINISTRY OF HEALTH
AND THE
ALL-UNION SCIENTIFIC CENTRE OF RADIATION MEDICINE,
USSR ACADEMY OF MEDICAL SCIENCES,
AND HELD IN KIEV, 11-13 MAY 1988

INTERNATIONAL CHERNOBYL PROJECT (1989)

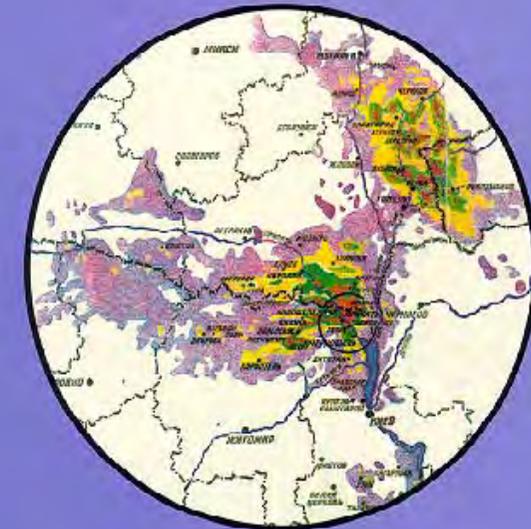


EC
FAO
IAEA
ILO
UNSCEAR
WHO
WMO

**Un sofisticado informe
técnico de 1000 hojas
conteniendo la primer
información científica
revisada por pares.**

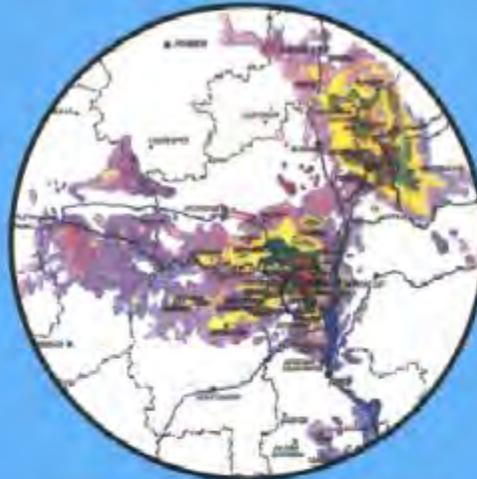


**THE INTERNATIONAL
CHERNOBYL PROJECT
TECHNICAL REPORT**



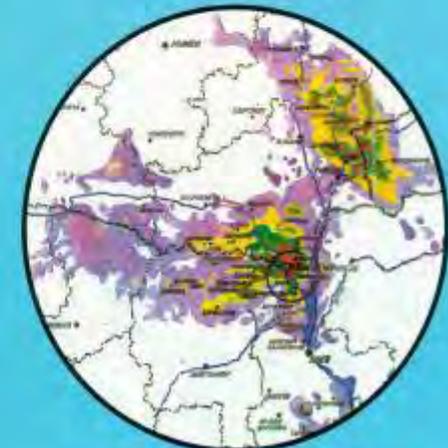
ASSESSMENT OF RADIOLOGICAL CONSEQUENCES
AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES
REPORT BY AN INTERNATIONAL ADVISORY COMMITTEE

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПРОЕКТ
ОБЩИЙ ОБЗОР



ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ
И ОЦЕНКА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.
ДОКЛАД МЕЖДУНАРОДНОГО КОНСУЛЬТАТИВНОГО КОМИТЕТА

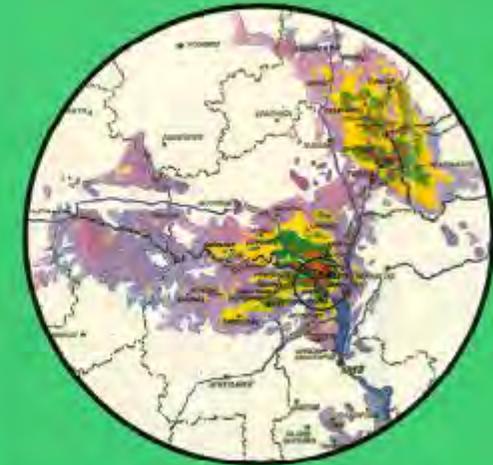
THE INTERNATIONAL
CHERNOBYL PROJECT
AN OVERVIEW



ASSESSMENT OF RADIOLOGICAL CONSEQUENCES
AND EVALUATION OF PROTECTIVE MEASURES.
REPORT BY AN INTERNATIONAL ADVISORY COMMITTEE

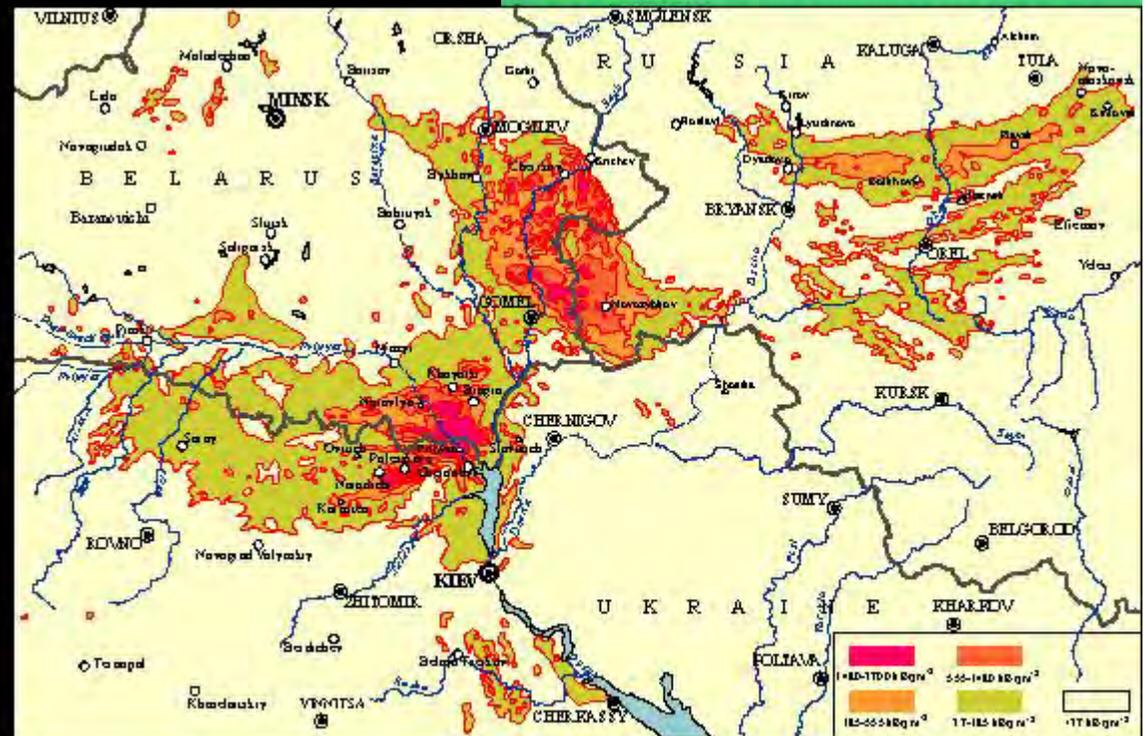
Resumen de facil uso
para los tomadores de
decisiones

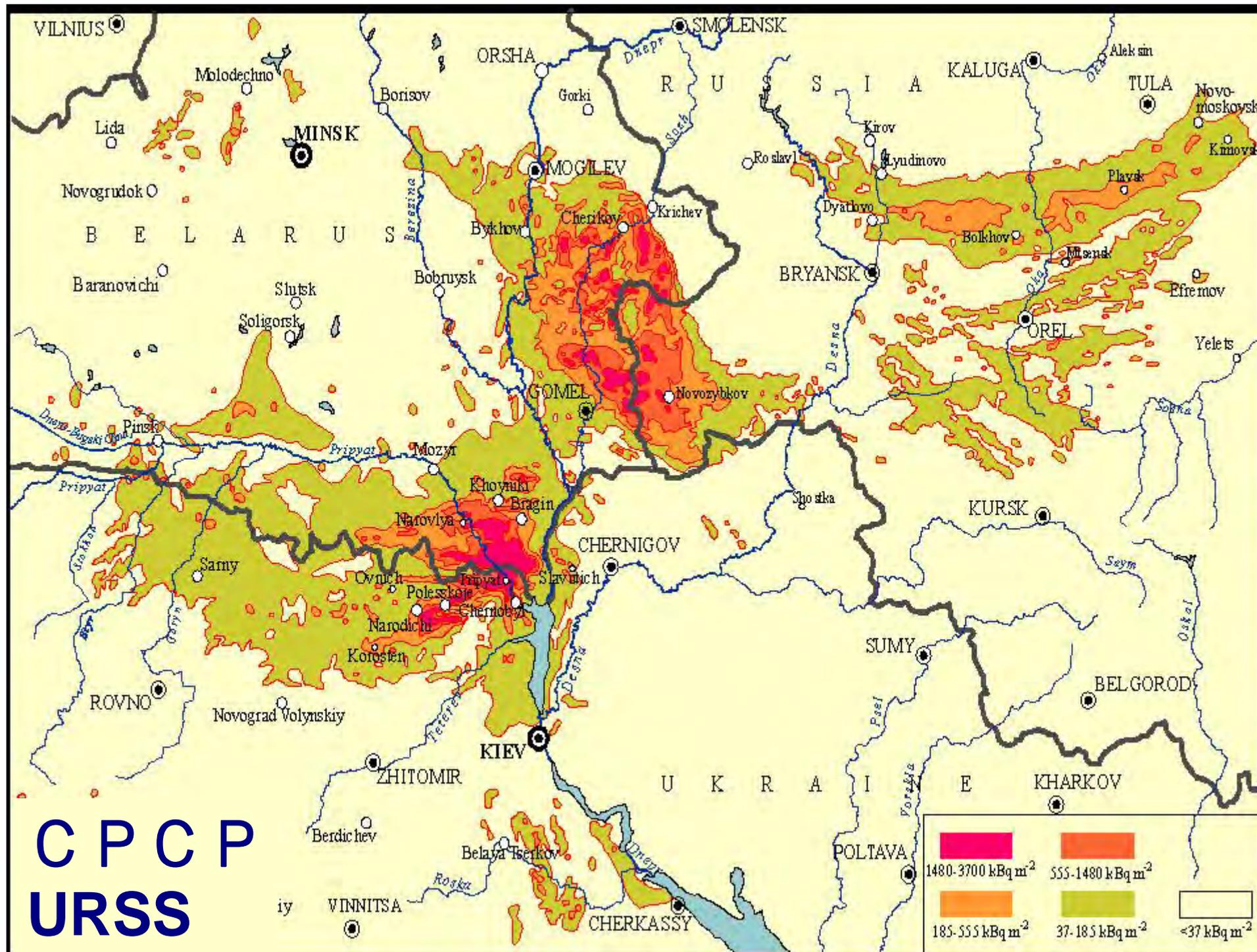
THE INTERNATIONAL CHERNOBYL PROJECT

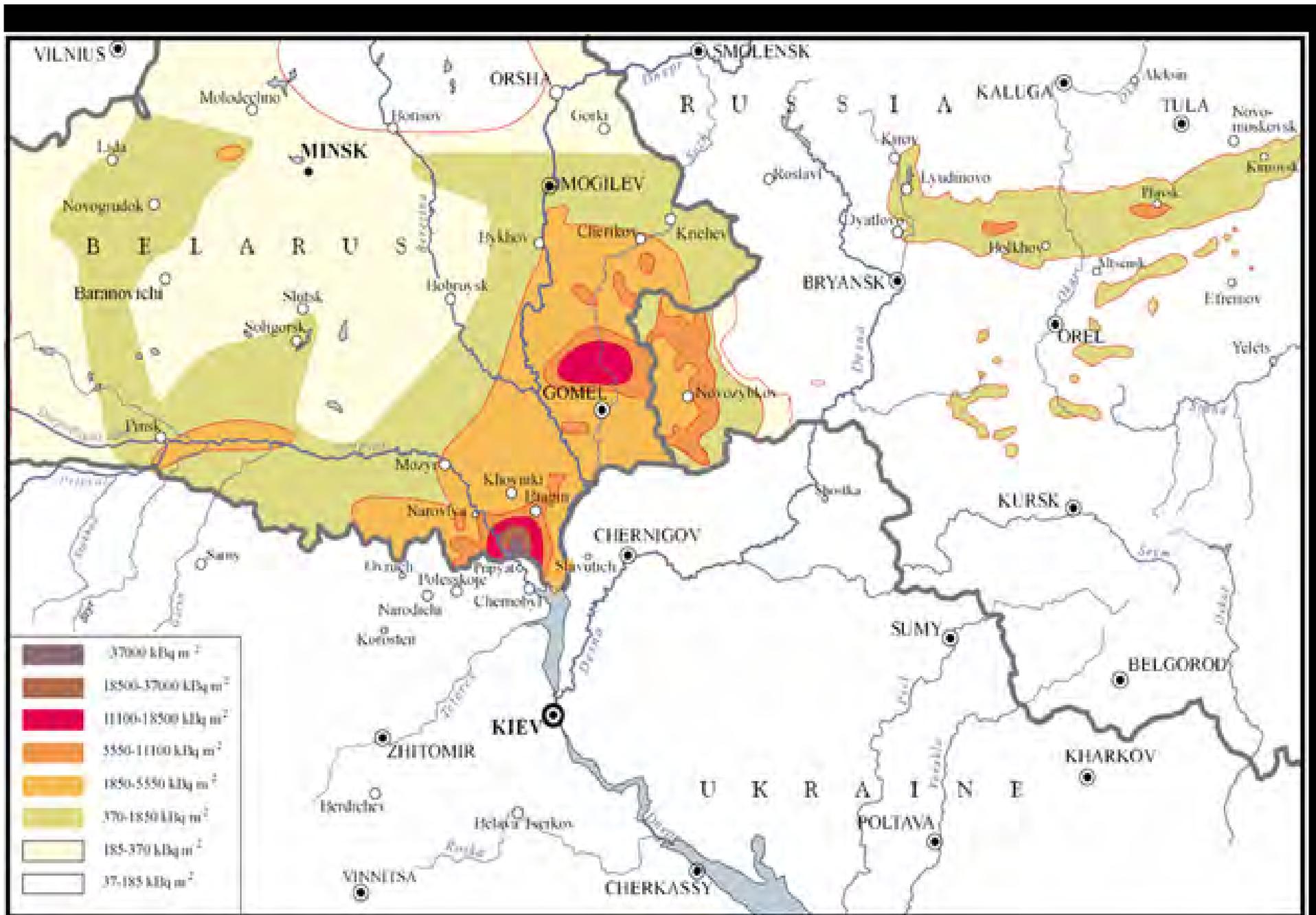


SURFACE CONTAMINATION MAPS

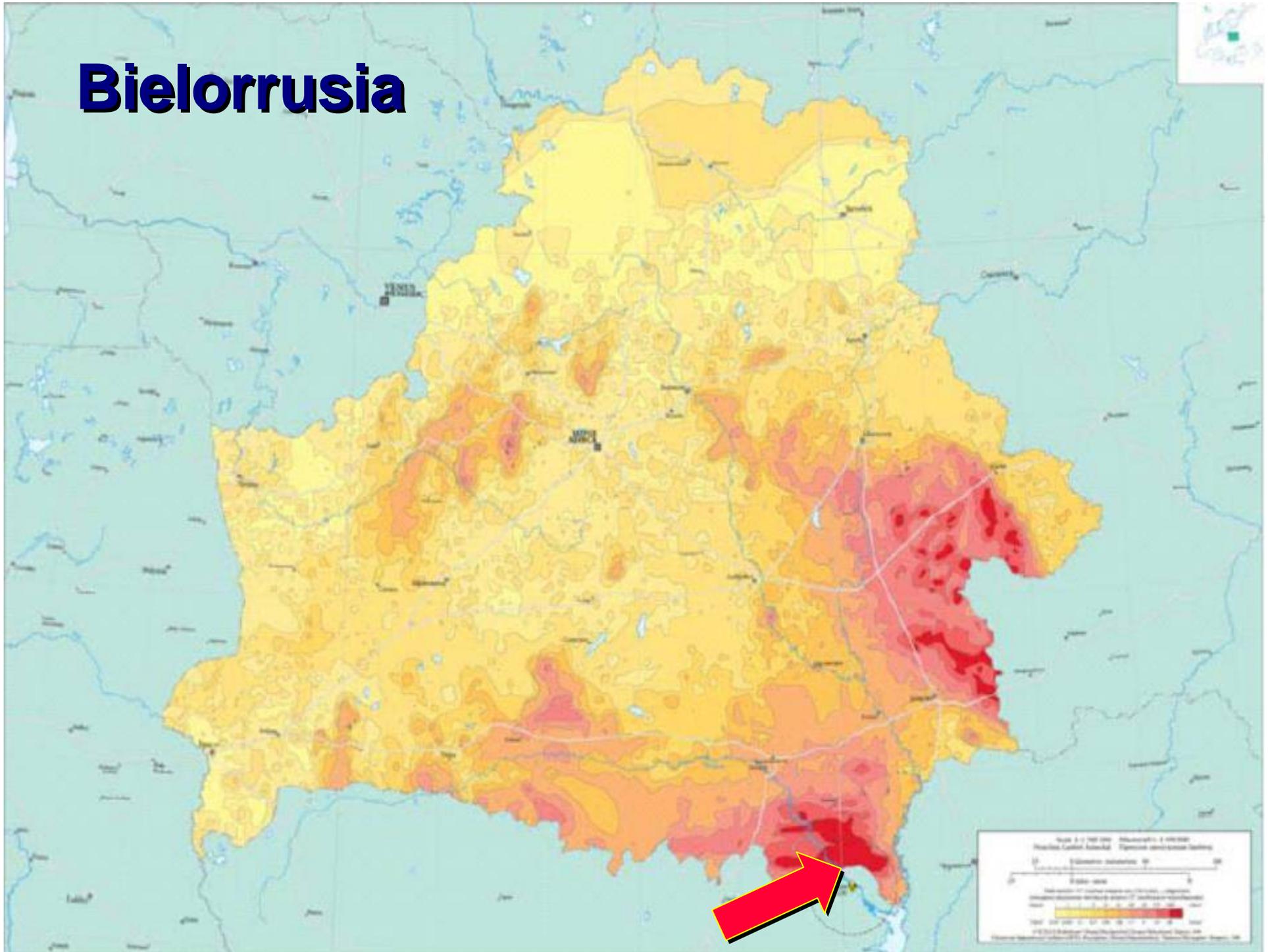
El Proyecto Produjo los
Primeros Mapas de la
Contaminación que
estuvieron disponibles
para el Publico
(+Freytag & Bernt)





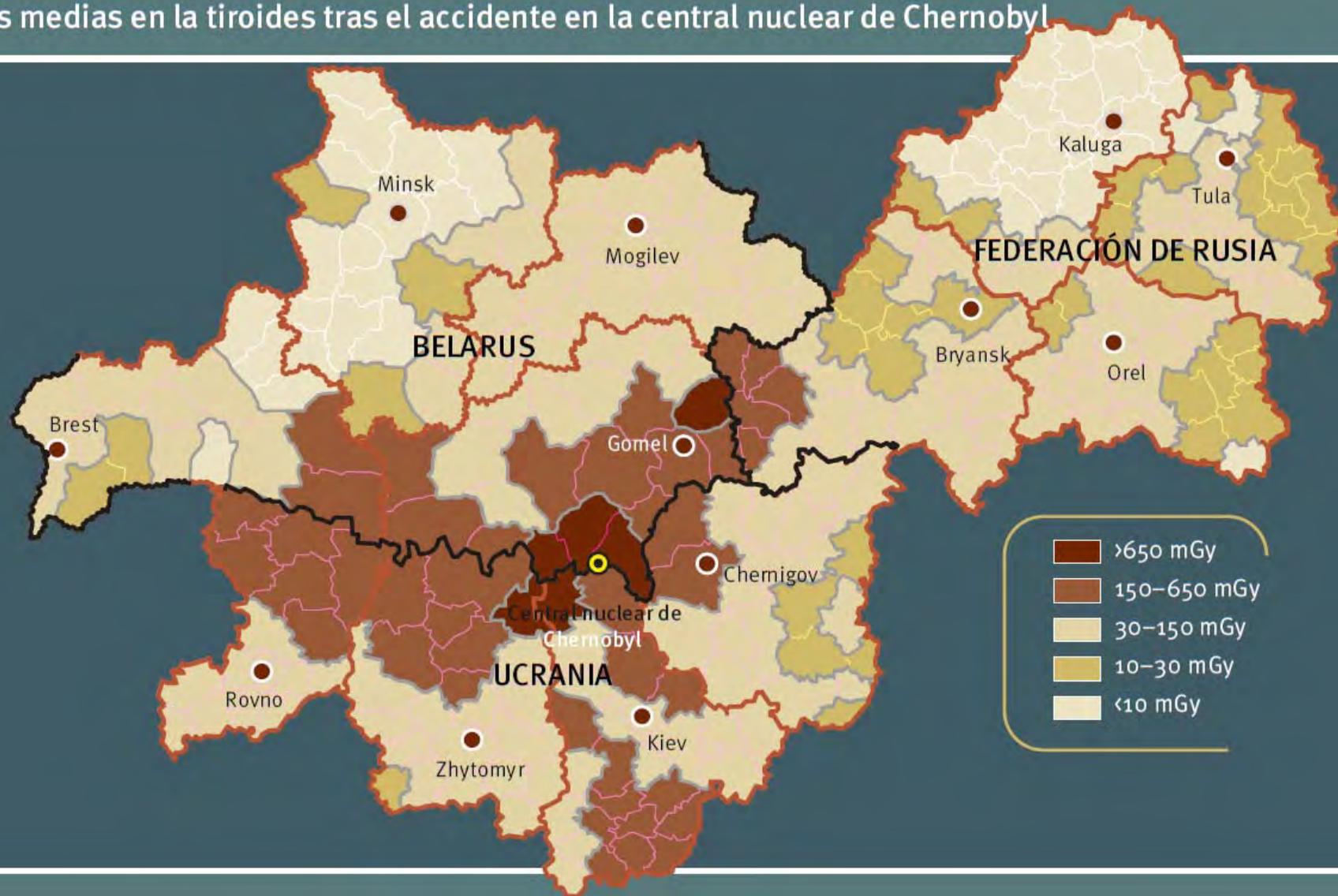


Bielorrusia





Dosis medias en la tiroides tras el accidente en la central nuclear de Chernobyl







Mas de 100.000 miembros del público evacuados por las fuerzas armadas



Прип'ять

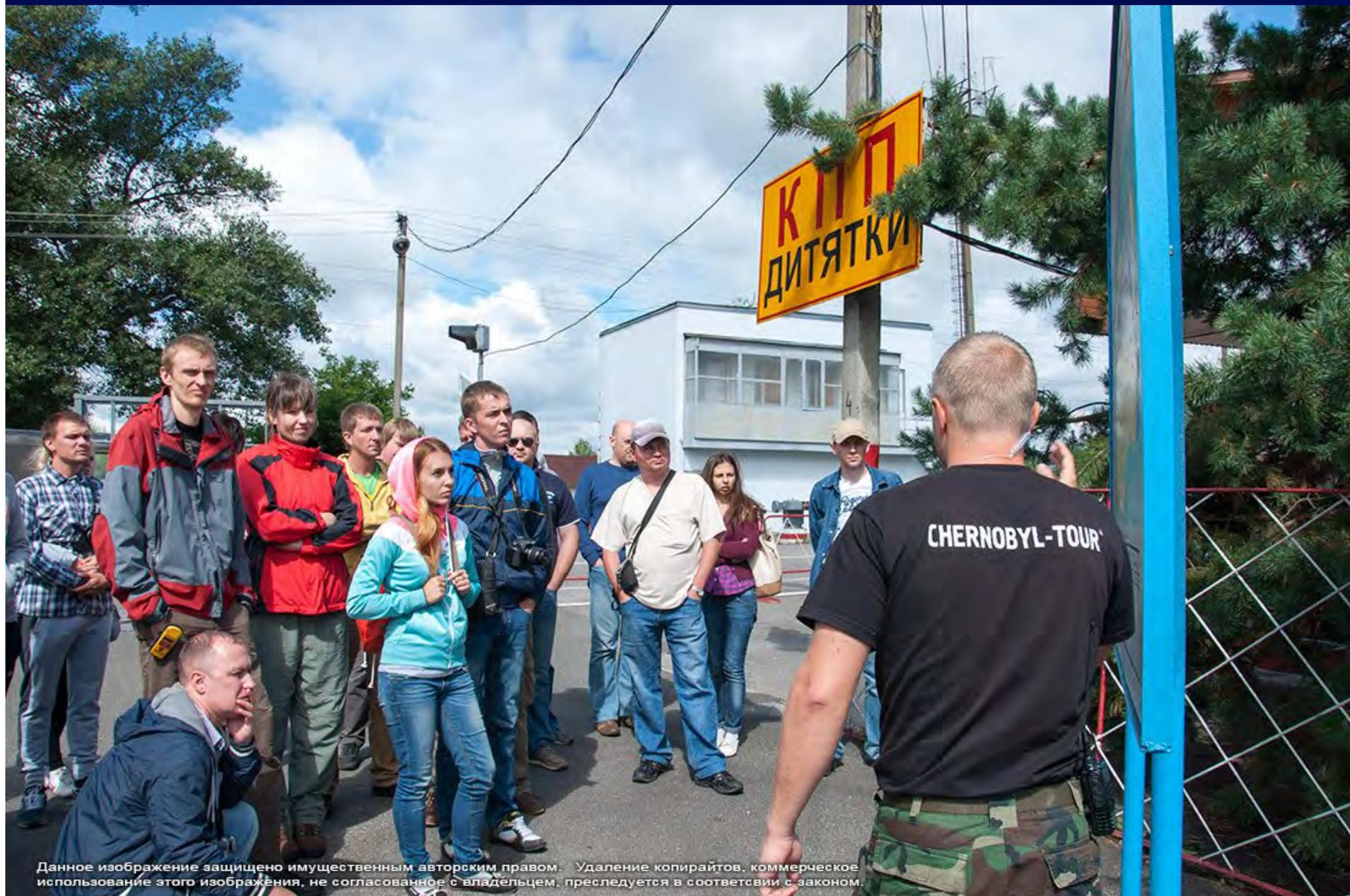
Prіpyat







¡Hoy: Turismo en Pripyat!



Данное изображение защищено имущественным авторским правом. Удаление копирайтов, коммерческое использование этого изображения, не согласованное с владельцем, преследуется в соответствии с законом.



LOS ‘LIQUIDADORES’

“ЛІКВІДАТОРИ”

Efectos determinísticos severos

Efectos determinísticos incurridos por los 'liquidadores'

Admitidos en hospitales:

237

Diagnosticados con “enfermedad aguda de radiación”: **134**

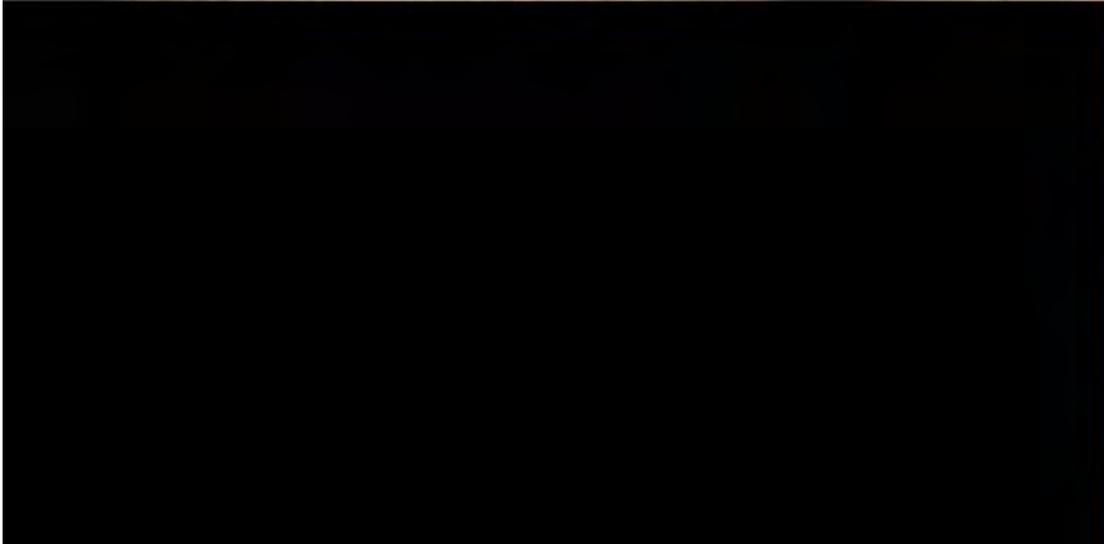






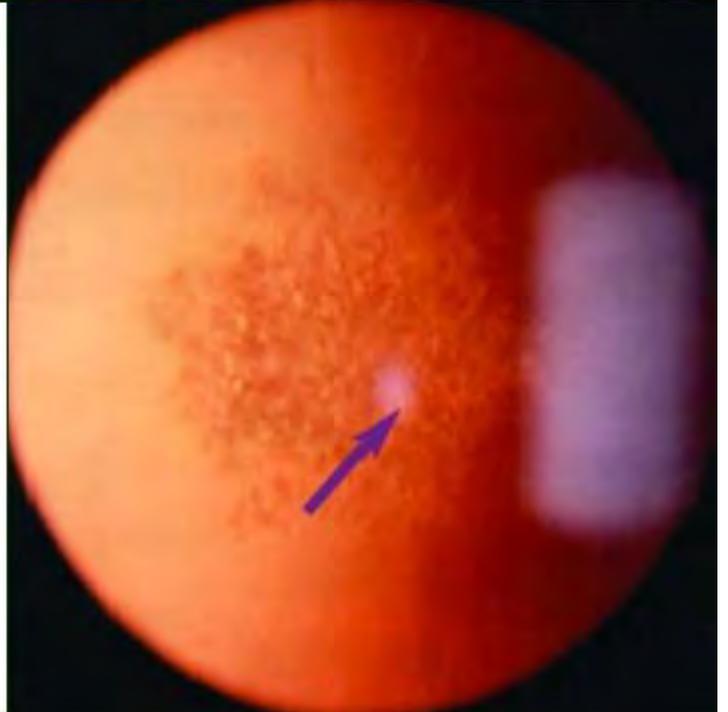
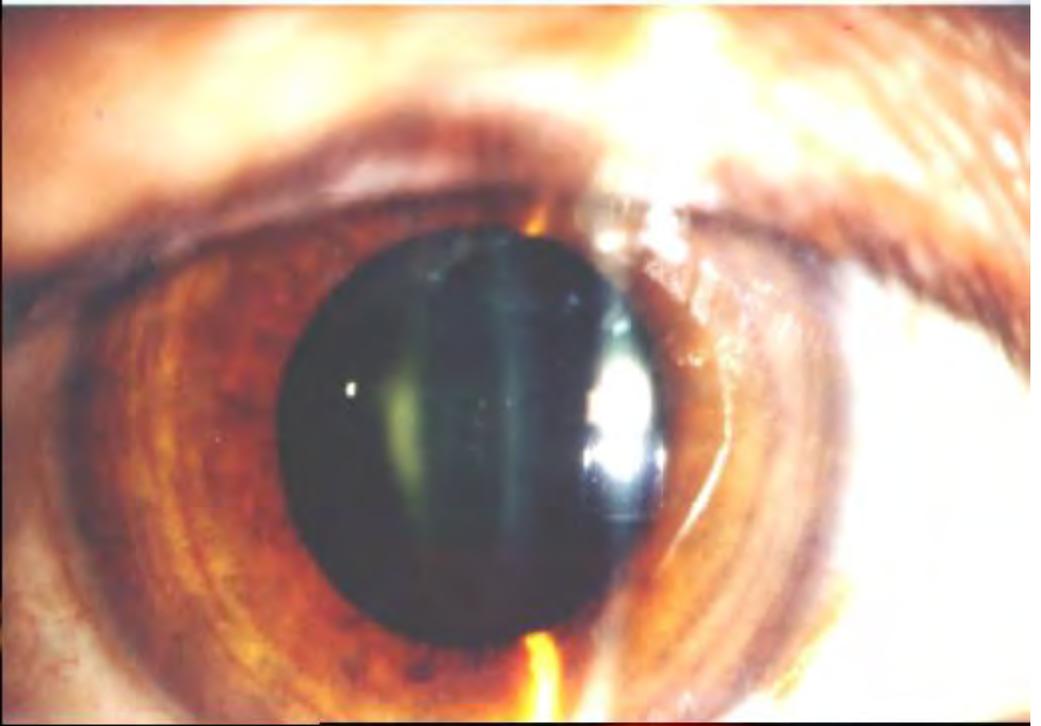
Quemaduras en las piernas













Los residentes en areas 'contaminadas'



21/08/2019

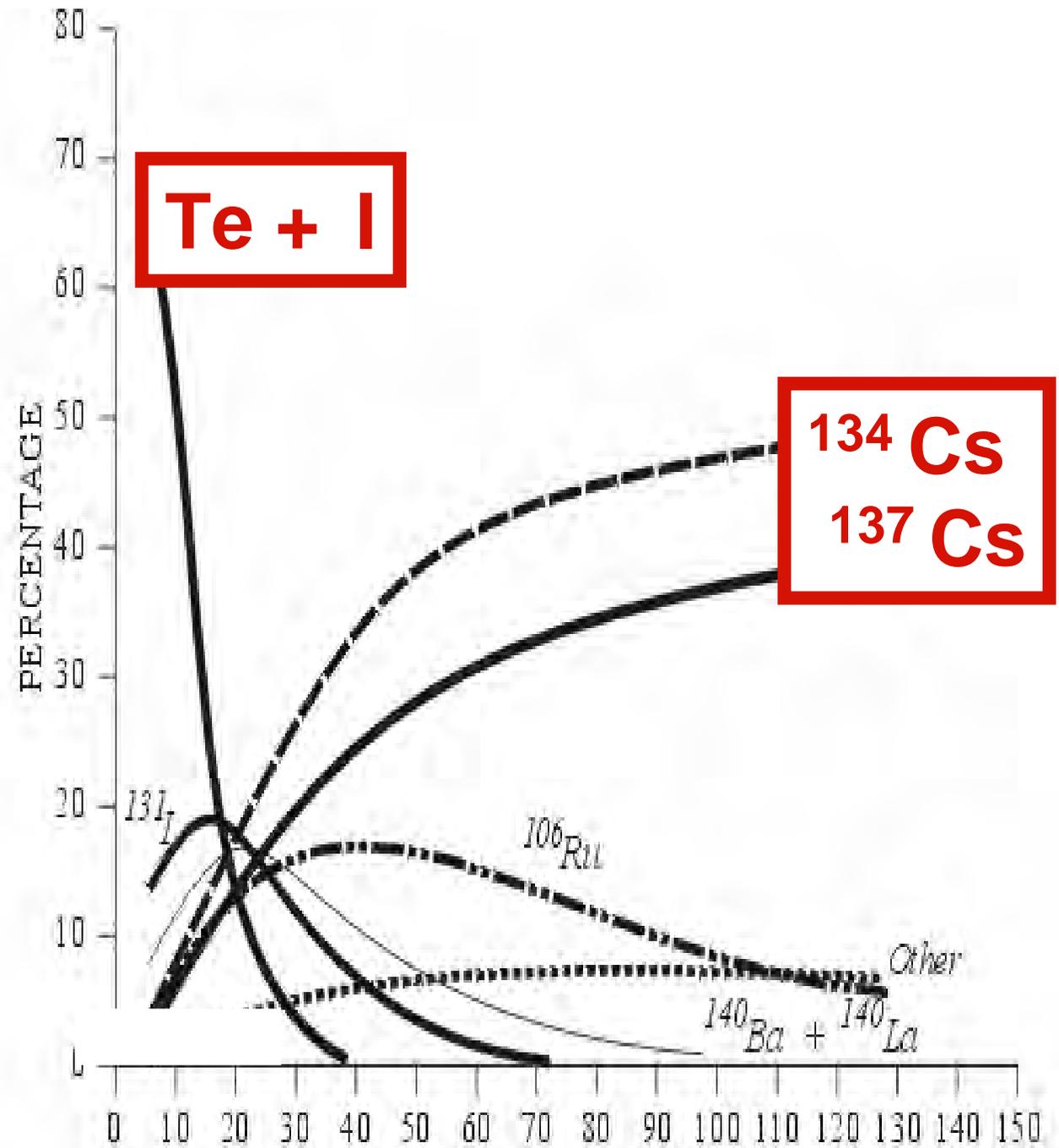
"Contaminación" significa presencia.

Pero conlleva una connotación involuntaria

de impureza y peligro!

Radionucleidos Significativos

Contribución a la dosis



Iodo → Glándula Tiroidea →



Cesio

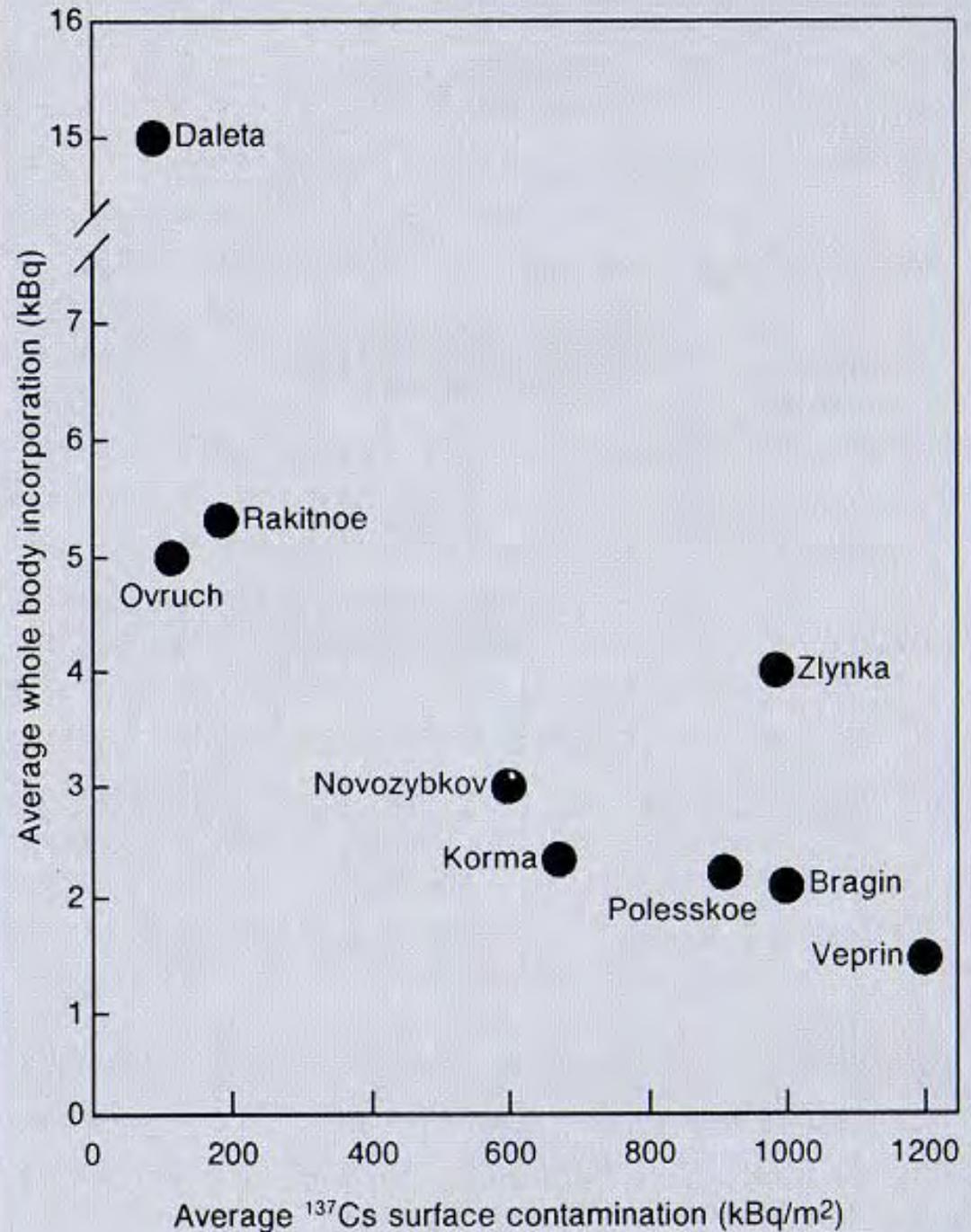


Exposición de todo el cuerpo

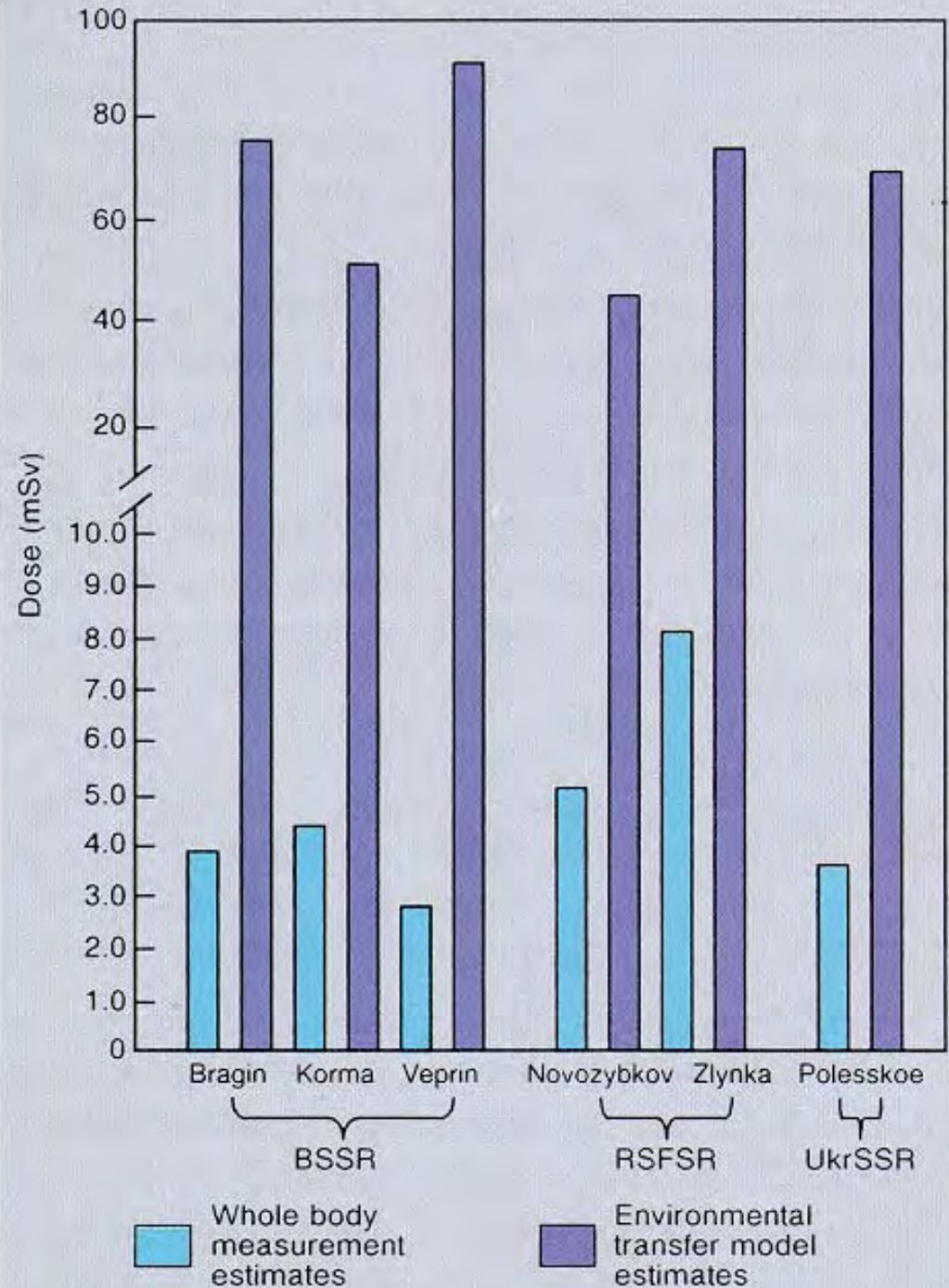


De “Contaminación” a Dosis de Radiación

**Mas
contaminación
no es
necesariamente
igual a dosis mas
altas!**



Conclusión:
Las dosis de radiación evaluada mediante las mediciones in vivo del OIEA fueron mucho menores que las estimaciones teóricas de los ‘modeladores’





El OIEA midió la incorporación de cesio de la población y evaluó las dosis reales incurridas .

**Mas de 16,000
pobladores
fueron
monitoreados
*In Situ***





**La incorporación de los
chicos fueron
corroboradas con datos
Cubanos**



La base de datos

cubana

**¡Confirmó
las evaluaciones
dosimétricas del OIEA!**

IAEA-TECDOC-958

*Dosimetric and biomedical studies
conducted in Cuba of children from
areas of the former USSR
affected by the
radiological consequences of the
Chernobyl accident*



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

IAEA

August 1997

Exposición de los residentes

Promedio (10 años)

8 mSv

De por vida

13 mSv

EL DRAMA TIROIDEO





Figure 29-9. Fallout.



Milk and milk substitutes



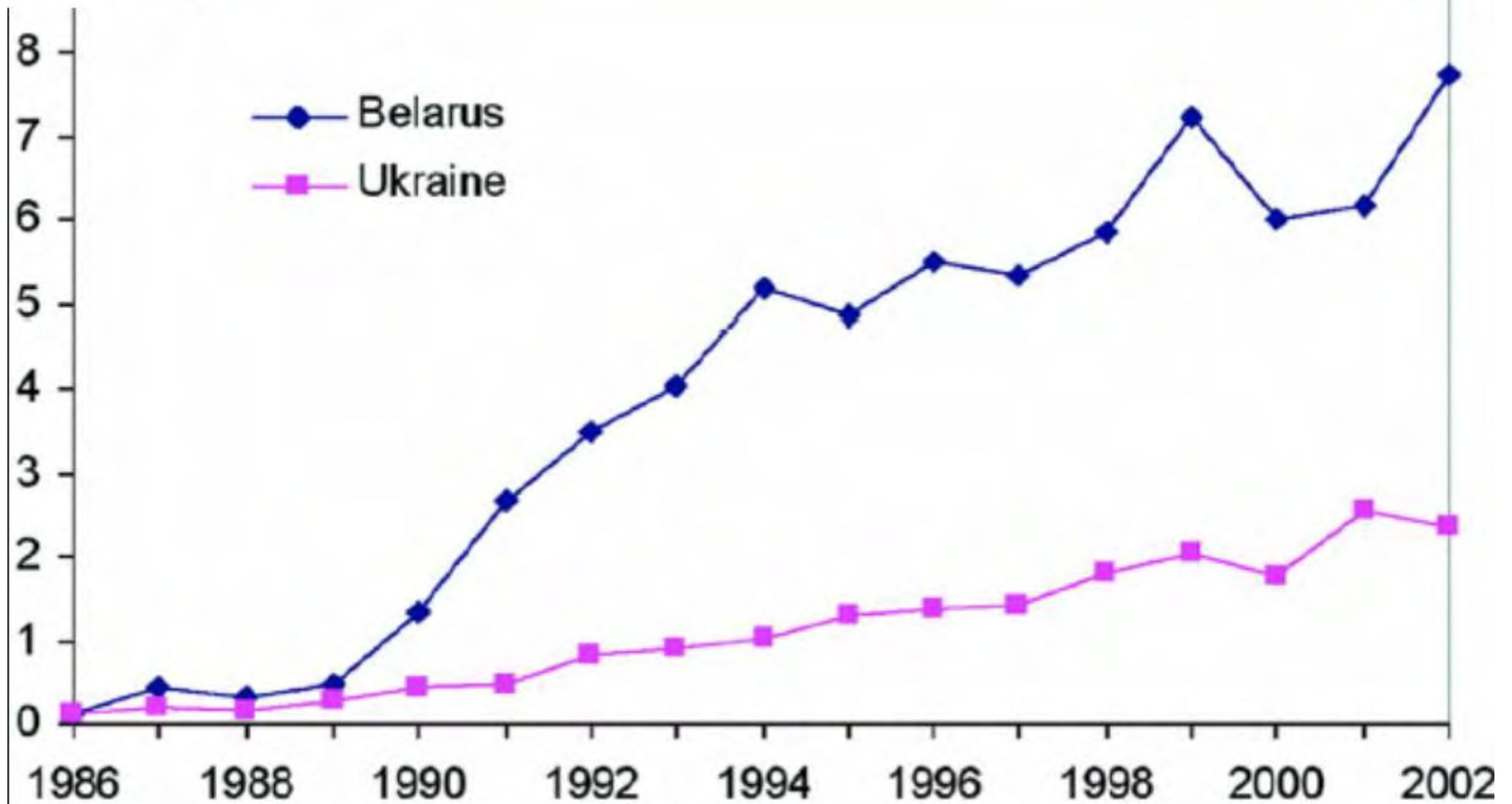
Dosis en la tiroides



- (Dosis promedio en la tiroides) **300 mSv ?**
- (Chicos mas expuestos) **10000 mSv ?,**

¿o mas?

9 / 100 000



Jacob P, Bogdanova TI, Buglova E, Chepurnyi M, Demidchik Y, Gavrillin Y, Kenigsberg J, Meckbach R, Schotola C, Shinkarev S, Tronko MD, Ulanovsky A, Vavilov S, Walsh L (2006) Thyroid cancer risk in areas of and Belarus affected by the Chernobyl accident. *Radiat Res.* 165(1) 1-8





Conferencia Internacional



ONE DECADE AFTER CHERNOBYL

Summing up the Consequences of the Accident

Proceedings of an International Conference
Vienna, 8–12 April 1996

Jointly sponsored by

EUROPEAN COMMISSION
INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
WORLD HEALTH ORGANIZATION

In cooperation with

UNITED NATIONS
DEPARTMENT OF THE MANAGEMENT OF DISASTERS
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION
UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME
UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMISSION ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION
FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS
ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT
NUCLEAR ENERGY AGENCY

2005

The Chernobyl Forum



IAEA



WHO



FAO



UN
DP



UNEP



UN-OCHA



UNSCEAR



WORLD BANK GROUP



Belarus



the Russian Federation



Ukraine

***Chernobyl's Legacy:
Health, Environmental
and Socio-economic Impacts***

and

***Recommendations to the
Governments of Belarus,
the Russian Federation and Ukraine***

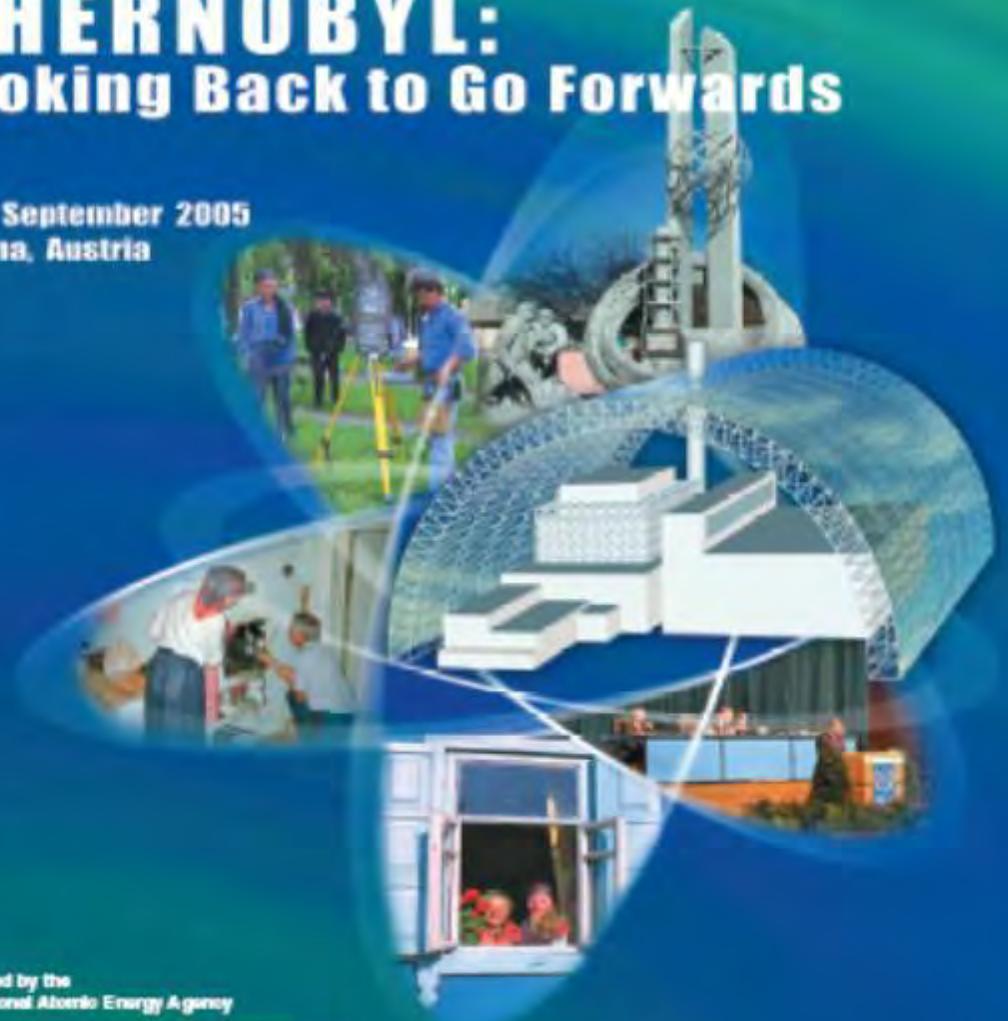


The Chernobyl Forum

International Conference

CHERNOBYL: Looking Back to Go Forwards

6 – 7 September 2005
Vienna, Austria



Organized by the
International Atomic Energy Agency

On behalf of the Chernobyl Forum, composed of



IAEA



WHO



FAO



UNDP



UNEP



UN-OCHA



UNSCEAR



THE WORLD BANK



THE WORLD BANK

and the Governments of Belarus  the Russian Federation  and the Ukraine 

Co-sponsor web site: <http://www-pub.iaea.org/NECS/Meeting/Chern050505.asp>

UNSCEAR

EFFECTS OF IONIZING RADIATION

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

UNSCEAR 2006 Report

Volume I
Report to the General Assembly
Scientific Annexes A and B



CONCLUSIONES SOBRE LAS SECUELAS DE CHERNOBYL

- **~30 muertes (instantaneas), y**
- **~ 200 lesiones determinísticas severas atribuibles clínicamente a Chernobyl**

**~ 7000 cánceres de tiroides pediátricos
no-mortales,**

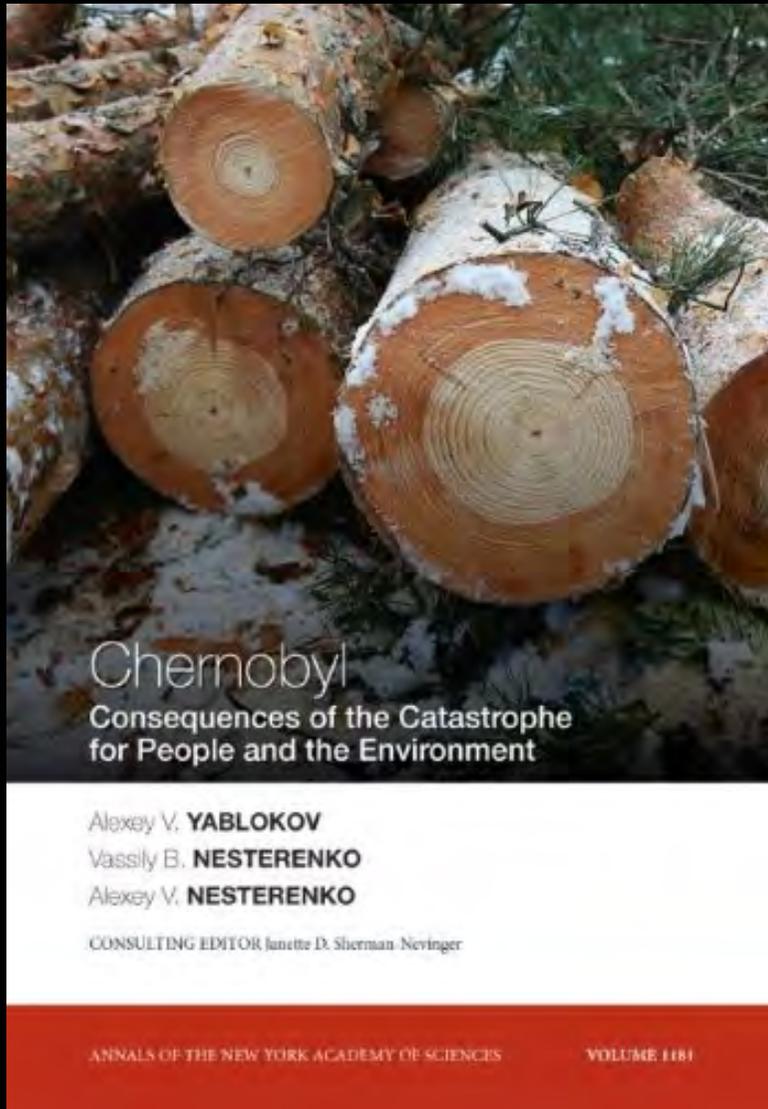
todos ellos fácilmente evitables

**No existe ninguna evidencia confirmada
de otro impacto a la salud pública
directamente atribuible a la exposición a
la radiación de Chernobyl**

Amplia “contaminación”,

**con connotaciones que deterioraron las
vidas de los pobladores, crearon ansiedad, y
arruinaron la economía**

Mitología pseudo-científica



Chernobyl:
Consequences of the Catastrophe
for People and the Environment
Annals
of the
New York Academy of Sciences

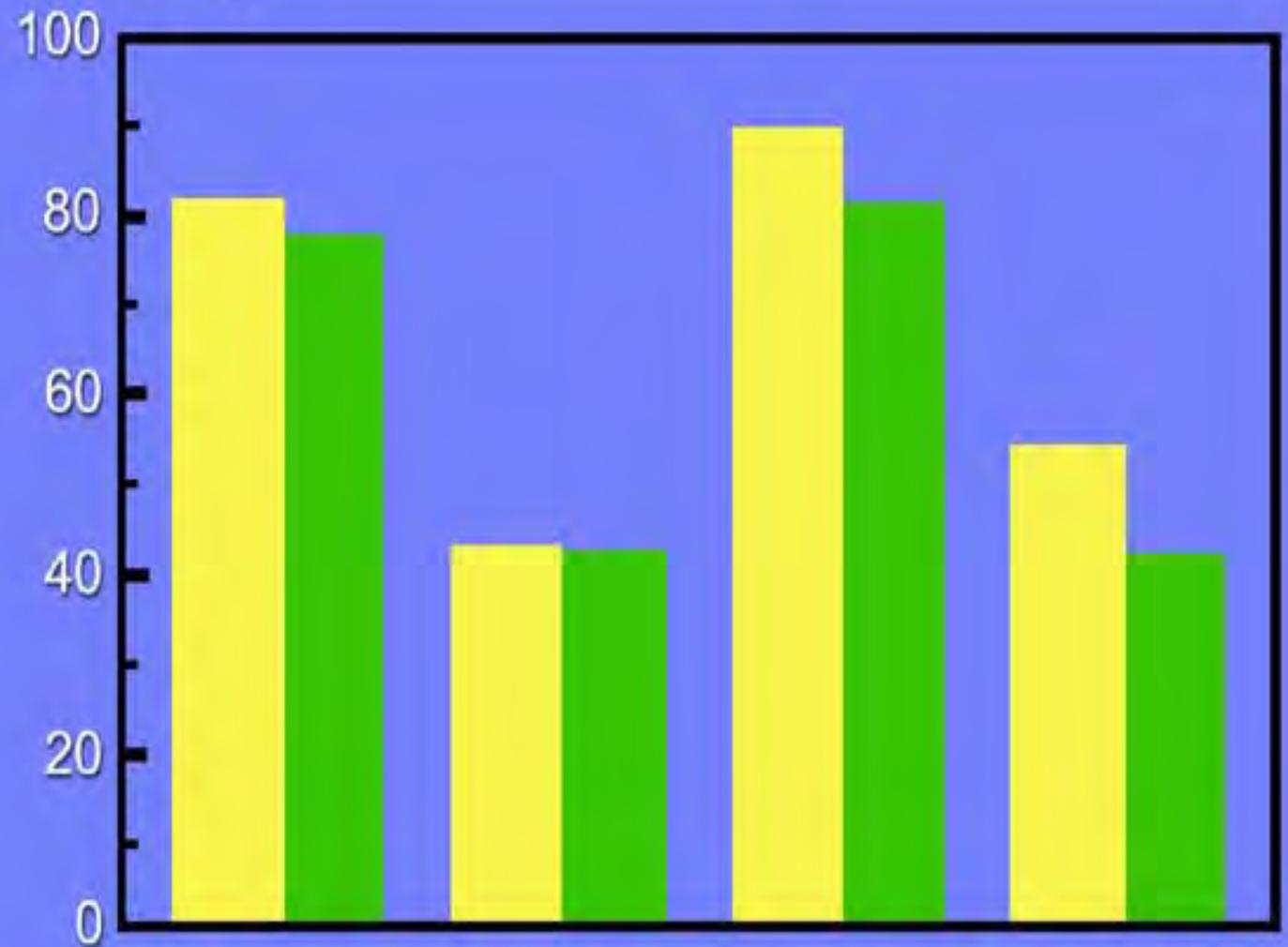
Alexey V. Yablokov (Editor),
Vassily B. Nesterenko (Editor),
Alexey V. Nesterenko (Editor),
Janette D. Sherman-Nevinger (Editor)

Concluye que, ¡unas 985,000 personas murieron de
cáncer causado por el accidente de Chernobyl!

Este serio error epistemológico fue responsable de una de los mayores secuelas post-accidentales:

los efectos psicológicos

Percentage



Headache Depression Fatigue Appetite Loss

"contaminated areas"

"uncontaminated areas"

Pero, Chernobyl sí fue responsable

de:

Cataclismo político



Tragedia social



Ruina económica



El accidente de Fukushima

Fukushima Dai-ichi NPP



Source: www.tepco.co.jp

**¿Qué sucedió en
Fukushima Daiichi?**

¿Qué sucedió?

- **Una Central Nuclear decrepita con características de seguridad obsoletas fue sacudida por un terremoto catastrófico que desbastó ciudades enteras.**
- **Pese a ello, la Central no sufrió daño significativo alguno y se detuvo en forma segura.**

¿Cómo siguió?

- Sin embargo, el terremoto también destruyó el suministro eléctrico de toda la zona lo que anuló el sistema de refrigeración de la Planta detenida.
- No obstante, un sistema de alimentación eléctrica de emergencia reemplazó al normal adecuadamente y el sistema de refrigeración continuó funcionando.



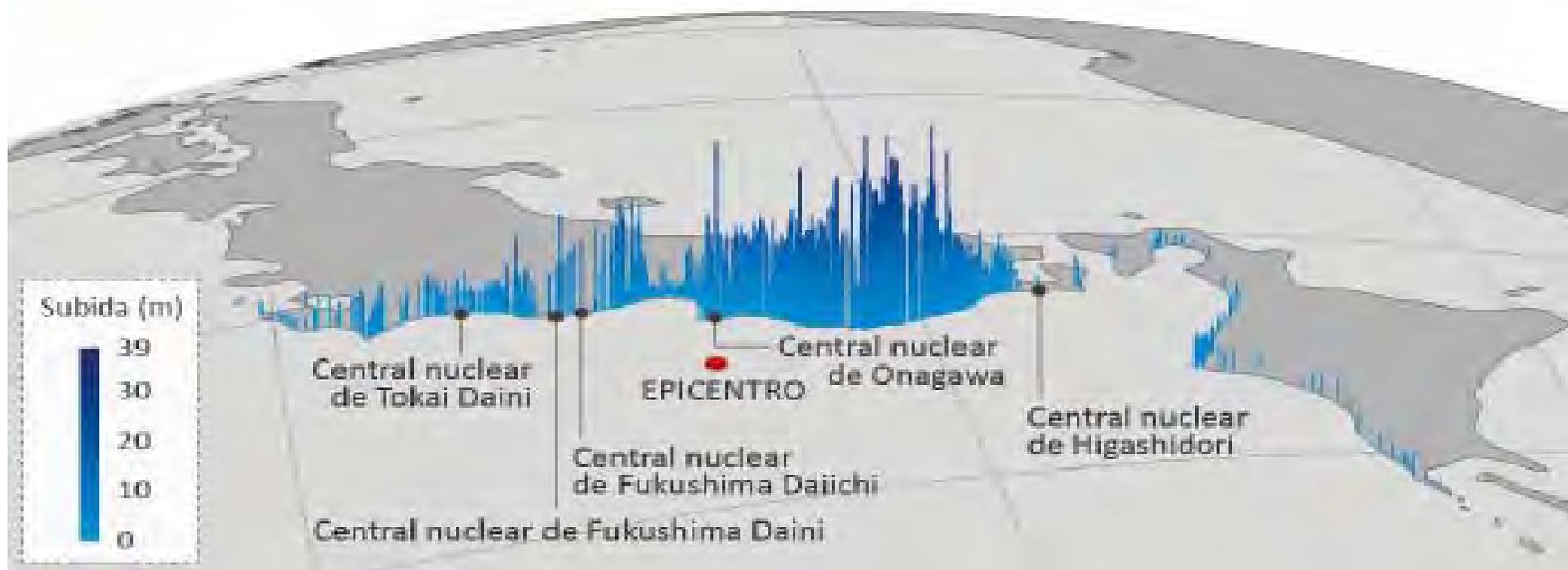
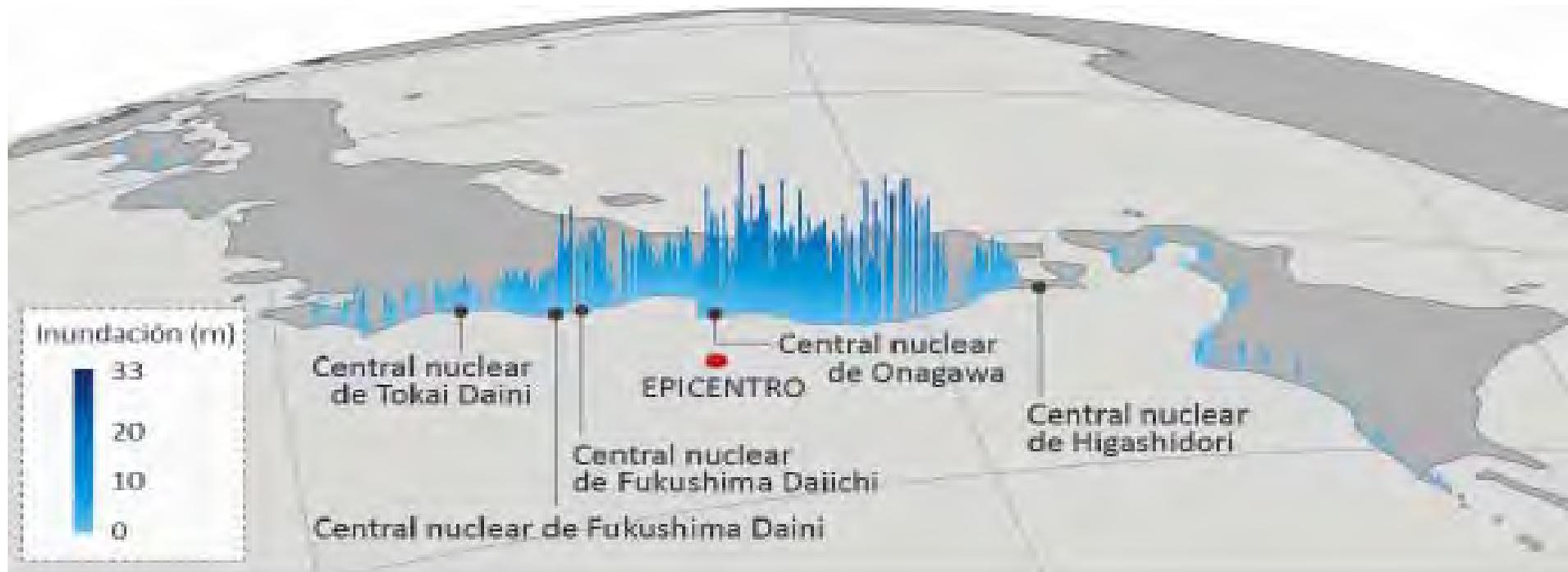
¿Cómo siguió?

- Ocurrió un gran *tsunami*, de 14 metros de altura, que inundó toda la zona, mató a más de 30 000 personas,

.....y ...

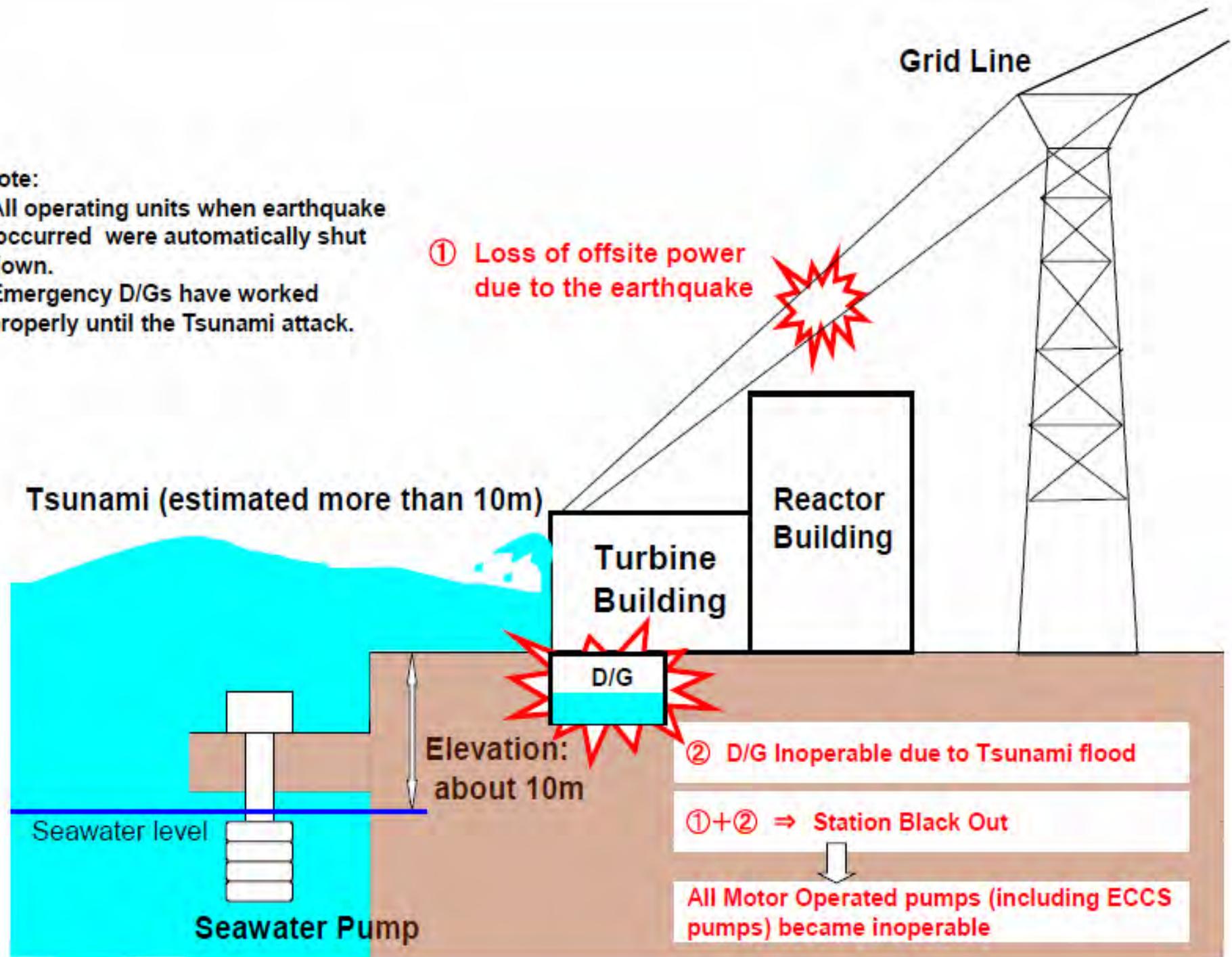
¡destruyó el enfriamiento de emergencia!

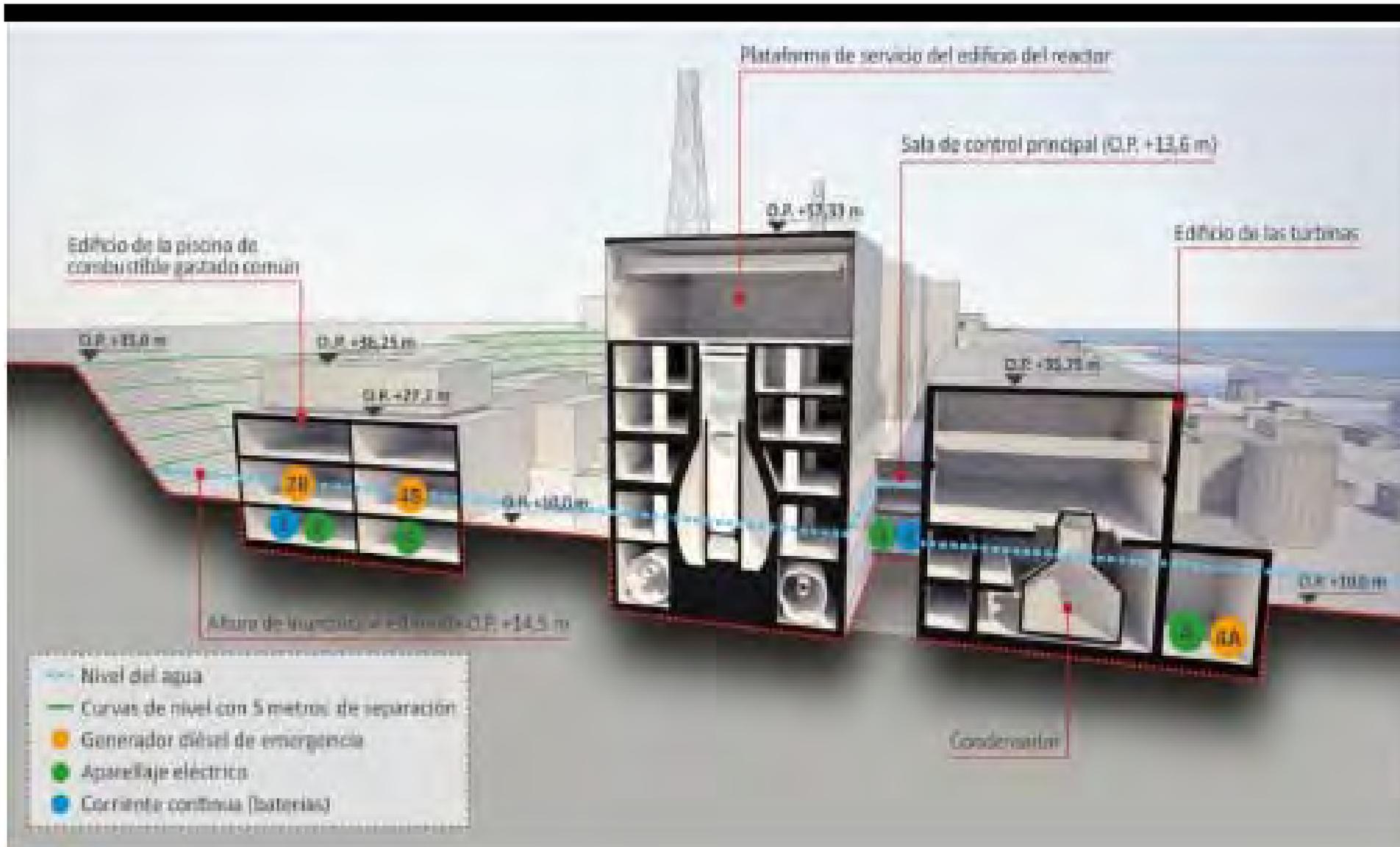




Note:

- All operating units when earthquake occurred were automatically shut down.
- Emergency D/Gs have worked properly until the Tsunami attack.





¿Cuáles fueron las consecuencias?

- **Parte del combustible de los reactores se fundió.**
- **La contención fue insuficiente.**
- **Se liberó material radioactivo al medio ambiente.**

¡Pese a todo este escenario

increíble, nadie recibió una

dosis letal de radiación!



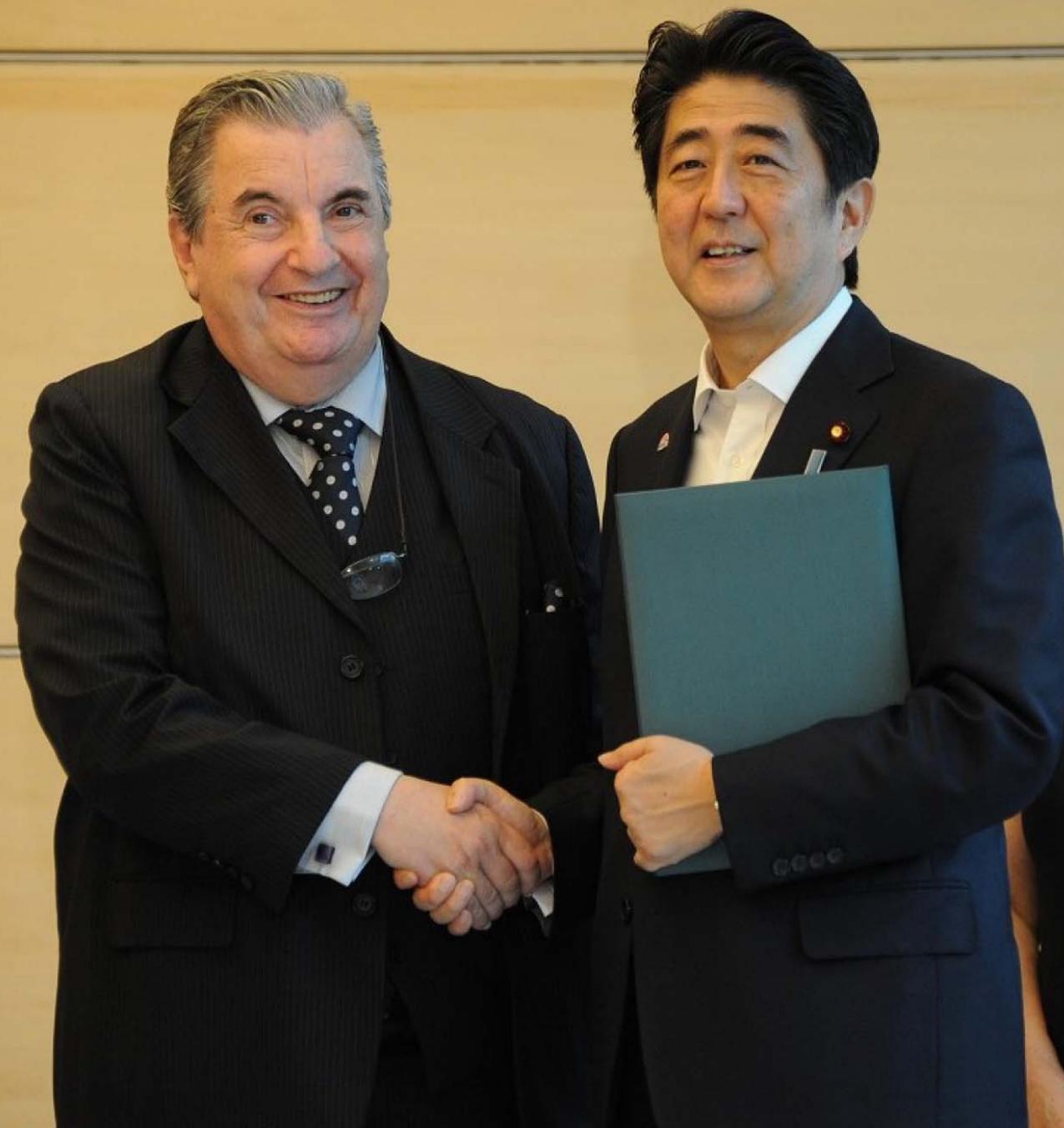
El accidente de Fukushima Daiichi



Informe del Director General

La evaluación del OIEA





‘Consecuencias radiológicas’

Presencia de radioactividad en el ambiente
(descargas, dispersión, depósito, productos de consumo)

Medidas de protección

Exposición a la radiación

Efectos

Impacto ambiental



Radioactividad en el ambiente

***'Contaminación'* de la atmósfera**

"Contaminación" significa presencia.

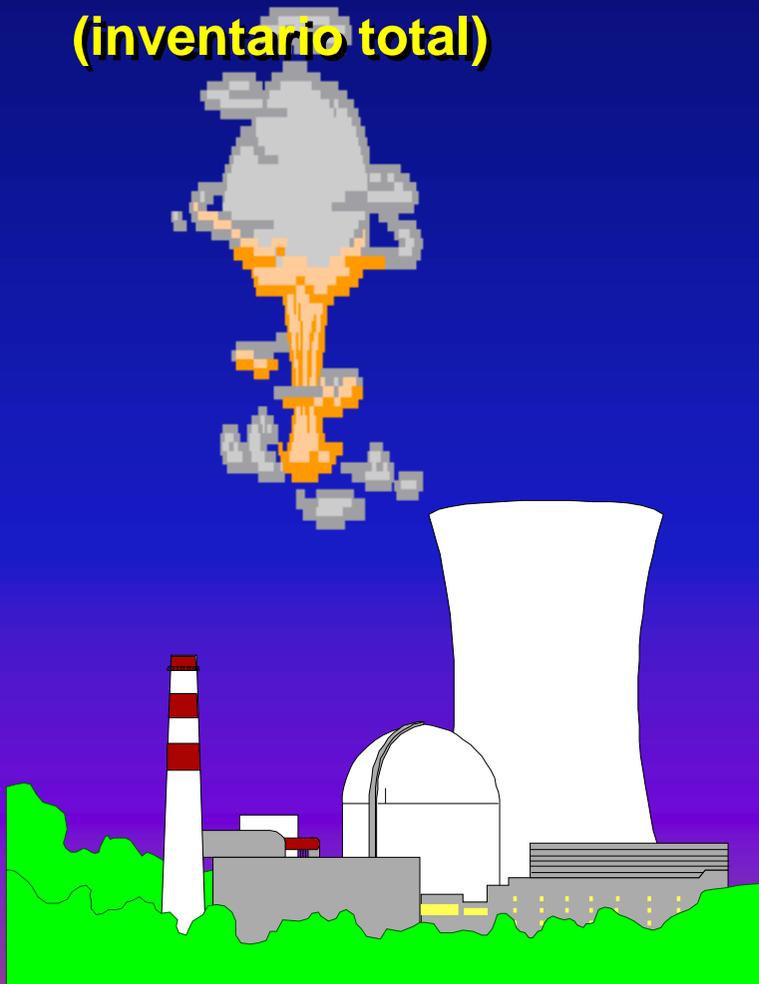
Pero conlleva una connotación involuntaria

de impureza y peligro!

Gases nobles

6.4 to 32.6 PBq de ^{85}Kr
y hasta
11 000 PBq de ^{133}Xe
(inventario total)

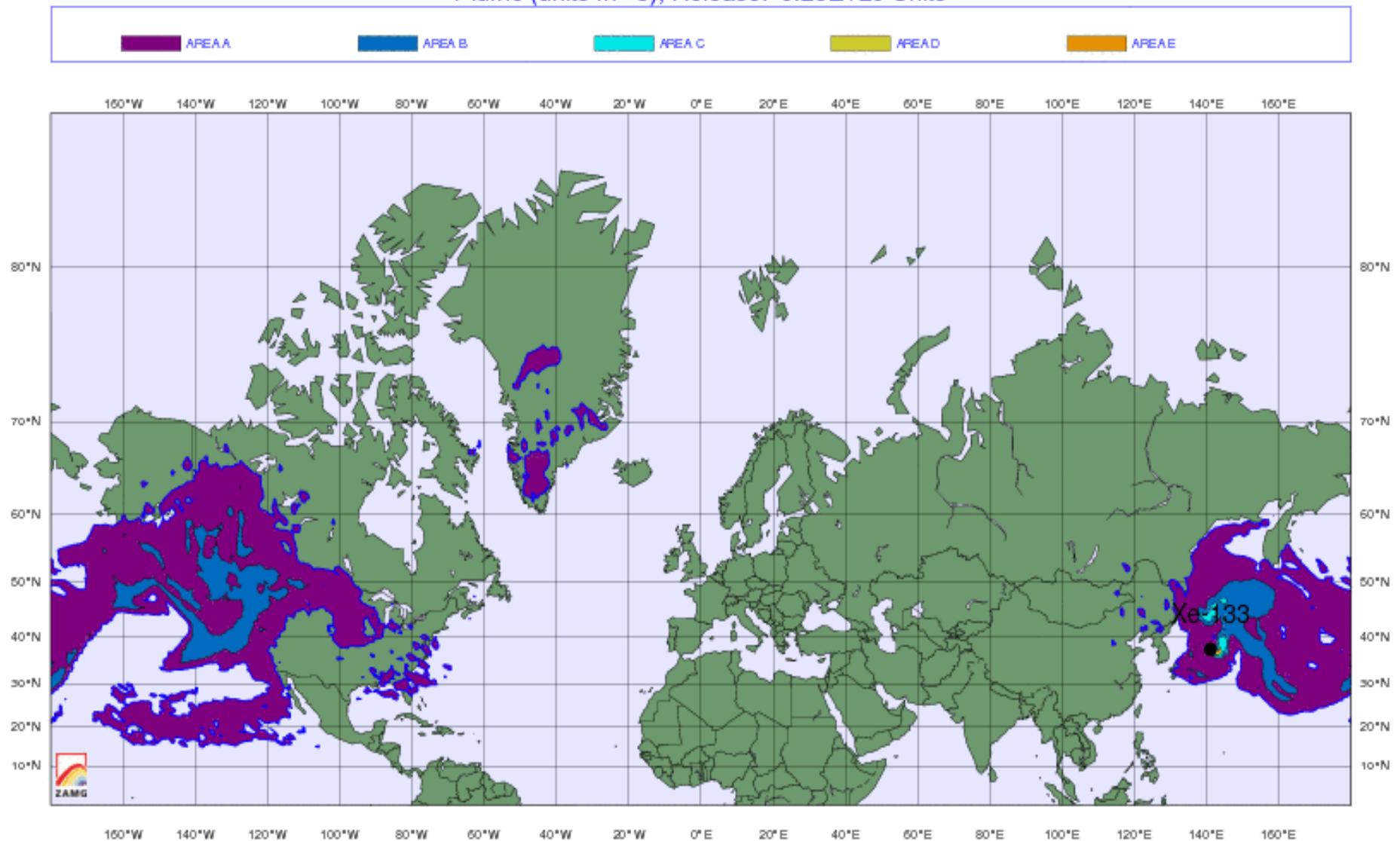
Dispersión y
dilución global



AKW_FUKUSHIMA-Xe-133

20110508-000000

Plume (units m^{-3}), Release: $0.25E+20$ Units



***'Contaminación'* del océano**

Dischargas al mar en el sitio

^{131}I → 10 a 20 PBq.

^{137}Cs → 1 a 6 PBq (3.5–15 PBq?)

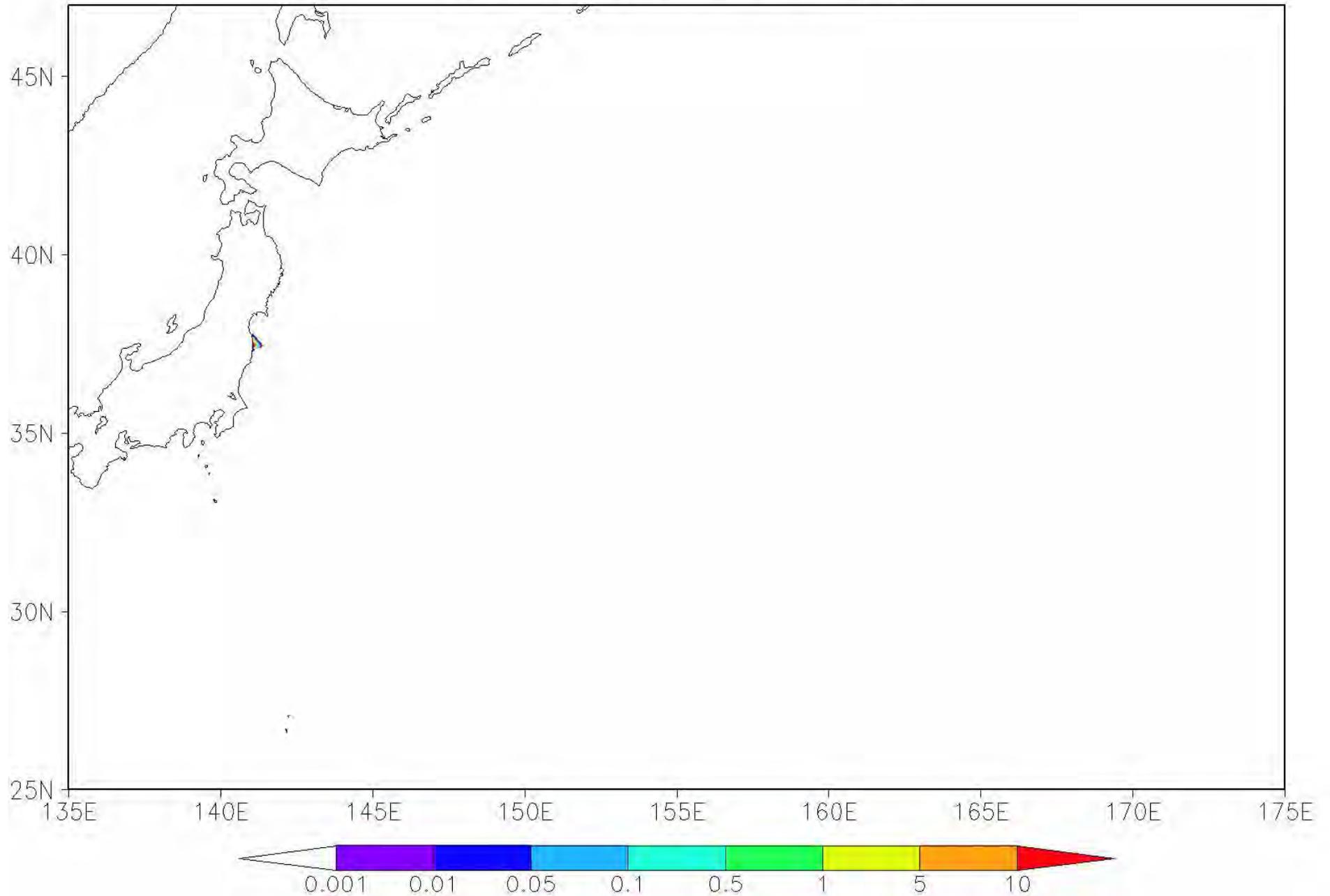


Dispersión oceánica



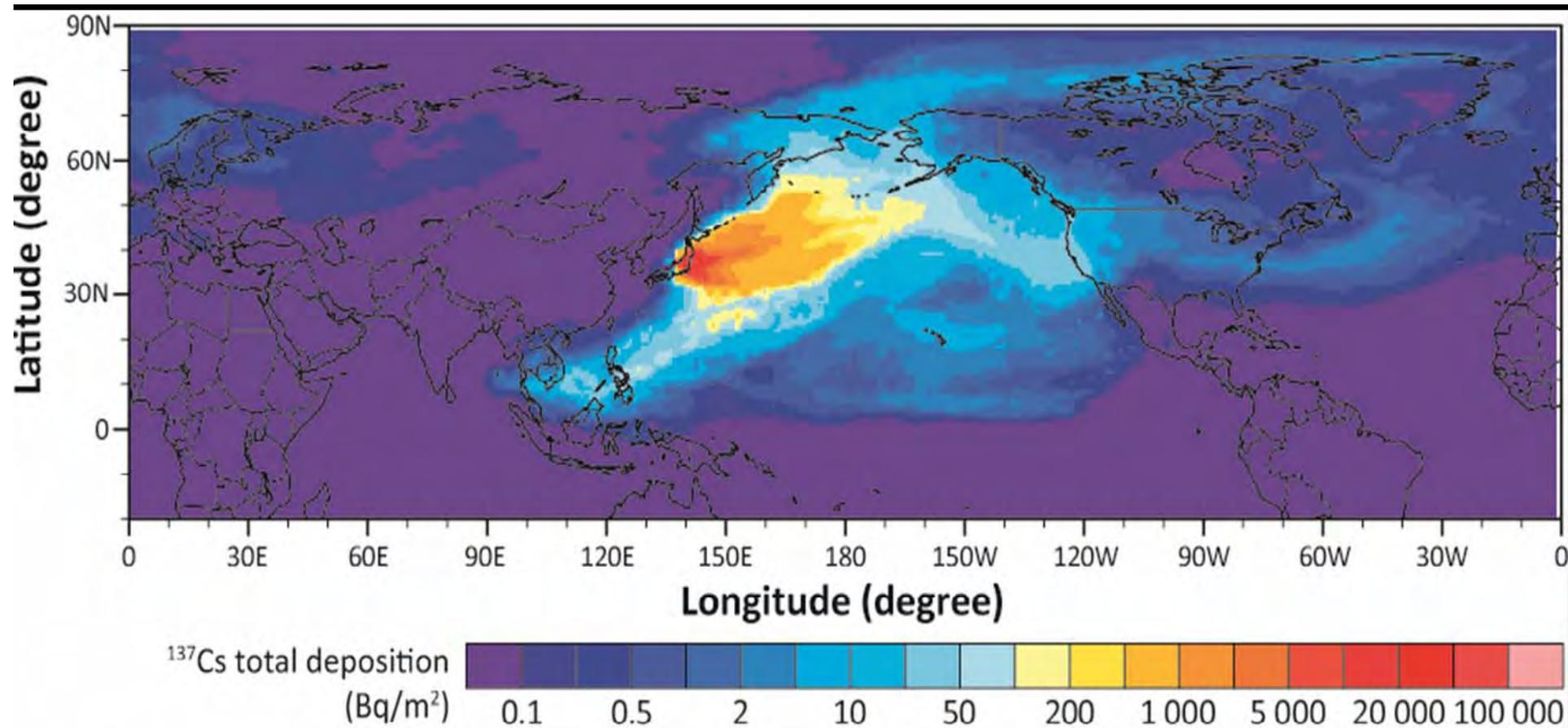
- Transporte hacia el este con la corriente de Kuroshio.
- A grandes distancias a través del giro del Océano Pacífico Norte Altamente diluido en el agua del mar

Cs-137 (2011 MAR 21)



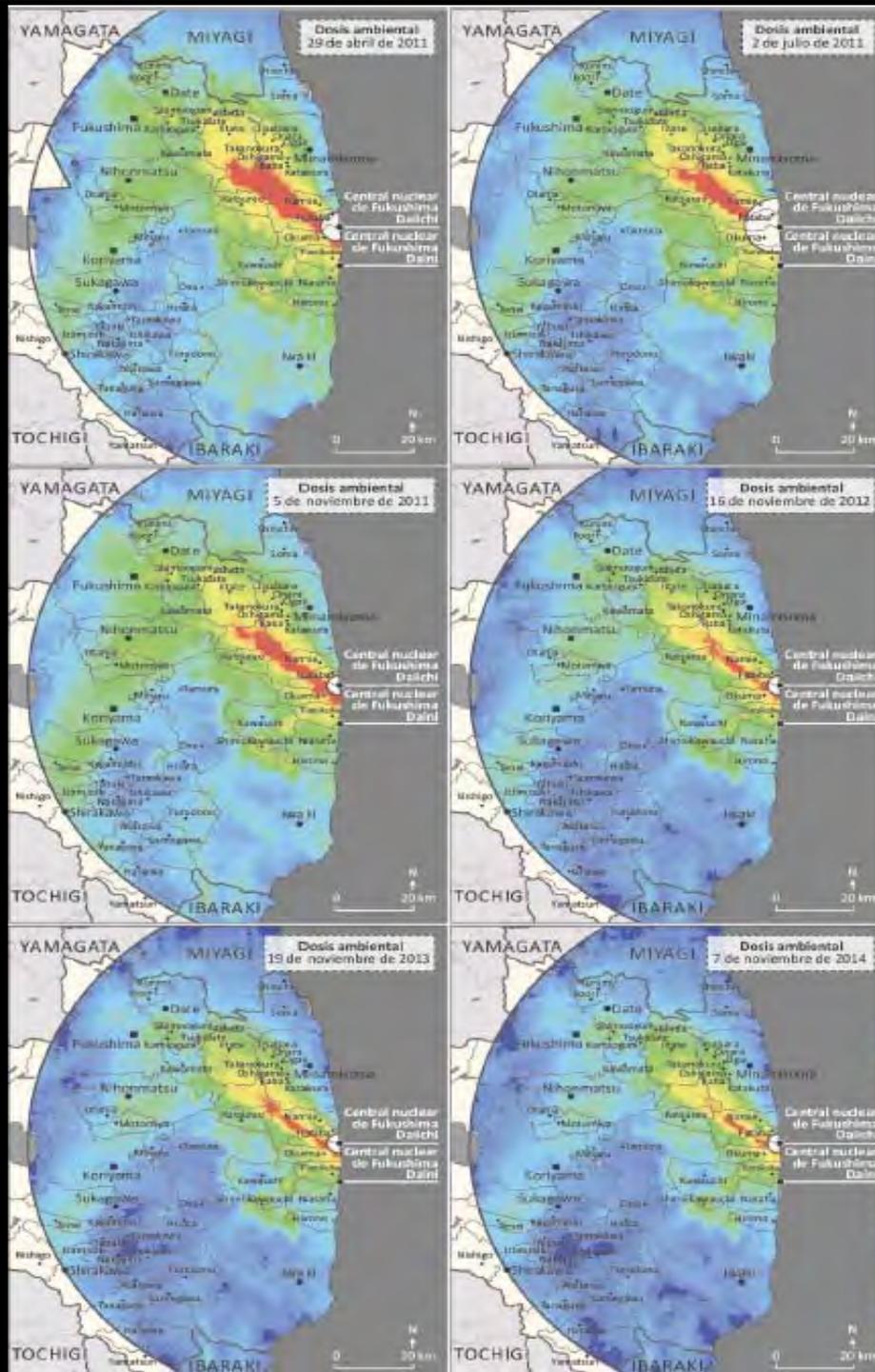
Depósito

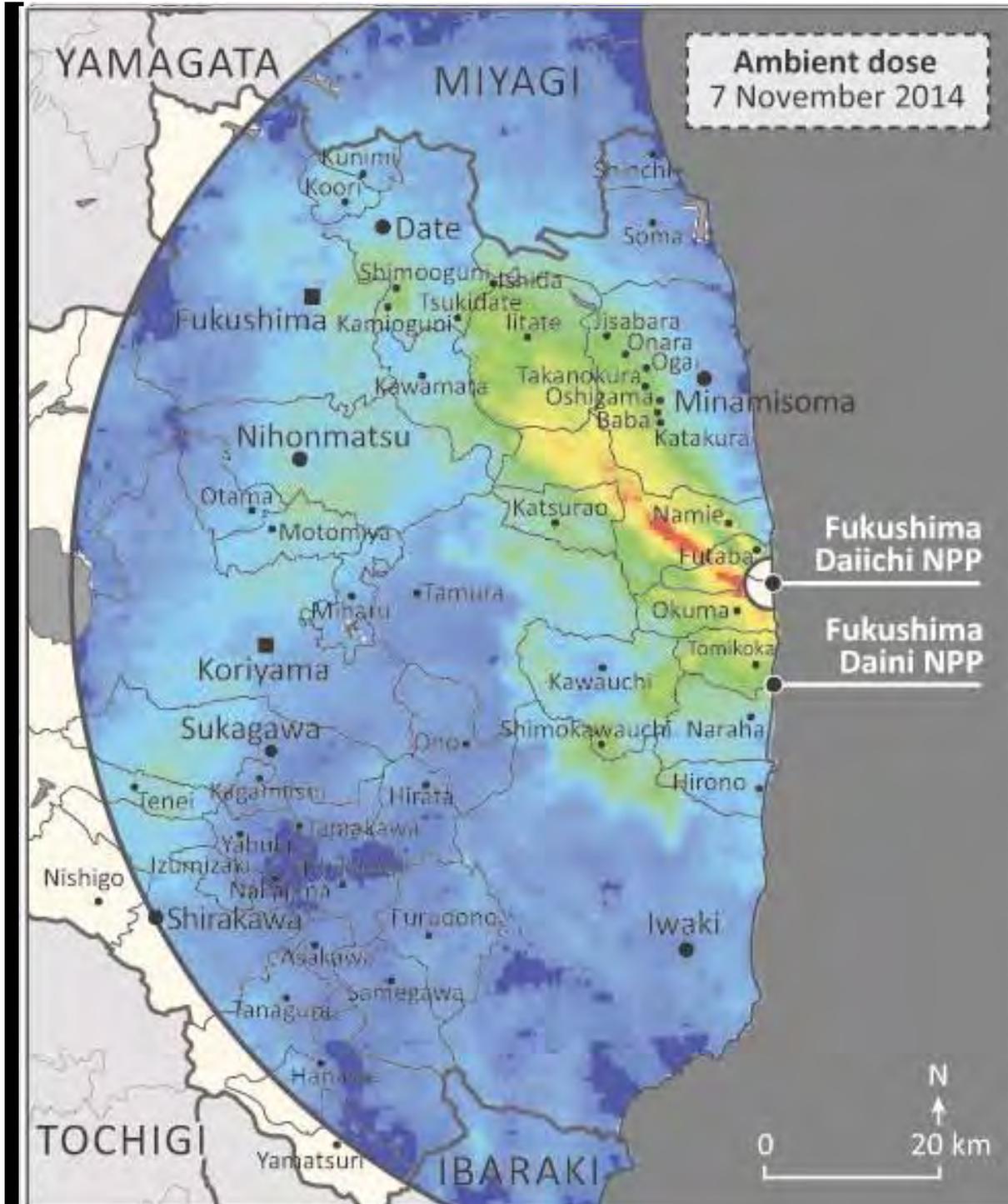
Sobre el océano



Terrestre

(“*Contaminación*” de territorios)





Global Backgr.

~10 Few people in few areas

~1 Many people in many areas

~0.2 World average

~0.1 Min.

Protección

**Impacto de las medidas y
acciones tomadas para
proteger al público**



Refugio

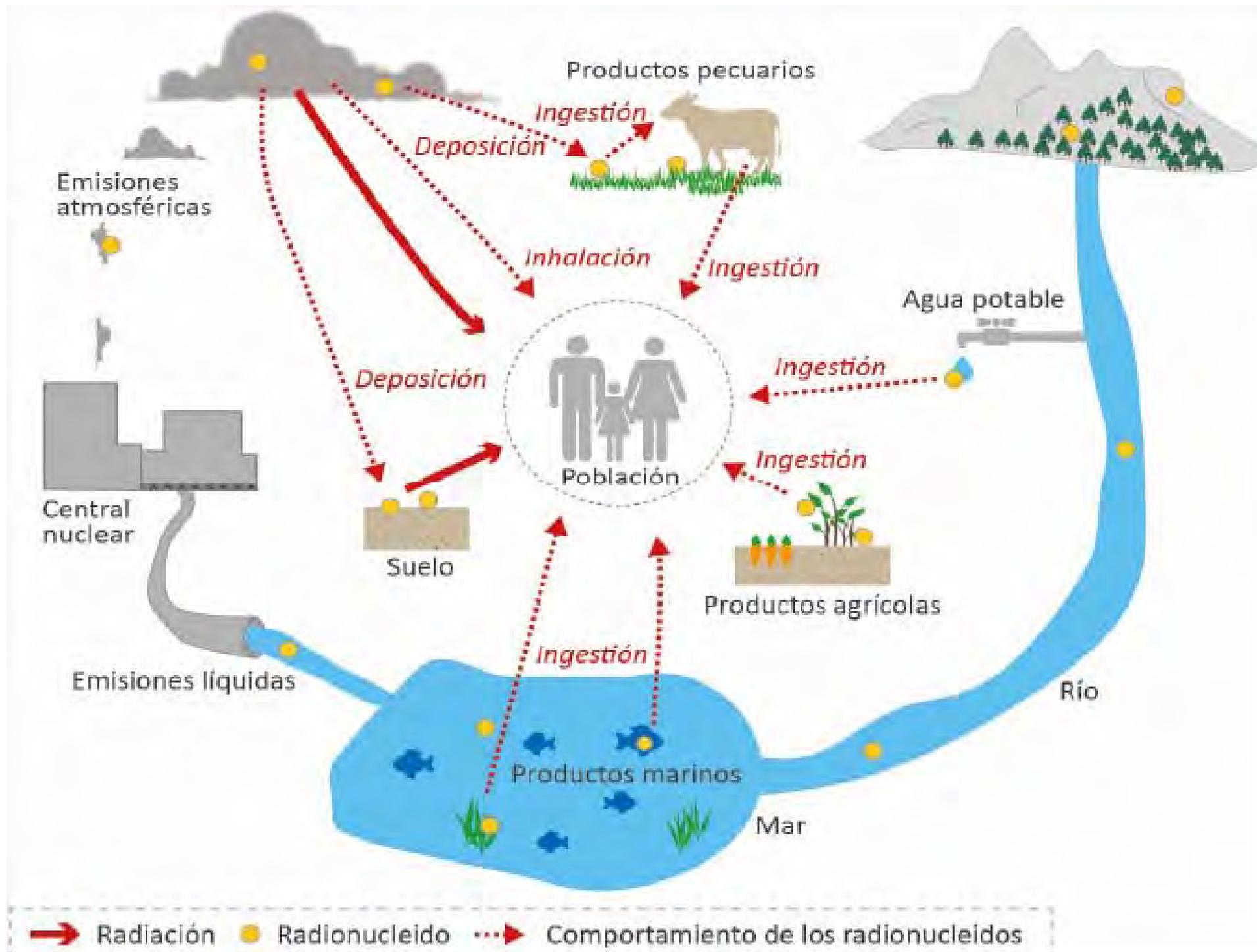
La evacuación inicial condujo a condiciones de hacinamiento



Reubicación: Las condiciones normales del hábitat personal fueron muy afectadas.

Dosis de radiación

Las primeras evaluaciones de las dosis de radiación se basaron en modelos teóricos y resultaron en algunas sobreestimaciones



Emisiones atmosféricas

Productos pecuarios

Ingestión

Deposición

Inhalación

Ingestión

Agua potable

Deposición

Ingestión

Central nuclear

Población

Ingestión

Suelo

Productos agrícolas

Emisiones líquidas

Ingestión

Río

Productos marinos

Mar



World Health Organization

Preliminary dose estimation

from the nuclear accident
after the 2011 Great East Japan
Earthquake and Tsunami



Perspectiva: Dosis anual en mSv

Fondo natural de radiación en el mundo

Estimación de la WHO

Pocas poblaciones \Rightarrow ~ 100



ALTA

TÍPICAMENTE ALTA

PROMEDIO

MÍNIMA

Itate, Namie

Gran cantidad de personas en muchas áreas \Rightarrow ~ 10

Iwaki, Naraha, Katsurao, Minami-Soma

La mayoría de los habitantes del mundo \Rightarrow ~ 2.4

Pocas poblaciones \Rightarrow ~ 1



World Health Organization

Health risk assessment

from the nuclear accident
after the 2011 Great East Japan
Earthquake and Tsunami

based on a preliminary dose estimation



**Nuestro estudio utilizó datos de encuestas
personales y, fundamentalmente,
resultados de monitoreo personal**

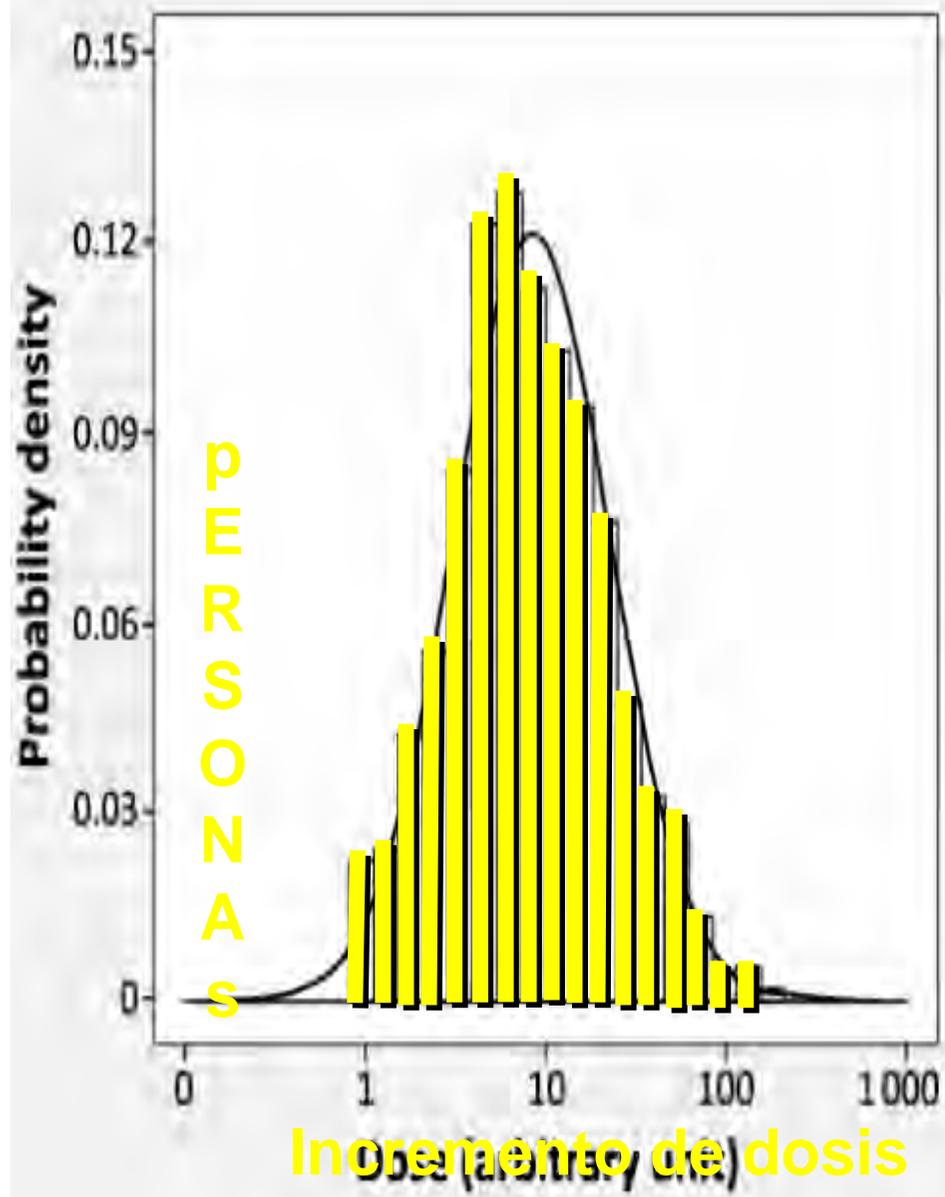
**Objetivo: evaluar las dosis individuales reales ...
.....¡y su distribución!**

Análisis estadístico de dosis

Realizamos un profundo análisis estadístico de los datos

Propósito:

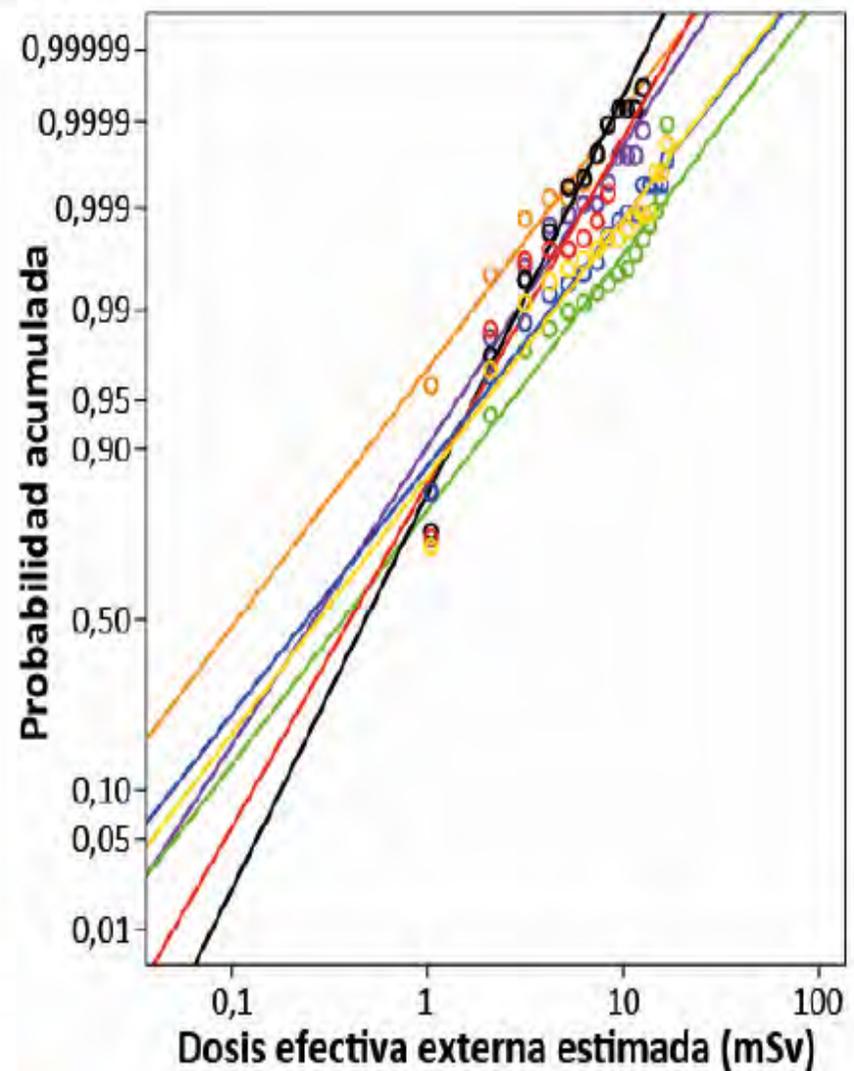
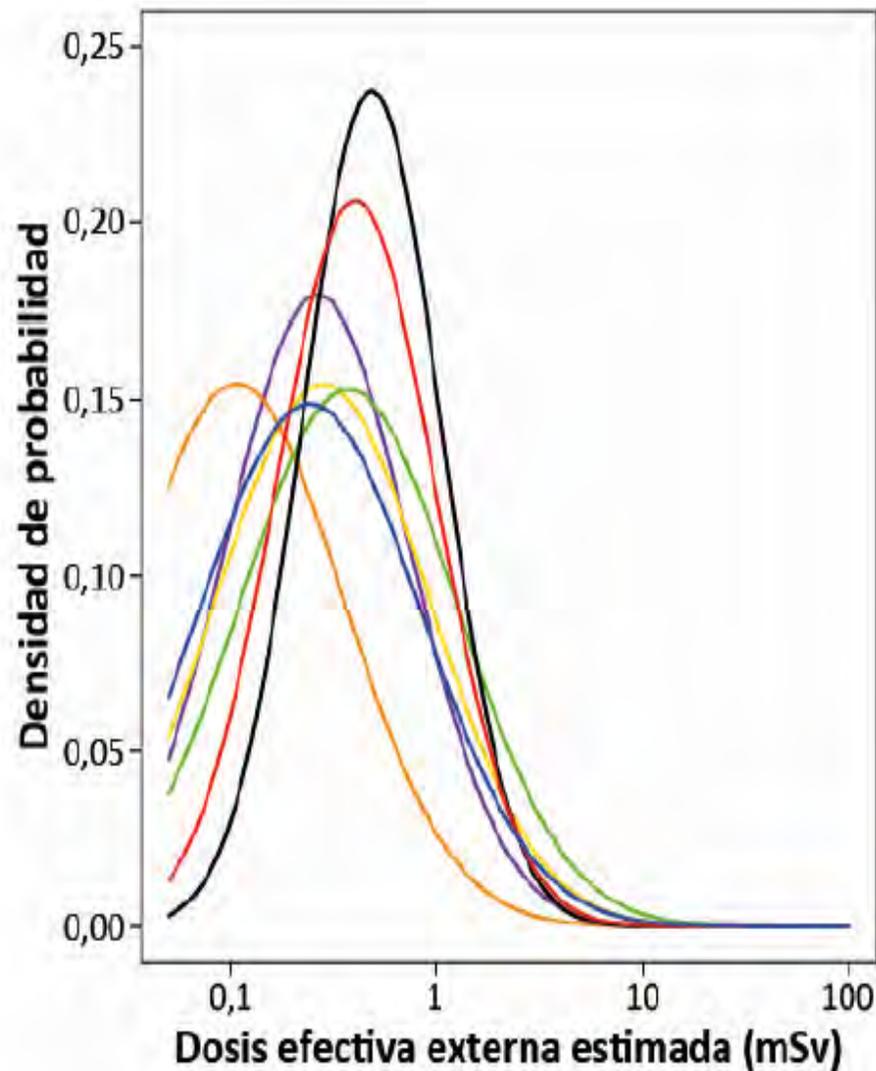
mejor comprensión de las dosis y sus variaciones.



S
A
N
S
O
R
T
E
M
P
O

Incremento de dosis

Dosis del público



— Futaba: Promedio = 0,24 mSv, rango del IC del 95 % = (0,022, 2,7) mSv

— Kawauchi: Promedio = 0,4 mSv, rango del IC del 95 % = (0,07, 2,3) mSv

— Minamisoma: Promedio = 0,48 mSv, rango del IC del 95 % = (0,11, 2,2) mSv

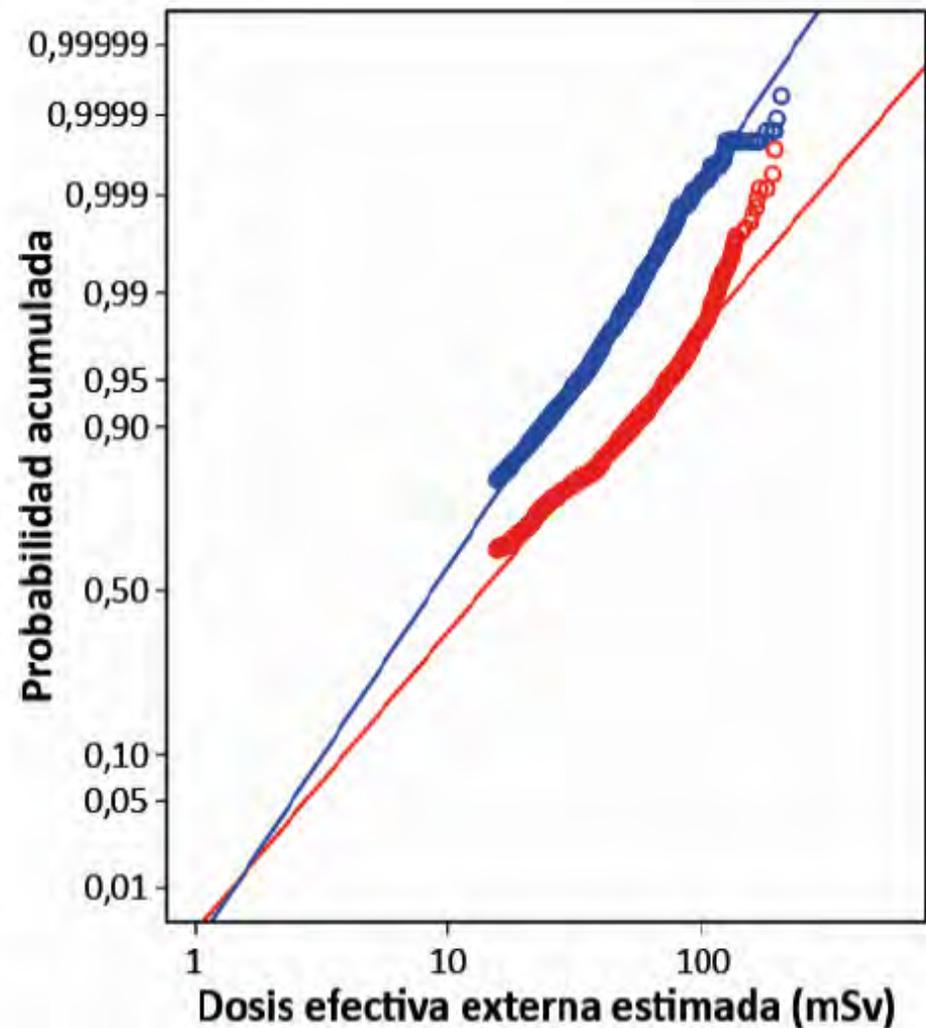
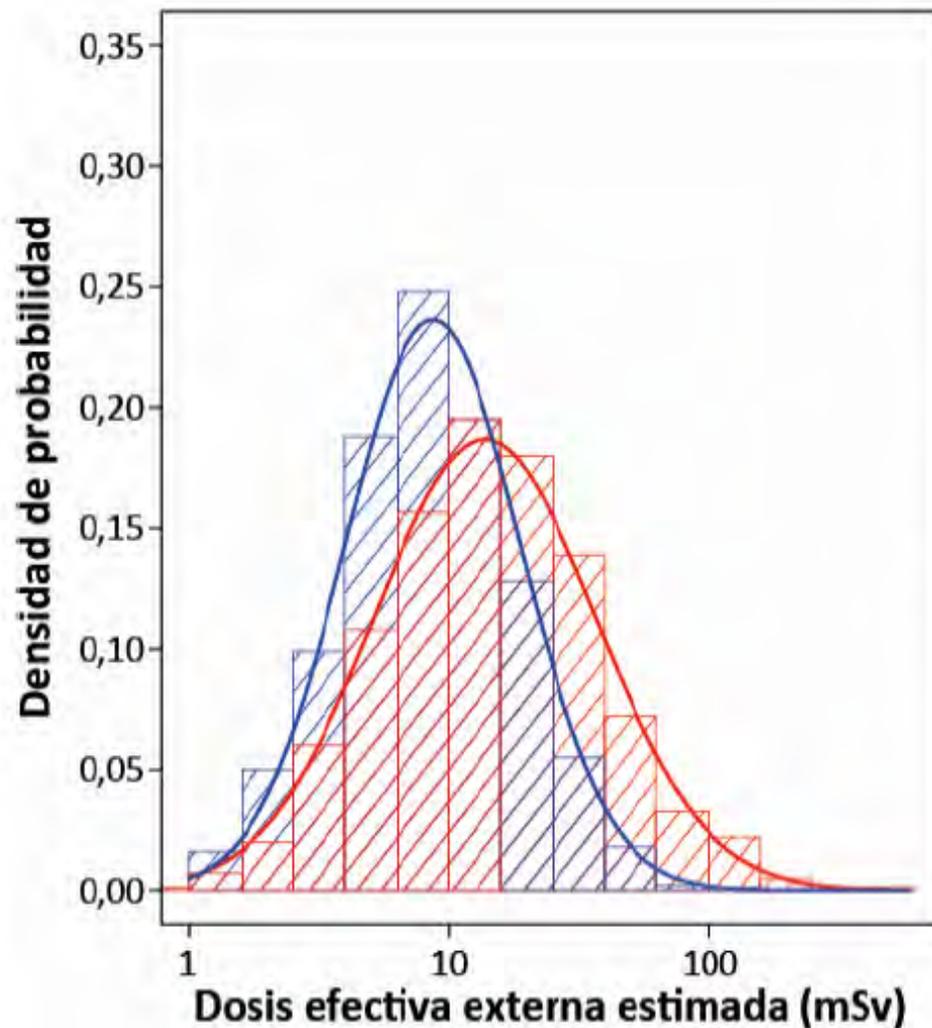
— Namie: Promedio = 0,37 mSv, rango del IC del 95 % = (0,035, 3,9) mSv

— Naraha: Promedio = 0,11 mSv, rango del IC del 95 % = (0,01, 1,1) mSv

— Okuma: Promedio = 0,28 mSv, rango del IC del 95 % = (0,027, 2,9) mSv

— Tomioka: Promedio = 0,26 mSv, rango del IC del 95 % = (0,036, 2) mSv

Dosis Ocupacionales



— TEPCO: Promedio = 14 mSv, rango del IC del 95 % = (2, 94) mSv

— Contratistas: Promedio = 8,7 mSv, rango del IC del 95 % = (1,9, 40) mSv

Distribución normalizada idealizada de la densidad de probabilidad y de la probabilidad acumulada de la dosis equivalente personal monitorizada en los trabajadores de TEPCO y los trabajadores contratados.

Las dosis correspondientes a los trabajadores de TEPCO fueron en general superiores a las de los trabajadores contratados porque trabajaron en zonas mas 'calientes'

Efectos

¡No se registraron muertes relacionadas con la radiación y no se han observado enfermedades agudas entre los trabajadores y el público en general expuesto a la radiación del accidente!

.... “No se espera ningún aumento discernible de la incidencia de efectos sobre la salud relacionados con la radiación ni entre los miembros expuestos del público y ni entre sus descendientes”

Preñez

**¿Debo
terminar mi
embarazo?**



**No hay terminaciones no deseadas de embarazo
que sean atribuibles a la situación radiológica**

Efectos prenatales

No se han observado efectos prenatales asociados a la radiación y no se espera que ocurran



Las dosis reportadas están por debajo del umbral en el que esos efectos prenatales pudiesen ocurrir

Efectos heredables

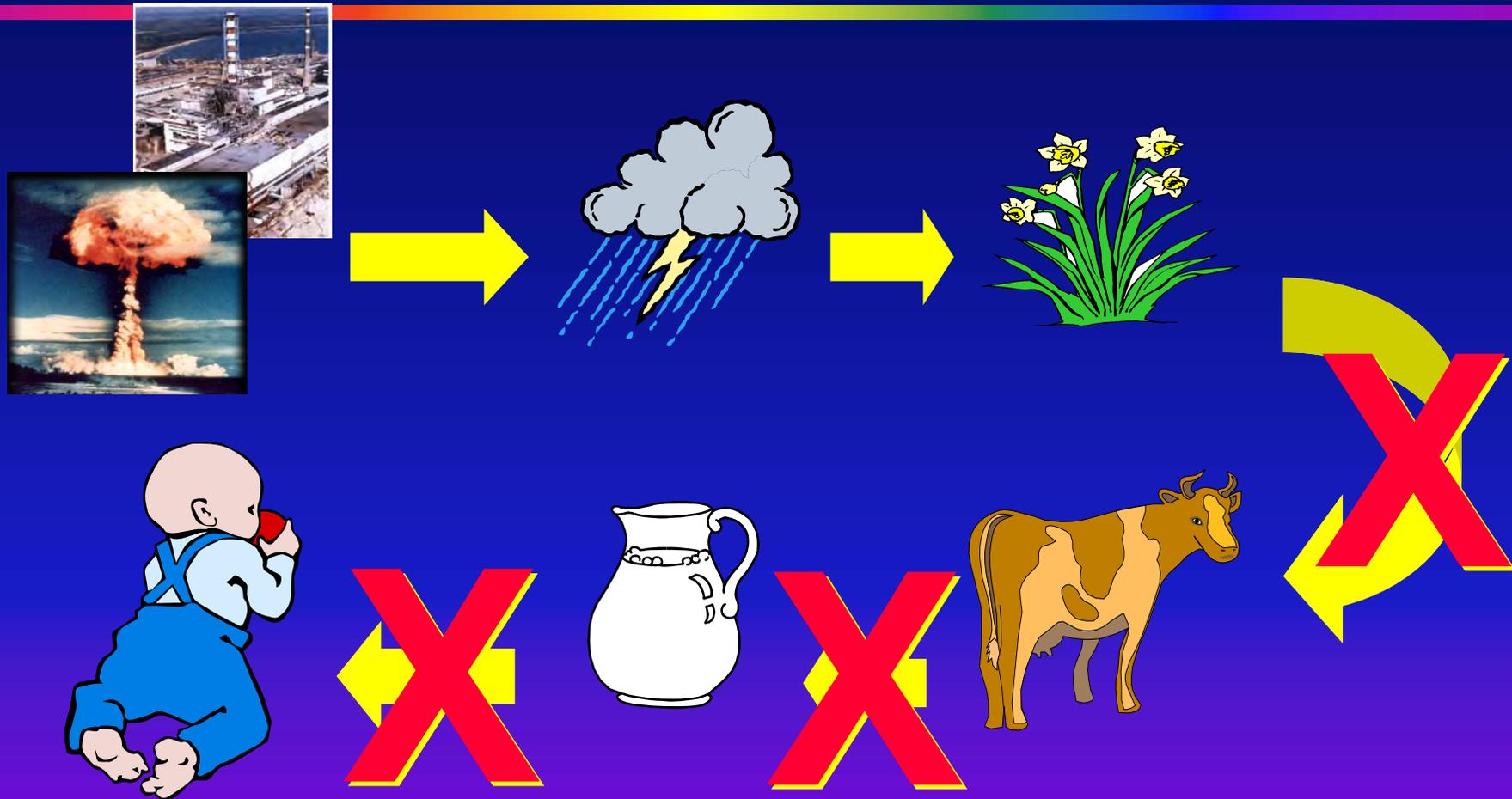
UNSCEAR dictum:

"Aunque demostrado en estudios con animales, aumentos en la incidencia de efectos hereditarios en poblaciones humanas no pueden en la actualidad ser atribuidos a la exposición a la radiación"

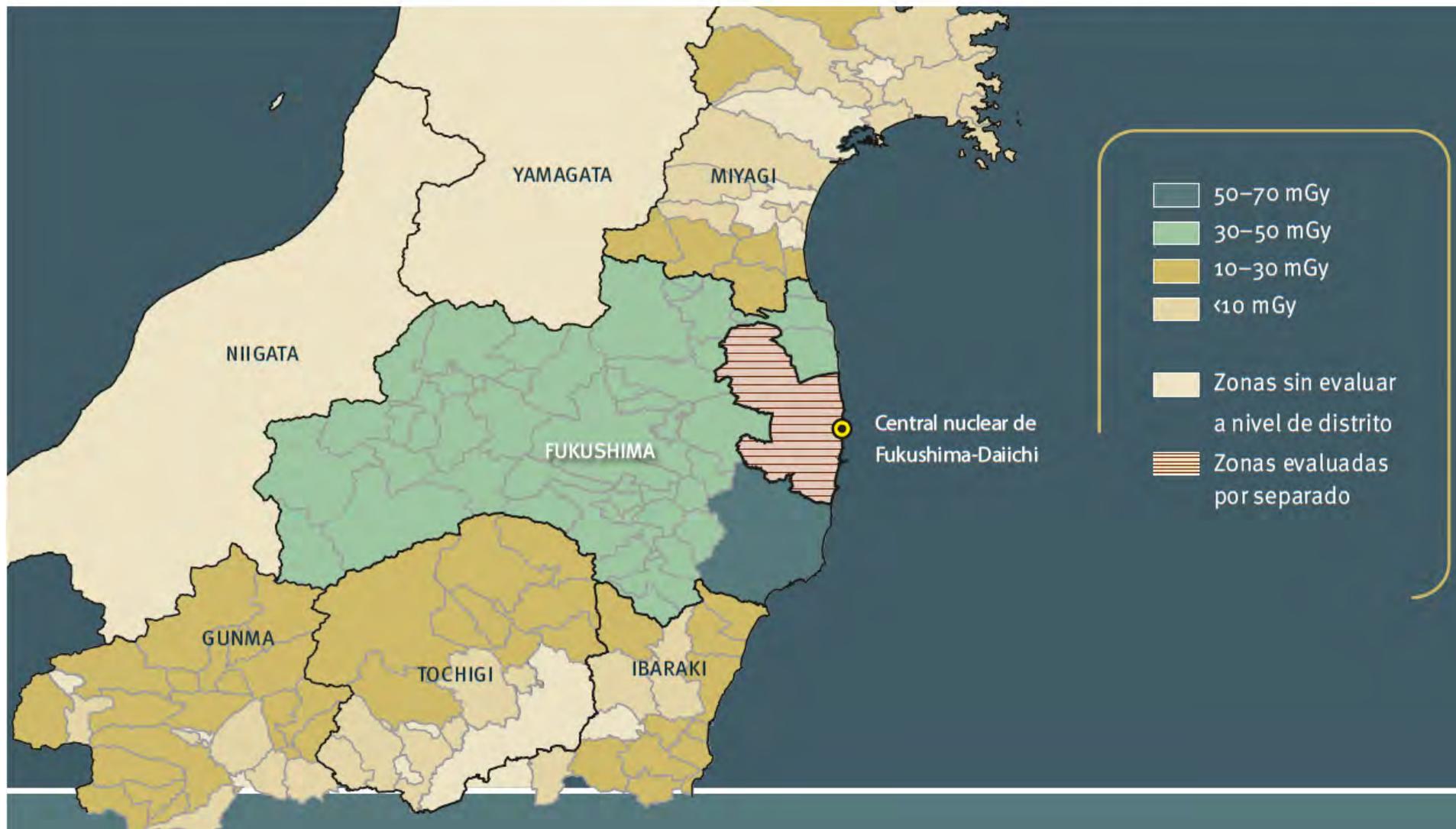
El tema tiroides

Particular preocupación por la ingesta infantil de ^{131}I , por las dosis subsecuentes en sus glándulas tiroides y por la posible aparición de cánceres de tiroides

Vía pasto-leche de vaca-tiroides (^{131}I)



Dosis medias en la tiroides de lactantes tras el accidente en la central nuclear de Fukushima-Daiichi

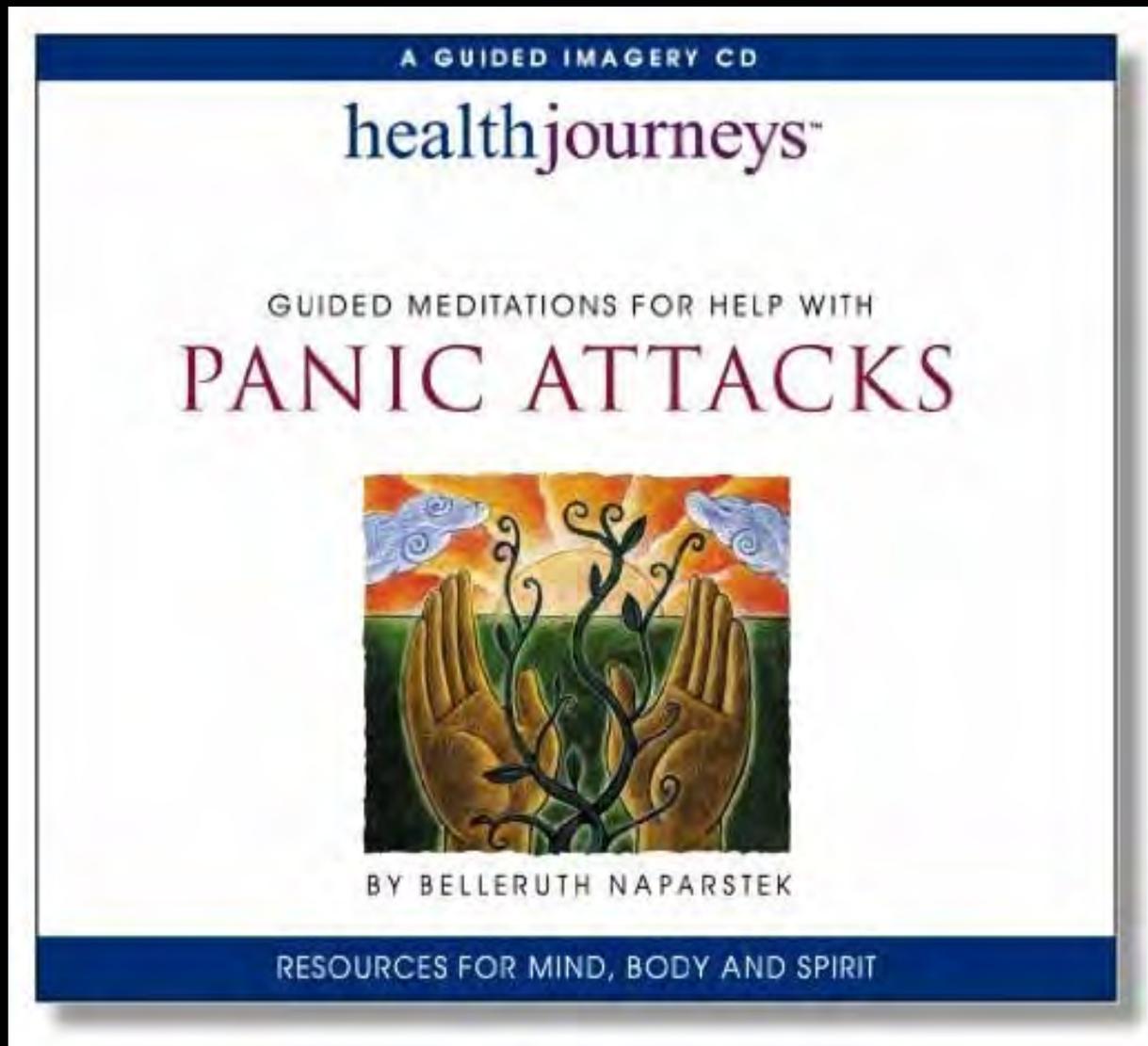


Consecuencias psicológicas

Luto irresuelto



Ansiedad crónica (ataques de pánico)



Insomnio



Dolores de cabeza severos



Tabaquismo y alcoholismo



Furia



Desesperación



Angustia paternal y maternal



Estigma



**Observaciones y lecciones
derivadas de las secuelas
de Fukushima**

Radiological protection issues arising during and after the Fukushima nuclear reactor accident

Abel J González¹, Makoto Akashi², John D Boice Jr³,
Masamichi Chino⁴, Toshimitsu Homma⁴, Nobuhito Ishigure⁵,
Michiaki Kai⁶, Shizuyo Kusumi⁷, Jai-Ki Lee⁸, Hans-Georg Menzel⁹,
Ohtsura Niwa¹⁰, Kazuo Sakai², Wolfgang Weiss¹¹,
Shunichi Yamashita^{10,12} and Yoshiharu Yonekura^{2,13}

Epílogo

Quinta parte: Ética

Conjunto de *principios morales* que gobiernan o influncian
nuestra conducta

La protección contra los riesgos de radiación:

Principios

- Principio de justificación de acciones
- Principio de optimización de la protección
- Principio de aplicación de límites
- Principio de precaución:
protección de generaciones futuras y el ambiente

**¿Sobre qué fundamentos éticos se
basan estos principios?**

Doctrinas sobre ética

- **Ética teolológica**
(ética de las consecuencias)
- **Ética utilitaria**
(ética de la efectividad)
- **Ética deontológica**
(ética del deber)
- **Ética areática**
(ética de la virtud)

Ética teológica

(ética de las consecuencias)

Epigrama:

“El fin justifica los medios”

‘Más vale hacer y arrepentirse, que no hacer y arrepentirse.’

Maquiavelo

Ética utilitaria

(ética de la efectividad)

Epigrama:

***“La mayor felicidad del mayor número
es la base de la moral.”***

Jeremy Bentham

Ética deontológica

(ética del deber)

Epigrama:

**“No hagas a los otros lo que no te gustaría
que te hicieran a ti ”**

Confucio

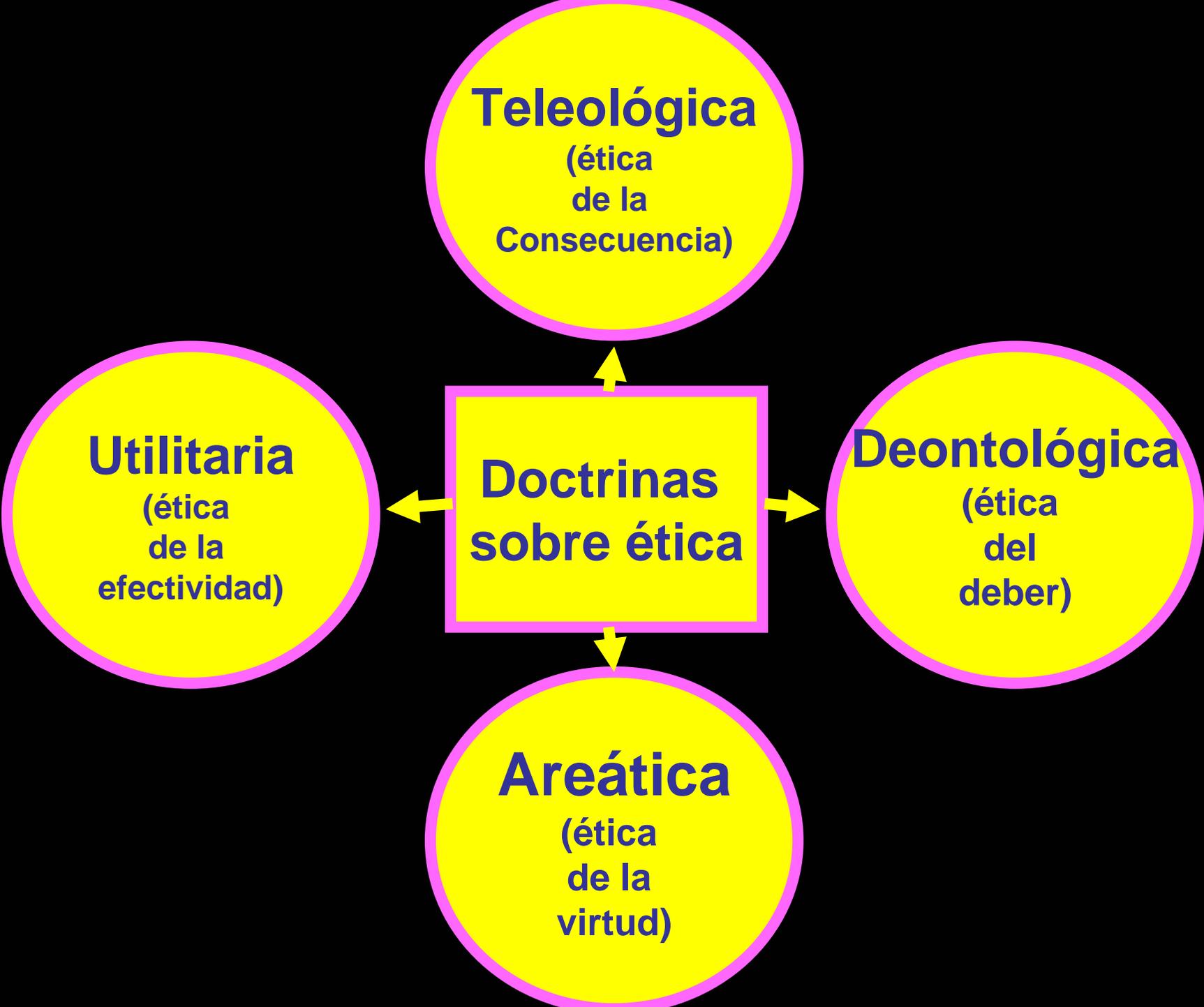
Ética arteática

(ética de la virtud)

Epigrama:

“La virtud está en hacer beneficios que sin duda no van a ser correspondidos.”

Seneca



Teleologica

*“El fin justifica
los medios”*

Utilitaria

*“El mayor beneficio para
la mayor cantidad
de personas”*

**Aforismos
Éticos**

Deontologica

*“No hagas a tu prójimo
lo que no quieres que
te hagan a ti”*

Aretaica

*“La virtud está en hacer
beneficios que sin duda
no van a ser
correspondidos. ”*

**Justificación
de acciones**

**Optimización
de la
protección**

**Principios
de la
protección
contra riesgos**

**Limitación
individual**

**Futuro y
medio
ambiente**

Teleología & Justificación

- Los fines o las consecuencias de una decisión deben determinar su moralidad, a saber, si tal acción es buena o mala
- Cualquier decisión que altere una situación de **riesgo** a la radiación debe hacer más bien que mal

Utilidad & Optimización

- La moralidad de una acción de protección deben ser juzgada en relación a su contribución a la utilidad general, a saber, que produzca el mayor bienestar a la sociedad.
- El nivel de protección contra los riesgos de la radiación debe ser el mejor para las circunstancias prevalentes, maximizando el margen de beneficio a daño

Deontología & Límites Individuales

- **La moralidad de la protección debe ser juzgada por la bondad o rectitud de las acciones de protección sobre individuos, y no sólo por sus consecuencias generales o utilidad social.**
- **La desigualdad en riesgos individuales que podrían causar decisiones justificadas y protección optimizada debe ser prevenida mediante la restricción de los riesgos individuales.**

Areatismo & Precaución

- La moral de las decisiones y acciones de protección debe ser su juzgada por su virtuosismo y no sólo por sus consecuencias, utilidad u obligaciones individuales
- Se deben proteger de riesgos, que sean científicamente plausibles aunque no fueran certeros, no solo a la generación presente sino también a las futuras y a su medio ambiente,.

Justificación



Teleología

Optimización



Utilidad

Ética

de la

protección

contra riesgos

Limitación



Deontología

Prudencia



Aretáica





Av. del Libertador 8250
Buenos Aires
Argentina



*¡Muchas
gracias por la
atención!*



+541163231758

abel_j_gonzalez@yahoo.com

