

**II Congreso Bienal Conjunto de las Sociedades Española de Física Médica (SEFM) y de Protección Radiológica (SEPR)
Sevilla, España; 10 - 13 de mayo de 2011**

**Epistemología del Detrimento relacionado
con**

**la Exposición a la Radiación Ionizante:
Atribución de Daño a Situaciones de Exposición**

Abel J. González

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

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

Miembro de la Commission of Safety Standards del OIEA

Epistemología del detrimento atribuible a la radiación

**Método, validez y alcance del conocimiento científico
sobre los efectos dañinos de la radiación**



Paradigma de la Protección Radiológica

Modelo conceptual para proteger contra la radiación

Atribución de daño a la exposición de muchas personas a bajas dosis

- Fue y continúa siendo la principal dificultad post-Chernobyl.
- Seguramente será una de las principales complicaciones post-Fukushima.

Contenido

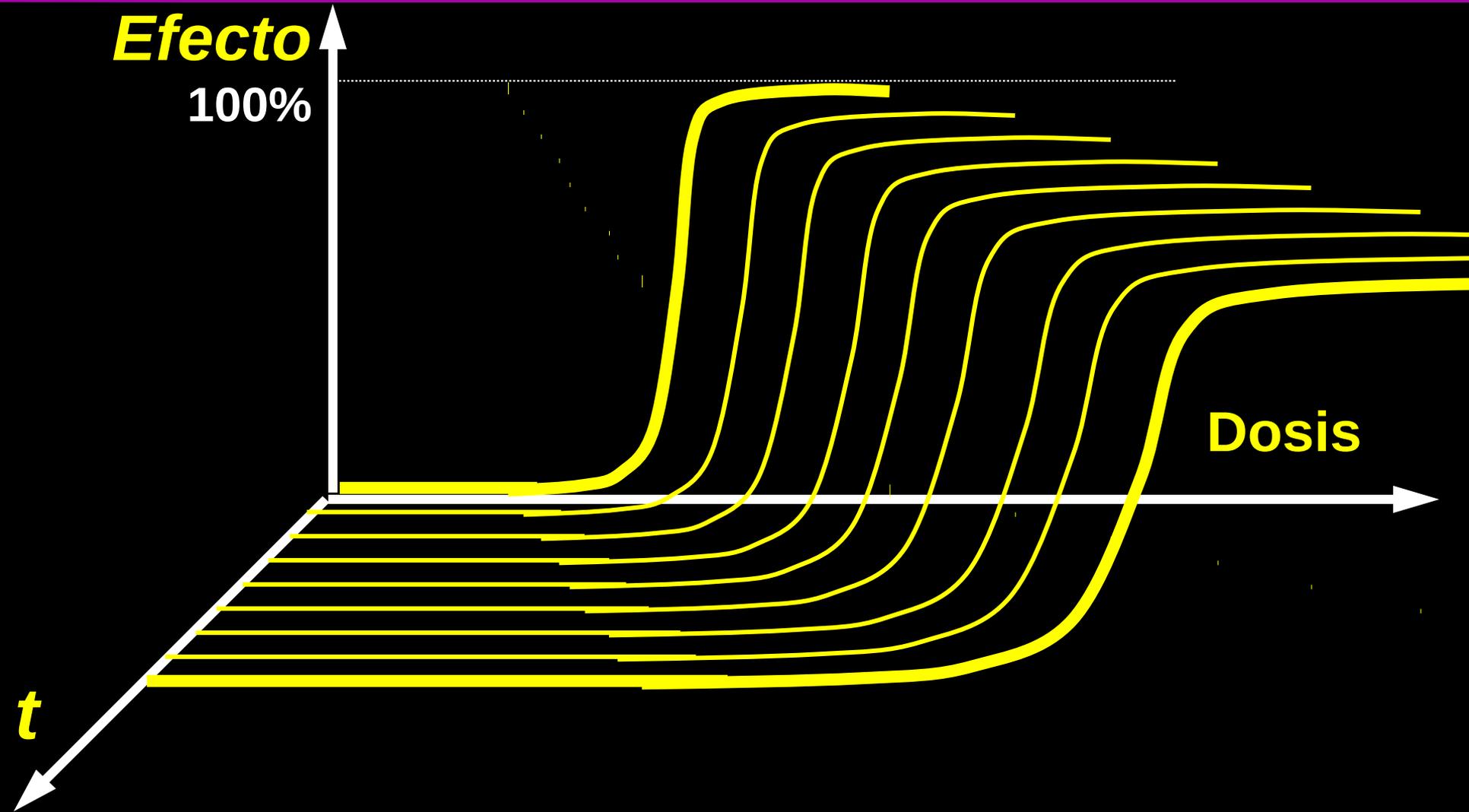
- (1) Conocimiento:** ¿Qué sabemos y que intuimos?
- (2) Conundrum:** ¿Cómo se atribuye daño?
- (3) Comprensión:** Denotación y Connotación
- (4) Atribución**
 - (4a) Atribución de efectos
 - (4b) Atribución de riesgos
- (5) Conclusiones**
- (6) Epílogo:** ¡La esperanza es lo último que se pierde!

(1) Conocimiento

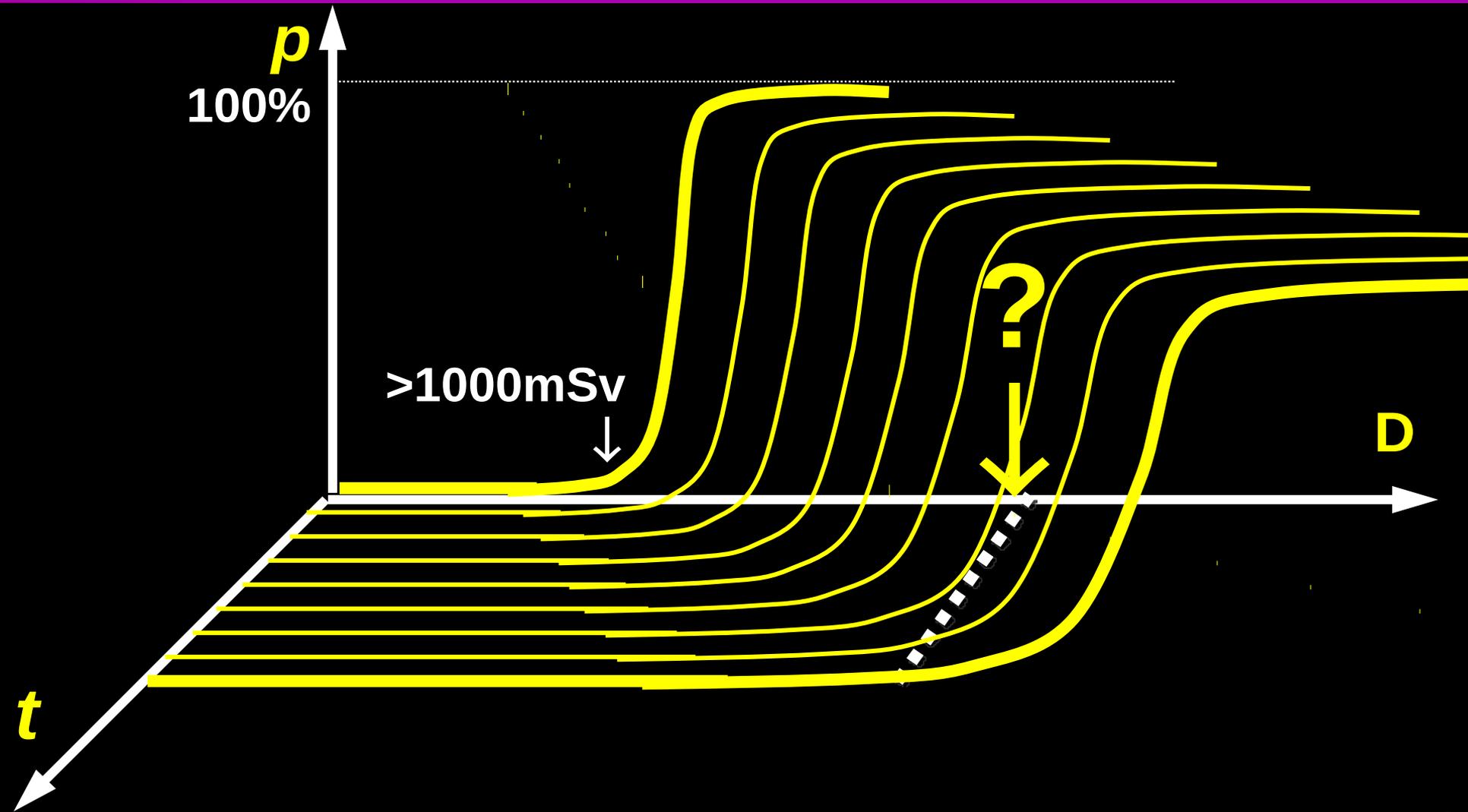
Resumamos lo que sabemos....

....y lo que intuimos!

Efectos de los agentes tóxicos



Efectos determinísticos



Probabilidad
de efectos

100%
(certeza)

~ 10%

~ 1%

Límite aprox. de
conocimiento de
patología

síndromes de
radiación y
muerte

Reacción tisular
Diagnóstico clínico
(patología individual)

Dosis (Sv)

~0,1

~1

~10

Probabilidad de efectos

Límite aprox. de conocimiento epidemiológico

100% (certeza)

~ 10%

~ 5% (UNSCEAR)

~ 1%

Aumento incidencia de cánceres

Estimación estadística (epidemiología de poblaciones)

Citogenética: indicadores de exposición

información radio-biológica general

Probabilidad estimada de cáncer

Dosis (Sv)

~0,1

~1

~10

estimación subjetiva (Bayesiana)

estimación de frecuencia (Bernoulliana)

Efectos de la radiación en la salud

- Los efectos de la radiación sobre la salud se clasifican generalmente como:
 - efectos determinísticos (reacciones de los tejidos) y
 - efectos estocásticos.
- Es una clasificación simplista (presenta excepciones) pero útil para la aplicación práctica de medidas de protección radiológica.

Probabilidad de efectos

100%
(certeza)

~ 10%

~ 5%
(UNSCEAR)

~ 1%

Límite aprox. de conocimiento epidemiológico

Límite aprox. de conocimiento de patología

síndromes de radiación y muerte

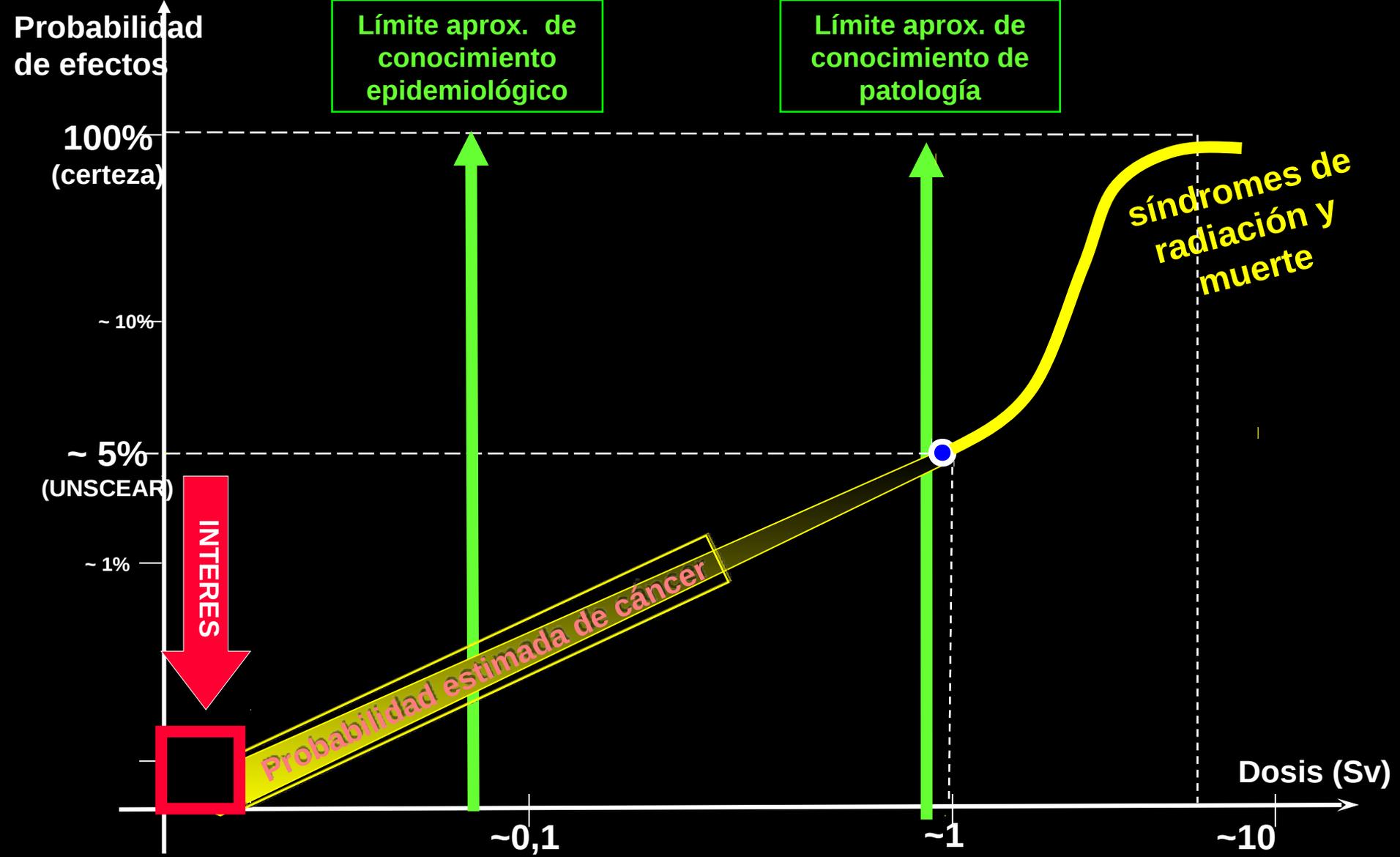
Probabilidad estimada de cáncer

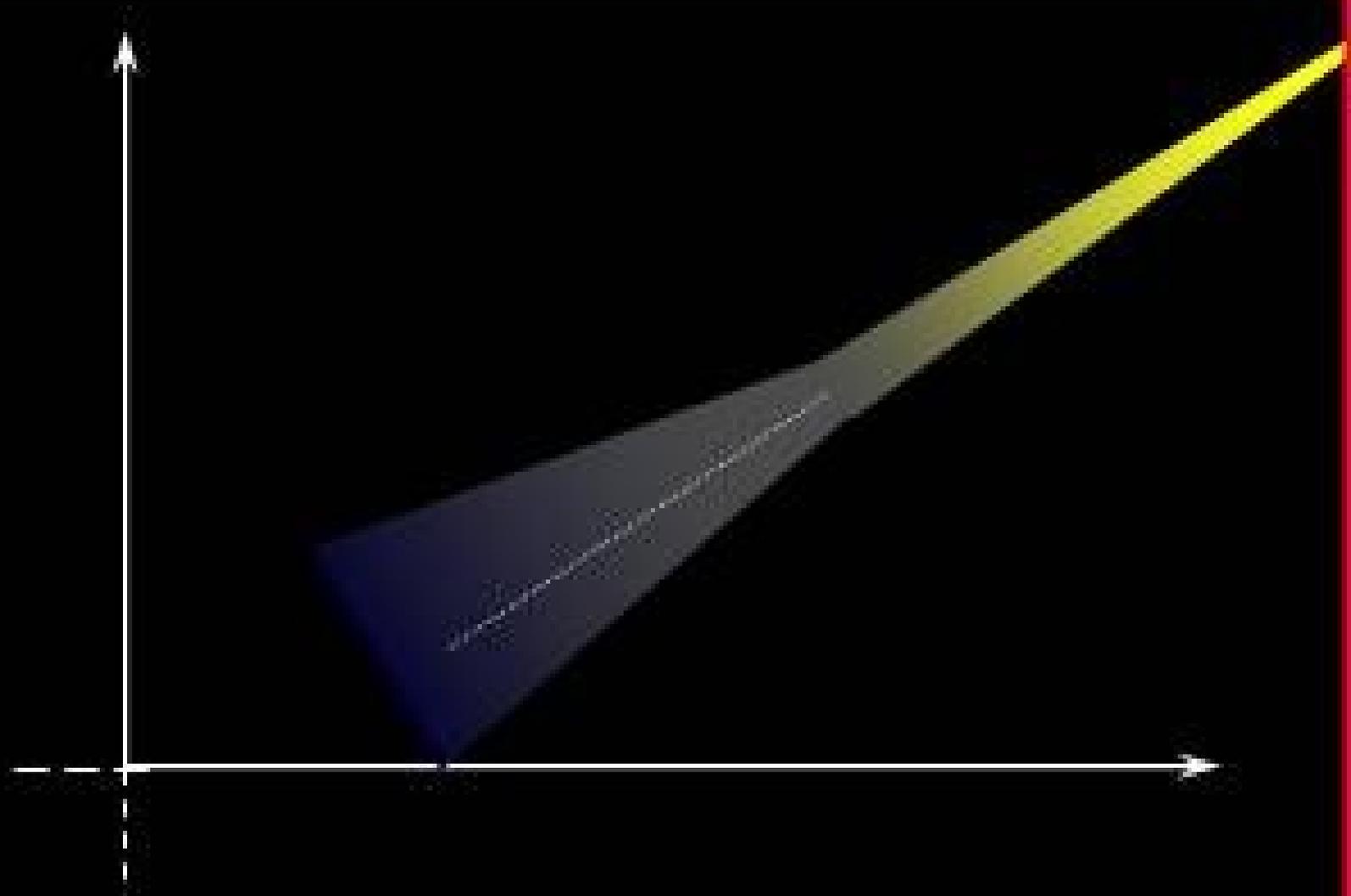
Dosis (Sv)

~0,1

~1

~10





Probabilidad postulada de efectos

Coeficiente **nominal** de riesgo:
0.005%/mSv

Fondo total de incidencia de efectos

Presumiblemente relacionado con la radiación

Debido a otras causas

Fondo Dosis anual
(promedio 2.4, típica 10 mSv y⁻¹)

Incremento Nominal de probabilidad

Incremento de dosis

Dosis

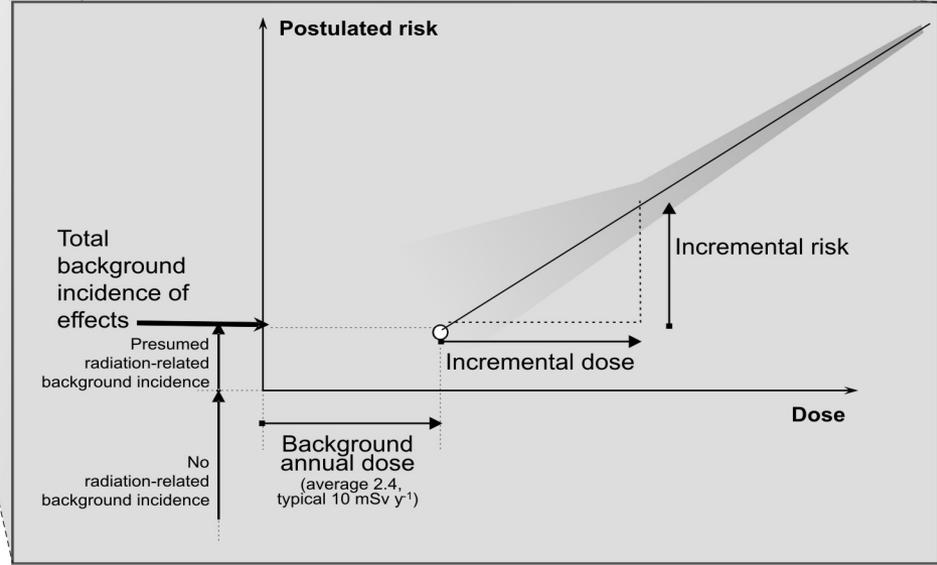
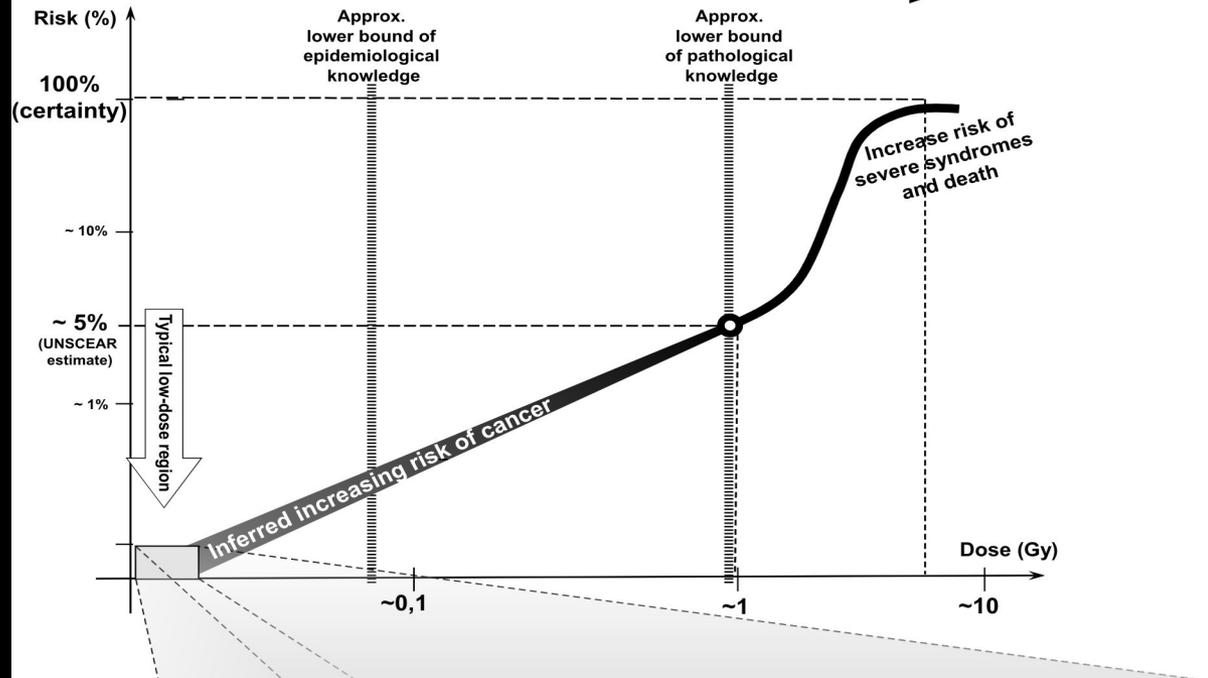
Coeficiente Nominal de Riesgo

- **Coeficiente de Riesgo:** Un número, expresado en $\% \text{ Sv}^{-1}$, el que, multiplicado por la dosis efectiva, cuantifica la plausibilidad o "grado de creencia" que daño puede ocurrir debido a esa dosis.
- **Nominal:** El número indicado no se corresponde necesariamente con su valor real: se refiere a hipotéticas personas (no reales) que son un promedio en edad y sexo.

← Region of inference of radiation risks

→ Region of tissue reactions (Individual diagnosis - pathology)

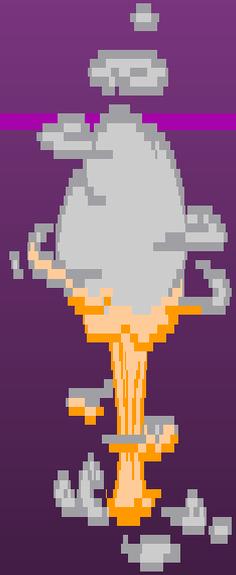
→ Region of increase in the incidence of cancer (Statistical estimates - pidemiology of populations)



(2) Conundrum:

La atribución de daño

La dosis colectiva, S



Dosis, D , a una persona,



Dosis colectiva ,
 $S = 1 \times D$

D_i dosis a
 N_i personas



$S = \sum_i D_i N_i$



Modelado matemático del ambiente



Descargas



Dosis colectiva

Cálculo teórico de esperanza matemática de daño



**dosis
colectiva**



Número de muertos

¿Atribución?



X

**Coeficiente
Nominal de
Riesgo**

=



Número personas muertas

Personas sievert x 5 % Sv⁻¹ = ¡Número personas muertas!



• **PRESS RELEASE** •
International Atomic Energy Agency
World Health Organization
United Nations Development Programme

Contact: Marshall Hoffman, USA
Office (703) 820-2244
Home (703) 533-8482
Cell (703) 801-8602

Melissa Fleming, IAEA, Vienna, Austria
Office (+43 1) 2600-21275
Mobile (+43) 699 165 21275

EMBARGOED: September 5, 2005 at 4 p.m. local time

Released simultaneously from London, Vienna, Washington, and Toronto
B-rolls are available for TV producers.

Chernobyl: The True Scale of the Accident
20 Years Later a UN Report Provides Definitive Answers and Ways to Repair Lives

A total of up to four thousand people could eventually die of radiation exposure from the Chernobyl nuclear power plant (NPP) accident nearly 20 years ago, an international team of more than 100 scientists has concluded.

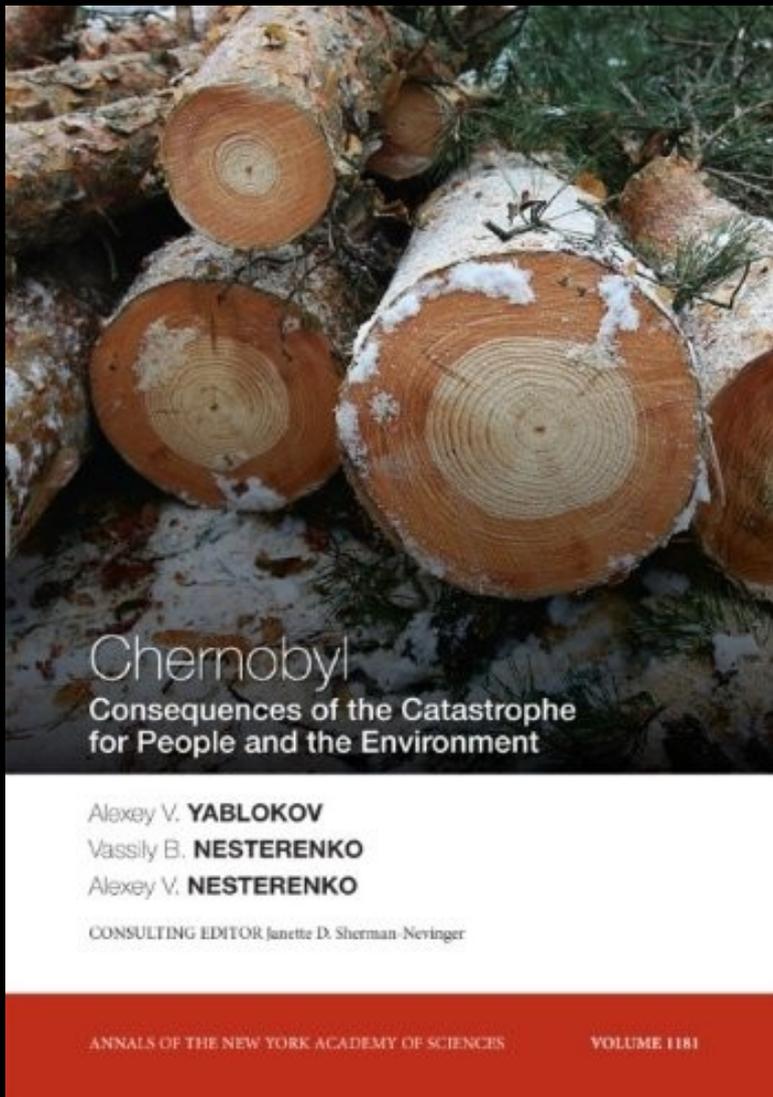


March 25, 2006 Saturday

SECTION: GUARDIAN INTERNATIONAL PAGES; Pg. 17

HEADLINE:

**UN ignores 500 000 Chernobyl deaths
IAEA says will be less than 4 000**



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)

It concludes that based on records now available,
some 985,000 people died of cancer caused by the Chernobyl
accident!

Conundrum

1. Población mundial, hacia $\rightarrow 8,500,000,000$
2. Dosis per caput de la radio-diagnosis médica = $0.0006 \text{ Sv año}^{-1}$
3. Dosis colectiva = $8,500,000,000 \text{ personas} \times 0.0006 \text{ Sv año}^{-1} =$
 $= 5,010,000 \text{ personas Sv año}^{-1}$
4. $5,010,000 \text{ personas Sv año}^{-1} \times 5\% \text{ Sv}^{-1} =$
 $= 255,000 \text{ personas año}^{-1}$

¿Debemos imputar a la radio-diagnosis médica **el asesinato de**

1/4 MILLON DE

PERSONAS CADA AÑO?

Diálogo

- **Experto:** -- Este cálculo no se debe hacer!
- **Público:** -- ¿Porqué no?
- (Respuesta – silenciosa pero implícita:
-- *¡Porque el riesgo de 5% per Sv
no es real!*)

Dilema

- **Si 5% per Sv no fuera real, entonces:**
 - *¿Porqué es necesaria la protección radiológica contra los efectos estocásticos?*
- **Si 5% per Sv es real, entonces:**
 - *¿Porqué es equivocado atribuir fatalidades a la exposición a bajas dosis de radiación?*

El objetivo de esta presentación es insistir en que una solución científica de este dilema se necesita con urgencia.

Tesis

1. EFECTOS REALES SOBRE LA SALUD por lo general no se pueden atribuir a las situaciones normales de exposición a la radiación;

Por lo tanto: muertes reales no se pueden asignar a la mayoría de las situaciones de exposición a la radiación.

2. Por el contrario, RIESGOS de efectos plausibles sobre la salud se pueden atribuir a la exposición a la radiación;

Por lo tanto: las normas de protección radiológica son necesarios para proteger a las personas contra la radiación

(3) Comprensión

Los requisitos mínimos para un científico son:

- ***ser capaz de leer, y***
- ***ser capaz de escribir.***

Suena elemental - pero requiere mucho.

Requiere:

- ***comprender cada palabra que lea - o escuche - y***
- ***cerciorarse que cada palabra que escribe - o dice-
sea comprensible.***

Riesgos debidos a la radiación

≠

Efectos en la salud debidos a la radiación

Atribuir efectos a la radiación

≠

Atribuir riesgos a la radiación

≠

Imputar daño a la radiación

Atribuir

- **Atribuir significa asignar, es decir, relacionar algo**
(por ejemplo, efectos en la salud)
como
causado por algo
(por ejemplo, por la radiación).

... que no debe confundirse con el término
jurídico

imputar

(del Latín *imputare*, “entrar en la cuenta”),

que significa atribuir algo a **alguien**

(especialmente algo malo),

es decir, **acusar a una persona.**

Por lo tanto....

- **atributabilidad de *riesgos*** a la radiación se utiliza para indicar la capacidad científica para **asignar** a la radiación **riesgos potenciales**.
- **atributabilidad de *efectos*** a la radiación se utiliza para indicar la capacidad científica para **asignar** a la radiación **efectos reales**.

Ambigüedad del Latín '*probare*'

- ***Probare***: Revelar, mediante pruebas o argumentos la verdad o la existencia de un hecho (o ***efecto***); establecer su autenticidad y validez.
- ***Probare***: Inferir, mediante análisis, plausibilidad (de *rupes, is*) o ***riesgo***.



Ambigüedad del Latín *'probare'*

- **Inglés:** probability & provability
- **Francés:** probabilité & prouvabilité
- **Portugués:** probabilidade & provabilidade
- **Castellano:** probabilidad & probabilidad
(probabilidad & provabilidad)

Probar & Provar

- **Probar: *Inferir***, mediante análisis de posibilidades, la plausibilidad o *riesgo*.
- **Provar: *Revelar***, mediante pruebas o argumentos la verdad o la existencia de un hecho (**efecto**); establecer la autenticidad y validez del **efecto**.

- El **riesgo** de la radiación se correlaciona con la **probabilidad** de daño de la radiación, es decir, con la capacidad de poder **inferir** que **podría ocurrir** daño. (análisis prospectivo)
- El **efecto** de la radiación se correlaciona con la **provabilidad** del daño de la radiación, es decir, con la capacidad de poder **revelar** que **ha ocurrido** daño. (análisis retrospectivo)

Probabilidad vs. Provabilidad

- **Probabilidad:**
capacidad para estimar por **inferencia** la plausibilidad de un hecho.
 - es decir, a través del conocimiento estadístico y/o del 'grado creencia' de expertos calificados,
 - por ejemplo, estimar mediante análisis probabilísticas que la radiación podría causar daño.
- **Provabilidad:**
capacidad para revelar por **evidencia** un hecho.
 - es decir, a través del diagnóstico de un hecho por expertos calificados,
 - por ejemplo, acreditar mediante pruebas patológicas en individuos o pruebas epidemiológicas en poblaciones que la radiación causó daño.

Probabilidad & Provabilidad

- La probabilidad es el medio para *inferir* prospectivamente (a priori), que una exposición a la radiación podría ser riesgosa.
- La provabilidad es el medio para *revelar* retrospectivamente (a posteriori), que una exposición a la radiación ha causado efectos concretos.

El **riesgo** de la radiación se puede expresar:

- **Individualmente**

- e. g., como la probabilidad individual de que una determinada persona pueda incurrir daño o, como una probabilidad nominal de daños,
o,

- **Colectivamente**

- e. g., como una esperanza matemática de daño a una población.

Los **efectos** de la radiación se pueden expresar:

- **Individualmente** - e. g., como un efecto determinístico en un individuo específico.
o,
- **Colectivamente** - e. g., como un aumento en la prevalencia de efectos estocásticos en una cohorte.

Atribución: probar los efectos

- Demostrabilidad
- Logicidad
- Ostensibilidad
- Atestabilidad

Demostrabilidad

- ¿Puede establecerse la ocurrencia del efecto mediante evidencia?o....
- ¿La ocurrencia es axiomática?

Es decir, aparente pero no demostrable!

Logicidad:

Lógica contra-fáctica condicional

- Una sentencia contra-fáctica condicional (o subjuntiva condicional), es una sentencia condicional (del tipo "si-entonces") que indica lo que sería el caso si el antecedente fuera cierto.

Lógica contra-fáctica condicional

¿Puede la premisa

“después de una exposición a la radiación, han ocurrido efectos en la salud de un individuo”

.... ser explicada en términos de la premisa condicional contrafáctica

“si el individuo no hubiera sido expuesto, los efectos no habrían sido incurridos”?

Respuestas a la premisa contra-fáctica condicional

- **Sí !....** para ciertos **efectos deterministas** porque la radiación es su única causa posible.
- **No !....** para los **efectos estocásticos**, ya que pueden ser originados por otras causas y, en la actualidad, no existen marcadores biológicos que puedan indicar que hayan sido causados por la radiación.

Ostensibilidad

(de algunos efectos de la radiación)

- En algunas circunstancias, los efectos estocásticos parecen **ostensibles**, es decir aparentes, plausiblemente ciertos, aunque no sean ni demostrables ni comprobables.

(por ejemplo en los casos de cánceres de tiroides foliculares en chicos)

Atestabilidad

Confirmación de la ocurrencia de los efectos por un profesional cualificado.

Es decir, el profesional ofrece pruebas y declara formalmente la existencia real de los efectos y los asigna a la radiación.

Atestabilidad

- **Reacciones del tejido (efectos deterministas) en un individuo puede ser diagnosticadas y atestadas por radio-patólogos.**
- **Un incremento en la incidencia de cáncer (efectos estocásticos) en una población puede ser calculado y atestado por radio-epidemiólogos**

(4) Atribución

**(4a) Atribución de Efectos
a la
Radiación**

Atribución de Efectos

- **Determinísticos:**

Requieren diagnóstico individual.

Límite: conocimiento patológico

- **Estocásticos:**

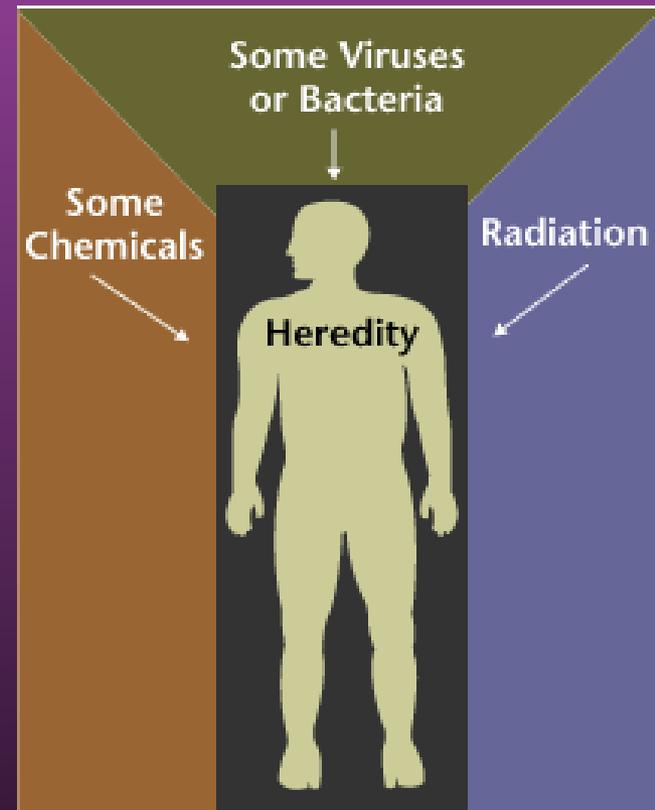
Requieren análisis epidemiológico poblacional.

Límite: estadística

**Límites epistemológicos de
provabilidad en los estudios
epidemiológicos de situaciones de
exposición a la radiación**

Los estudios epidemiológicos adolecen de
incertidumbres
las que imponen límites epistemológicos.

Debido a que la radiación es un carcinógeno débil, se hace inviable epistemológicamente asignar efectos de exposición a la radiación de bajas dosis debido a incertidumbres epistémicas y aleatorias causadas por los factores competitivos.



Incertidumbres

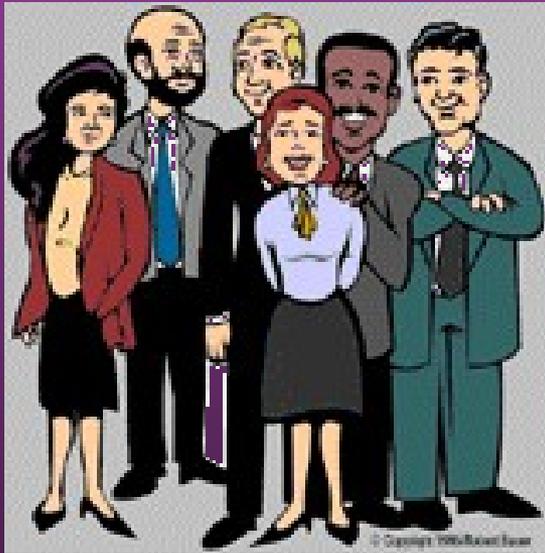
- **Epistémicas:** que se deben a la caracterización incompleta de las cohortes.
- **Aleatorias:** que se deben a las variaciones estocásticas en las cohortes.

Incertidumbres epistémicas

- **Extrapolación de alta a baja dosis.**
- **Extrapolación de dosis agudas a dosis crónicas**
- **Efecto de edad, latencia y el tiempo desde la exposición.**
- **Transferencia de datos entre poblaciones.**
- **Impacto de la susceptibilidad genética humana.**
- **Sesgos y prejuicios (biases):**
 - de verificación, de seguimiento, de selección.
- **Posibilidad de un umbral de dosis.**

Incertidumbres Aleatorias

(Impacto de la dosis en el poder estadístico y tamaño de la muestra)



Grupo Control

$$C = p_n N$$

“**C**” cánceres

“**N**” personas

“ **p_n** ” probabilidad
de cáncer ‘natural’



Grupo expuesto

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

“**E**” cánceres

“**N**” personas

“ **p_n** ” probabilidad de
cáncer ‘natural’

“ **p_d** ” probabilidad de
cáncer de radiación

E

número de cánceres totales

(Cánceres 'naturales' + 'inducidos por la radiación')

C

número de cánceres 'naturales'

(E-C)

**número de
cánceres
'inducidos
por la
radiación'**

Difícil de revelar y
por lo tanto de
provar!



$$C = p_n N$$

Número
de
cánceres
en el
grupo
de
control



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

Número
de
cánceres
en el
grupo
expuesto

Incerteza aleatoria

- La desviación estándar es

$$\sigma = \sqrt{2 p_n N + p_d \Delta D N}$$

- Para que el exceso de cánceres pueda ser detectado con un nivel de **confianza** estadística **del 95%**

$$E - C > 2 \sigma$$

Operando algebraicamente, como $p_n \gg p_d \Delta D$,

$$N > \text{constante} / \Delta D^2$$

que es la ecuación que da el número de personas, **N**, necesario para poder probar que han ocurrido cánceres en exceso como resultado de una dosis ΔD .

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

Límite de provabilidad epidemiológica

$$N > \text{constante} / \Delta D^2$$

(log) Δ Dosis

$$N > \text{constante} / \Delta D^2$$

Provable
(conocimiento)

No provable

Axiomático:

no demostrable mediante evidencia
como verdadero o existente

(log) Individuos

(log) Δ Dosis

Provable

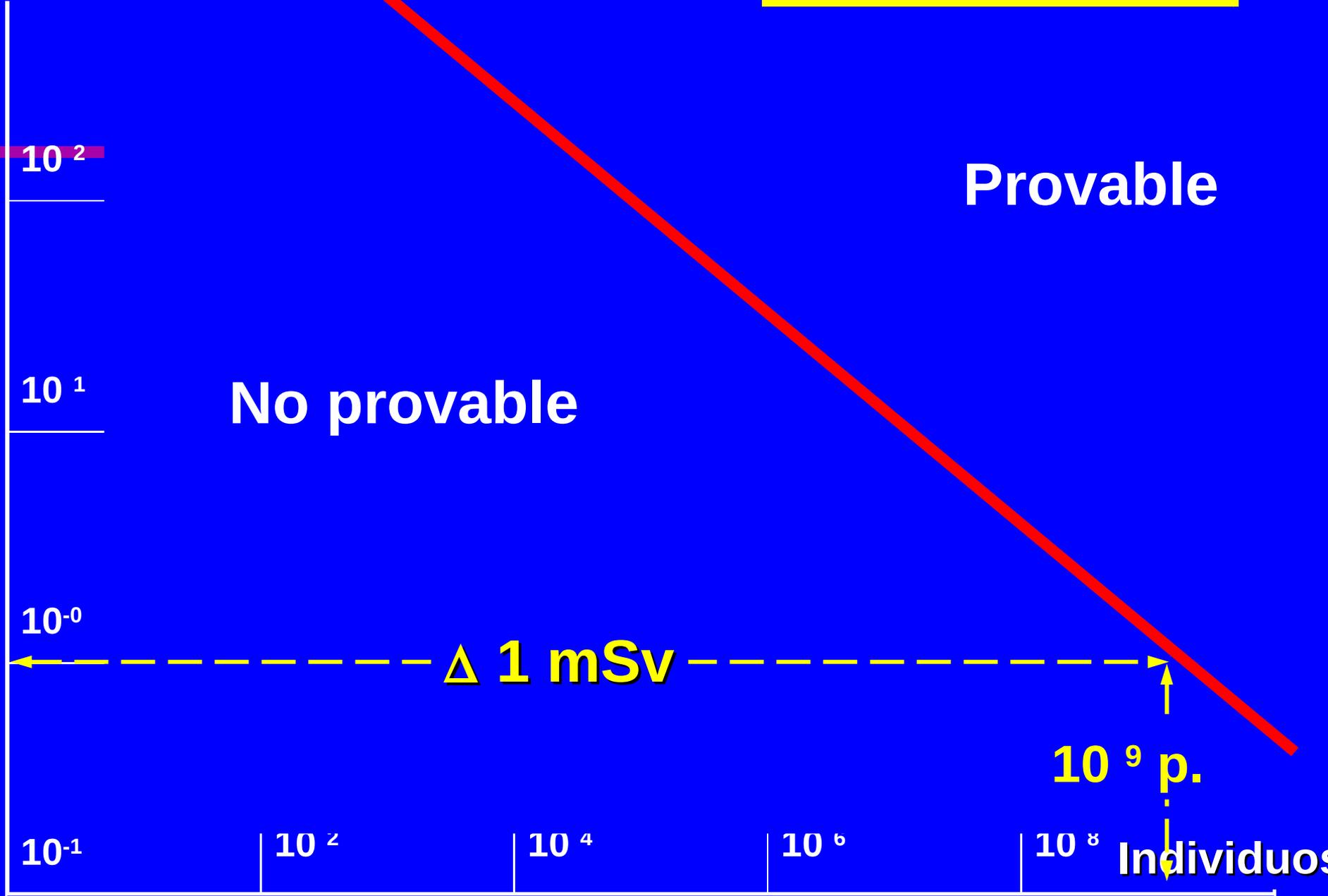
No provable

**Limitación Epistemológica
No hay bases para el conocimiento
NO PROVABLE!!**

(log) Individuos

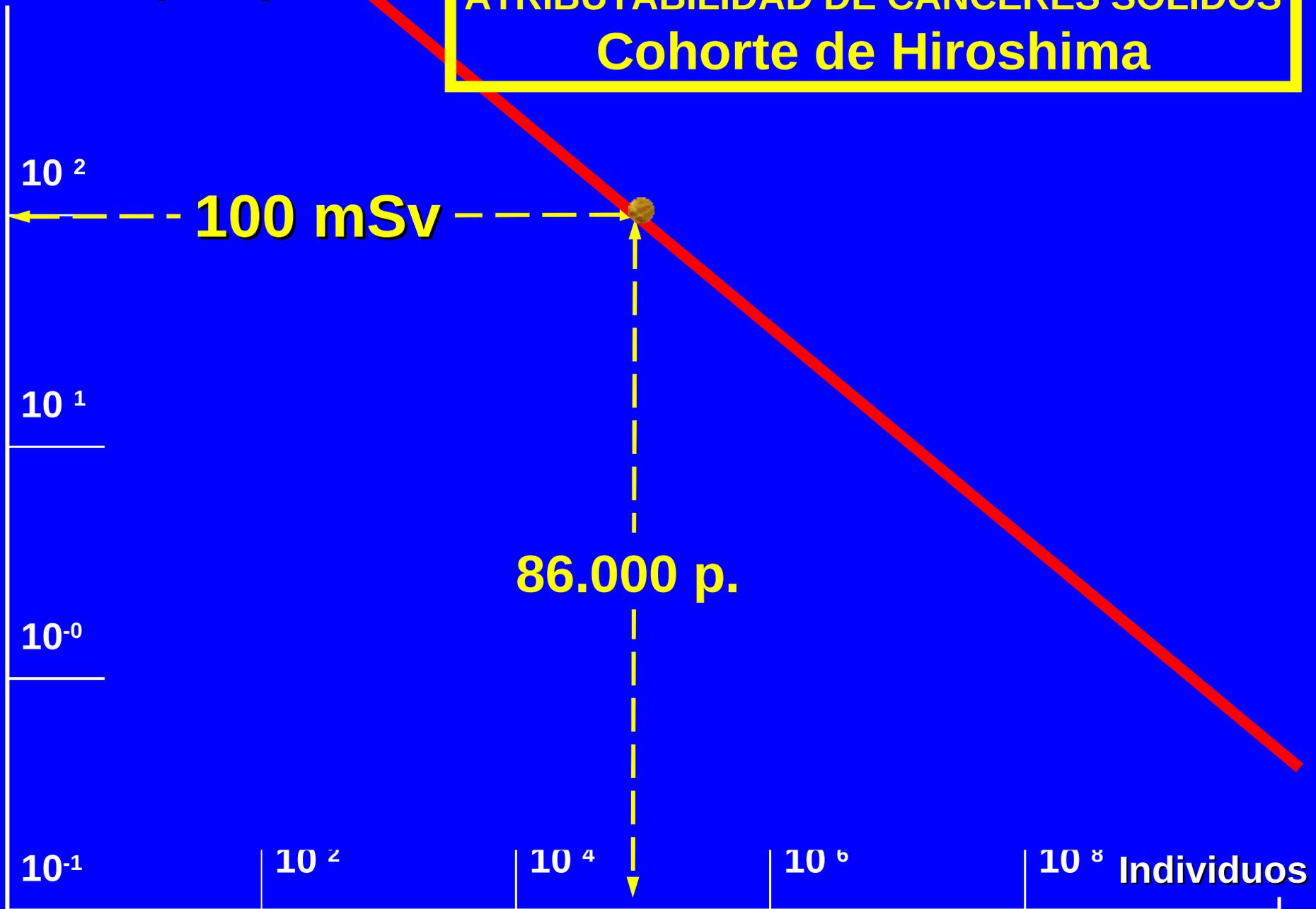
Cánceres sólidos

Δ Dosis (mSv)

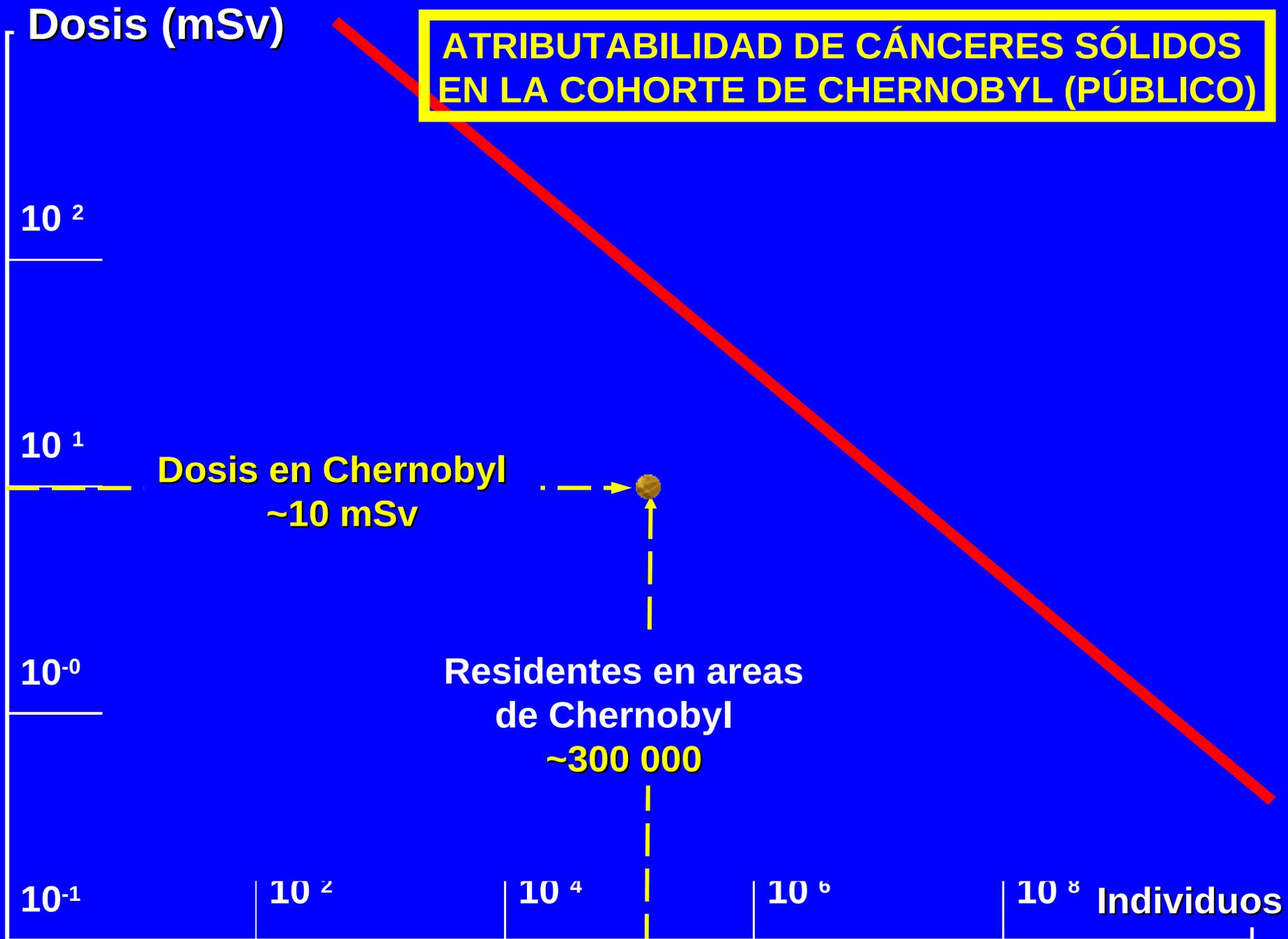


Dosis (mSv)

ATRIBUTABILIDAD DE CÁNCERES SÓLIDOS
Cohorte de Hiroshima

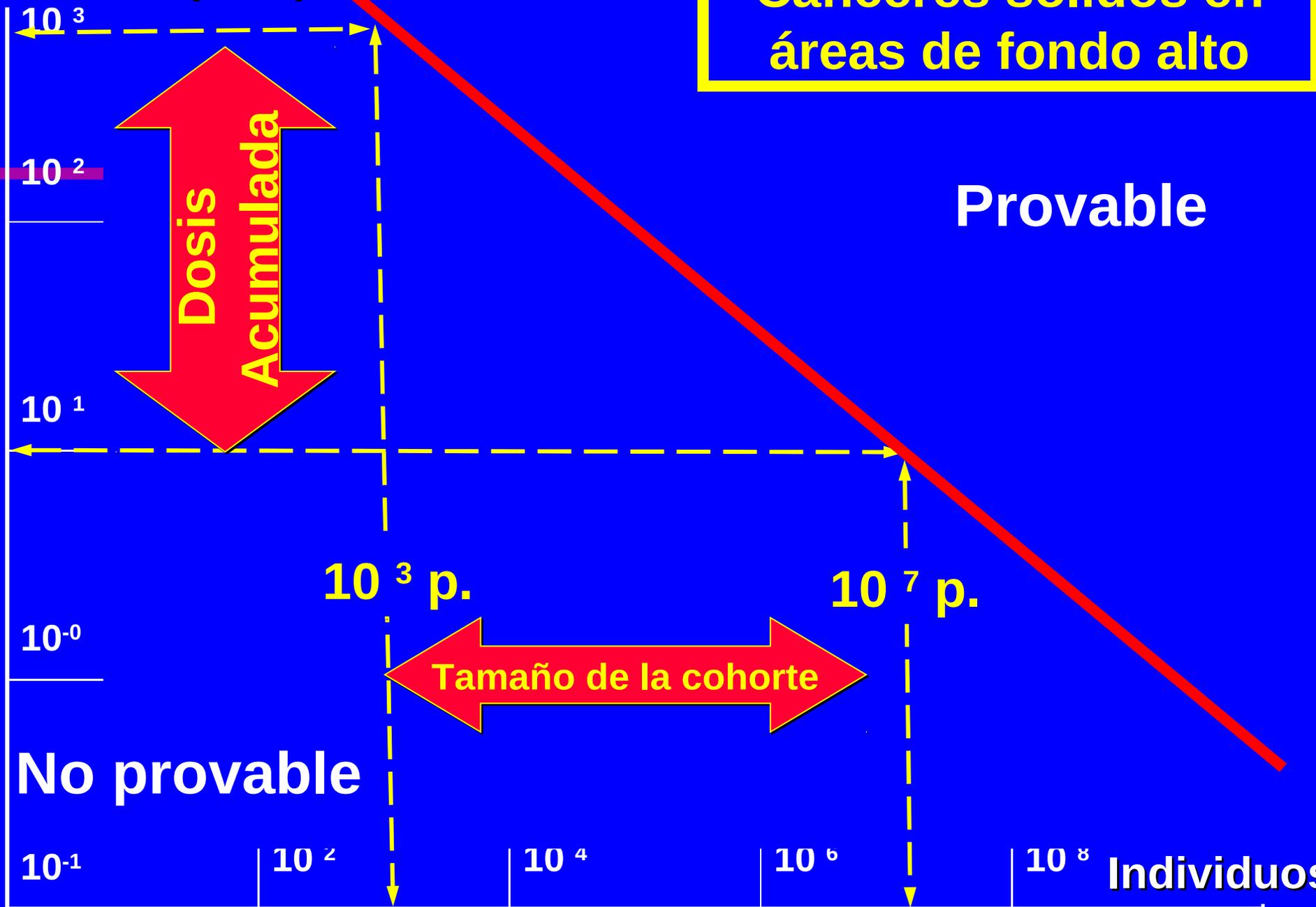


ATRIBUTABILIDAD DE CÁNCERES SÓLIDOS EN LA COHORTE DE CHERNOBYL (PÚBLICO)



Δ Dose (mSv)

Cánceres sólidos en áreas de fondo alto



Leucemias

Δ Dosis (mSv)

10^2

Provable

10^1

No provable

10^0

10^{-1}

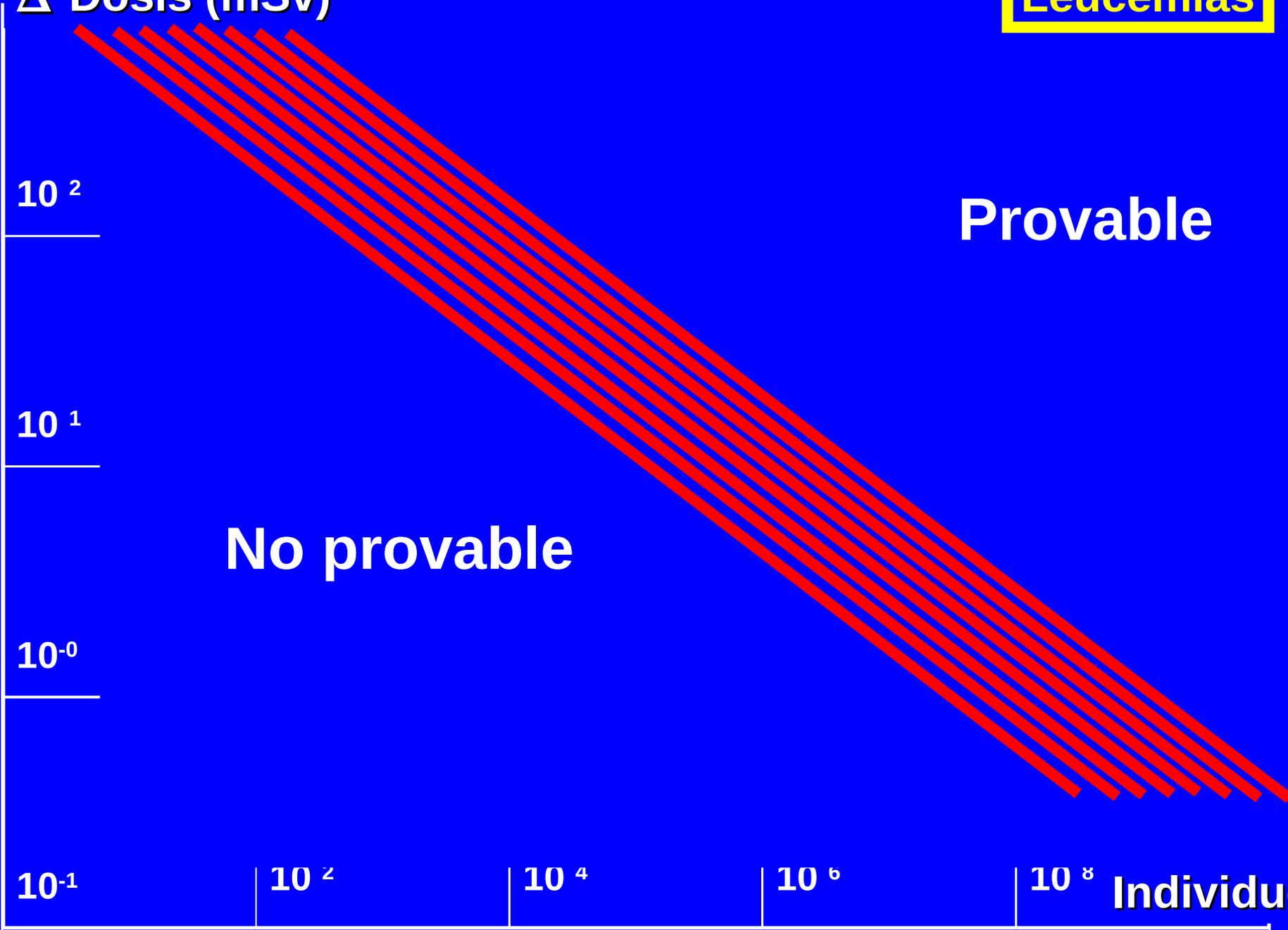
10^2

10^4

10^6

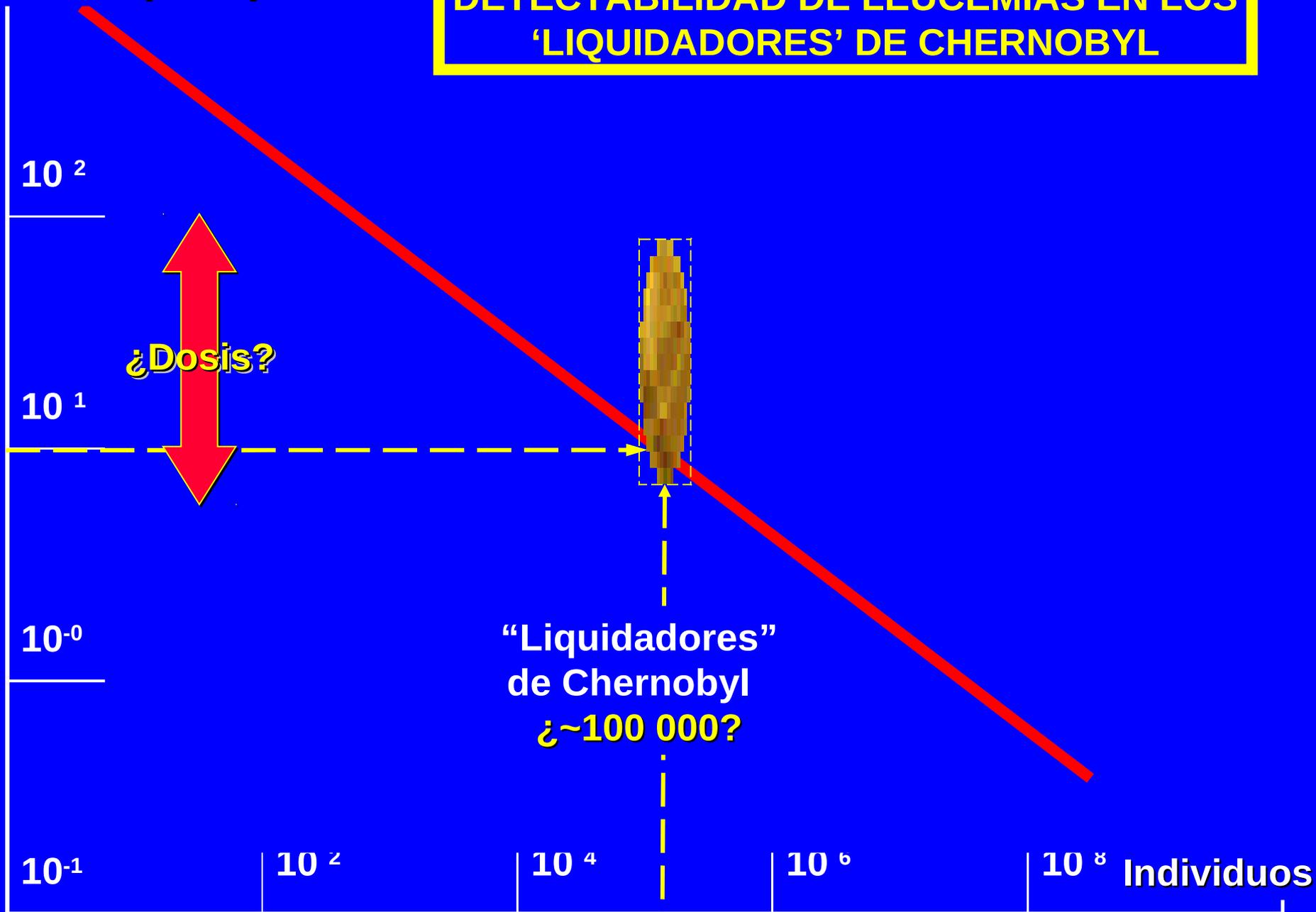
10^8

Individuos



Dosis (mSv)

DETECTABILIDAD DE LEUCEMIAS EN LOS
'LIQUIDADORES' DE CHERNOBYL



Δ Dosis (mSv)

Efectos hereditables

Provable

10^2

$\sim \Delta 100$ mSv

10^1

No provable

10^0

$\sim \Delta 1$ mSv

$i \sim 10^8 - 10^{12}$ personas!

10^{-1}

10^2

10^4

10^6

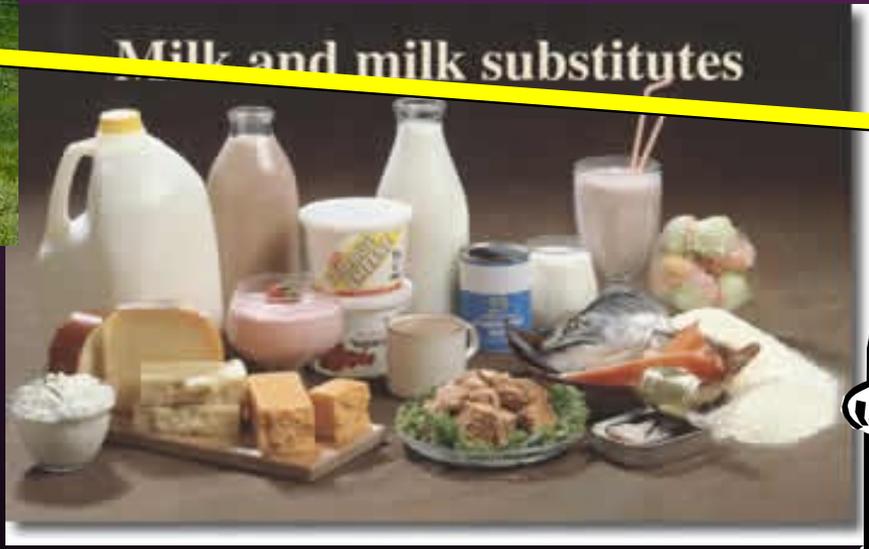
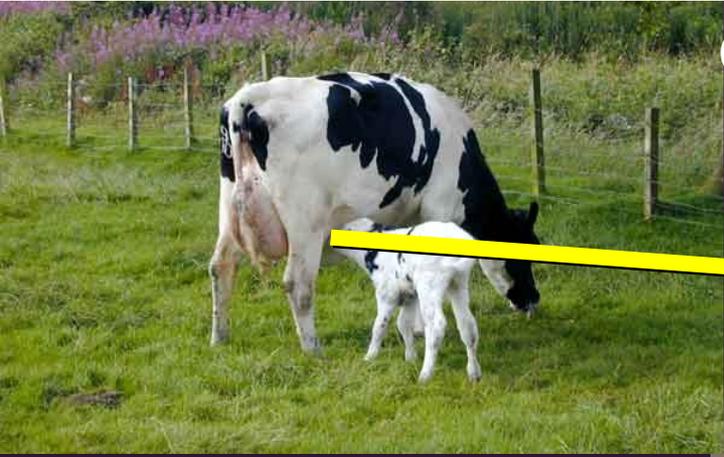
10^8

Individuos



Figure 29-9. Fallout.

La atribución de efectos estocásticos pueden ser ***ostensible,*** por ejemplo, atribuir cáncer folicular de tiroides pediátrico a las situaciones de exposición a la radio-yodo



Límite de provabilidad epidemiológica de cánceres foliculares de tiroides en chicos

$$N > \text{constante} / \Delta D^2$$

Dosis, ΔD (mGy)	~ Numero de chicos, N
1	10.000
10	1.000
100	100

Δ Dosis (mSv)

Cáncer de tiróides folicular pediátrico



En resumen

- **Es relativamente sencillo atribuir efectos determinísticos a nivel individual.**
- **Es imposible atribuir efectos estocásticos individualmente.**
- **Pero en algunos casos estos efectos son ostensibles en los individuos expuestos.**
- **Bajo ciertas condiciones, es factible atribuir efectos estocásticos colectivamente.**

Pero...

**... la atribución retrospectiva de
efectos reales
es diferente a la
la atribución prospectiva de
riesgos plausibles**

**(4b) Atribución (Reconocimiento)
de los Riesgos de la Radiación**

atribuir efectos \neq *atribuir riesgo*

certeza \neq *plausibilidad*

Plausibilidad

(teniendo en cuenta las incertidumbres)

Análisis cuantitativo de incertidumbre (QUA)

- Las decisiones racionales para atribuir riesgo a la radiación en el rango de dosis bajas requiere análisis cuantitativo de incertidumbre (QUA), una técnica desarrollada en el marco de la teoría de decisión.

Volume 35 No. 4 2005

ISSN 0146-6453
ISBN 008-0449581

ICRP

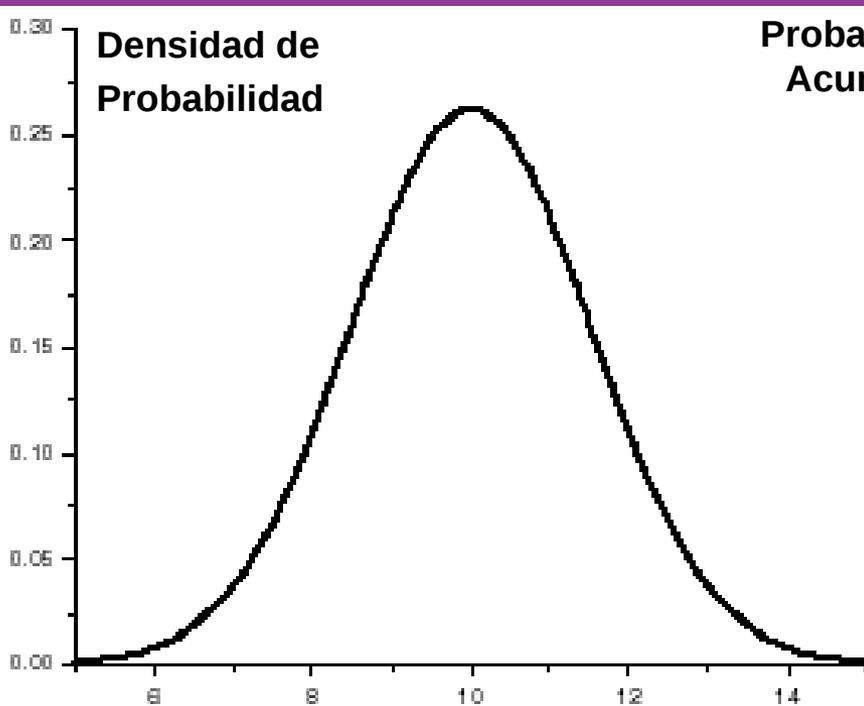
Annals of the ICRP

ICRP Publication 99

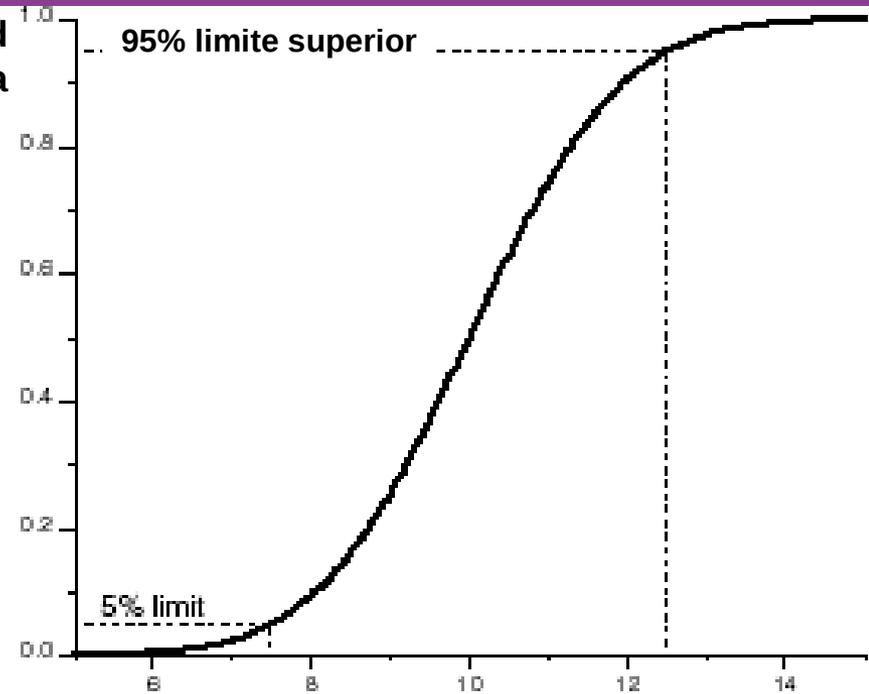
Low-dose Extrapolation of
Radiation-related Cancer Risk



ELSEVIER



Mortalidad: % / Sv

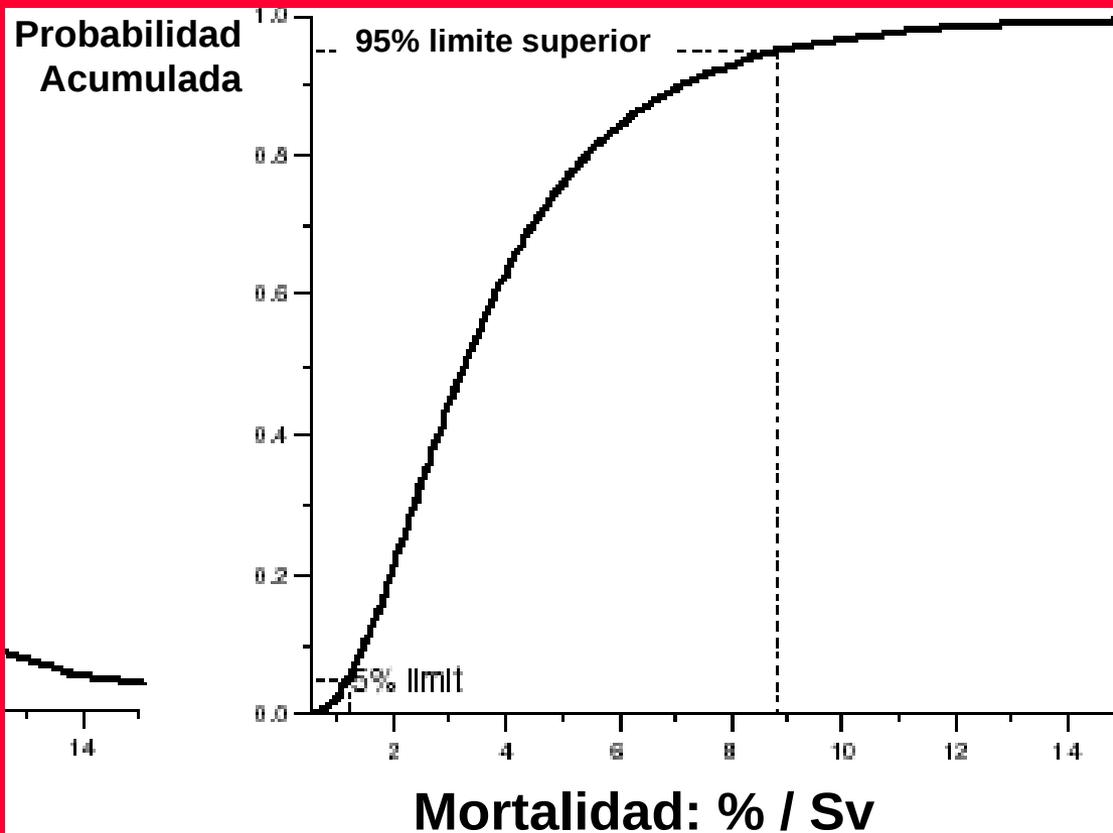
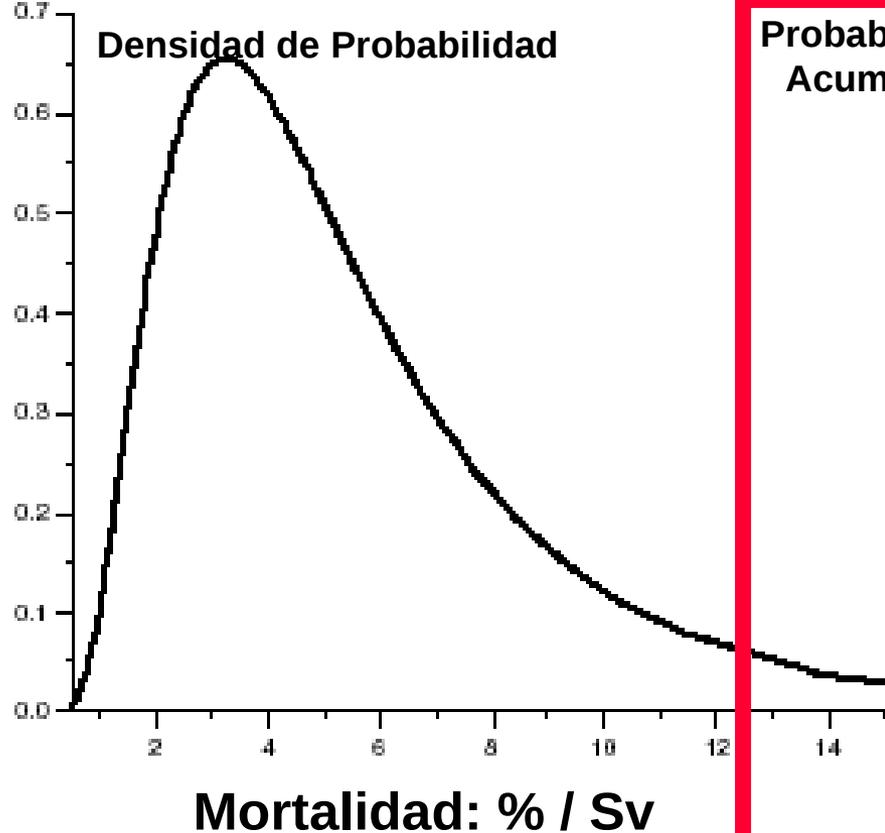


Mortalidad: % / Sv

Función de Densidad de Probabilidad. Distribución de Probabilidad Acumulada

Media = 10 Sv-1 ; 90% limites de confianza = 7.5–12.5% Sv-1

Distribución de incertidumbre estadística nominal para el riesgo de mortalidad por cánceres sólidos de la cohorte estudiada.



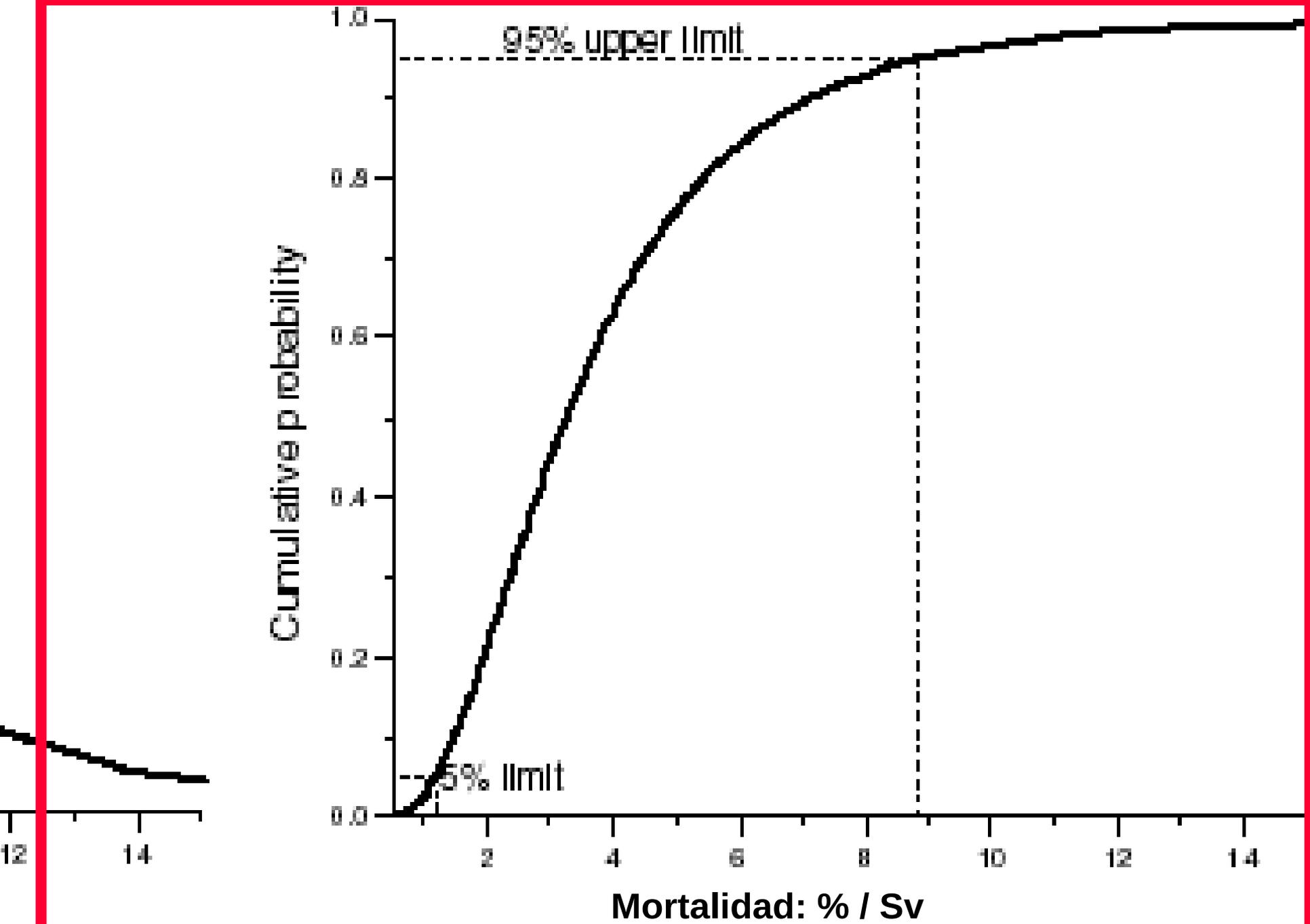
Función de Densidad de Probabilidad. Distribución de Probabilidad Acumulada

Log-normal; 90% limite = 1.15–8.8% Sv⁻¹.

Distribución de incertidumbre de riesgo por sievert (para una dada población).

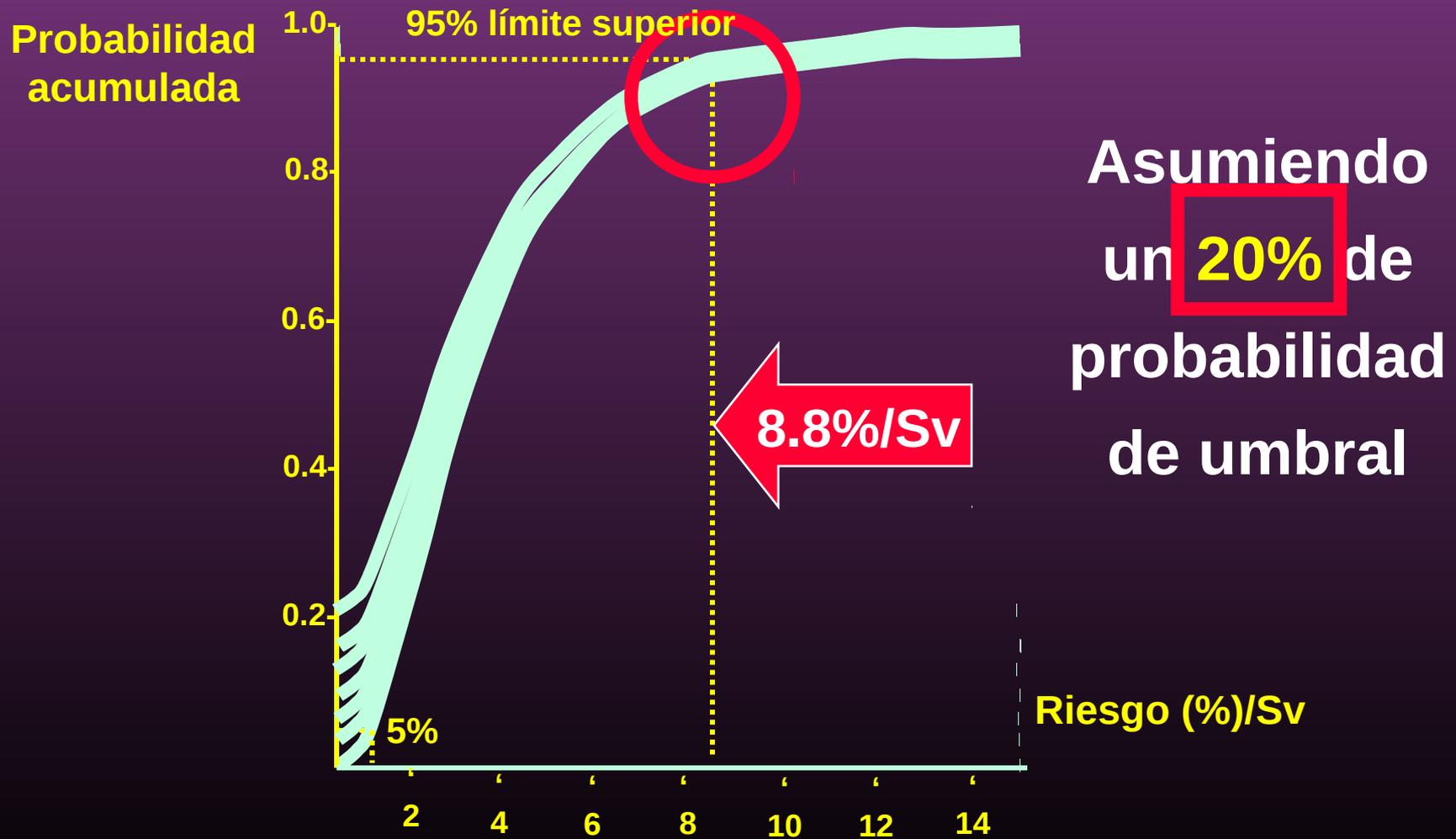
Reductio ad absurdum

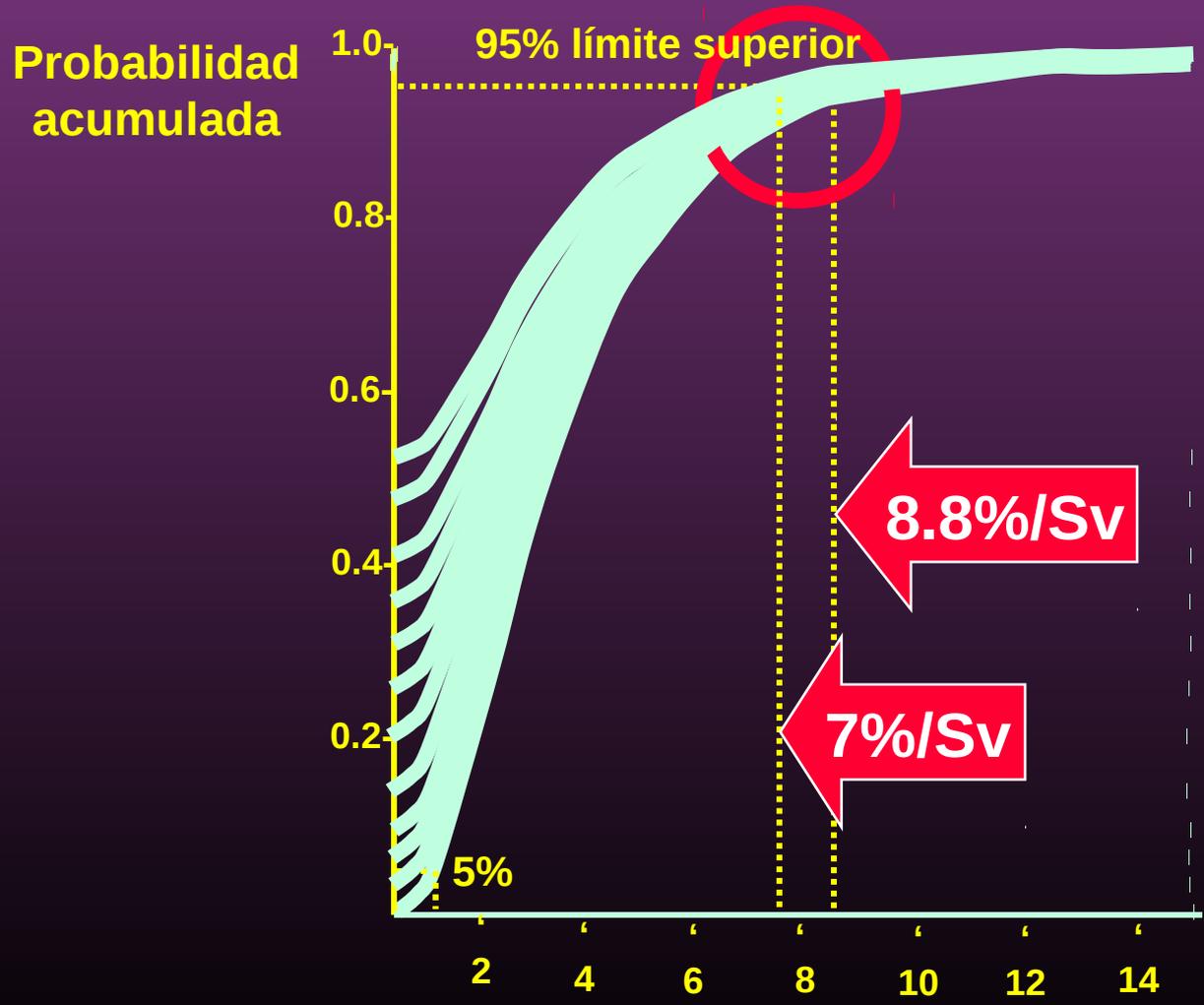
- Método de demostración, formalizado y usado por Aristóteles como un argumento lógico.
- Partiendo de una hipótesis que queremos demostrar que es verdadera, suponemos como válida su opuesta.
- A partir de ella y mediante una cadena de deducciones lógicas válidas obtenemos un resultado absurdo.
- Concluimos que la hipótesis de partida (la negación de la original) ha de ser falsa, por lo que la original es verdadera.



Modelando la incertidumbre

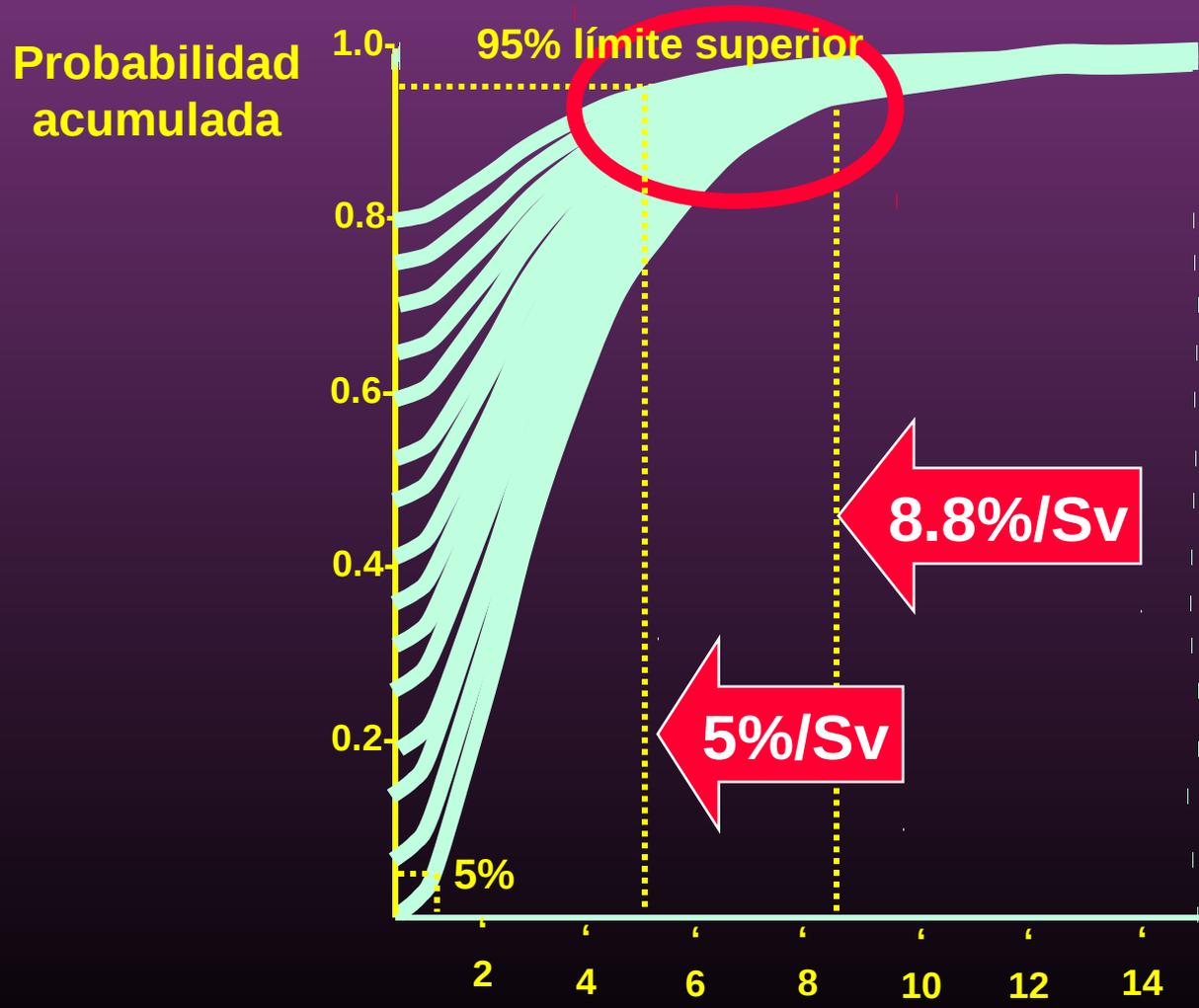
- El modelo de incertidumbre mas simple para *reductio ad absurdum* es asumir que, para una dada dosis de radiación, existe un umbral con una dada probabilidad, por ejemplo:
 - $p = 20\%$ (i.e., que el umbral no existe con una probabilidad de $1 - p = 80\%$)
 - $p = 50\%$, y
 - $p = 80\%$.
- La probabilidad acumulada tendrá valores de **20%, 50% y 80% para riesgo cero.**





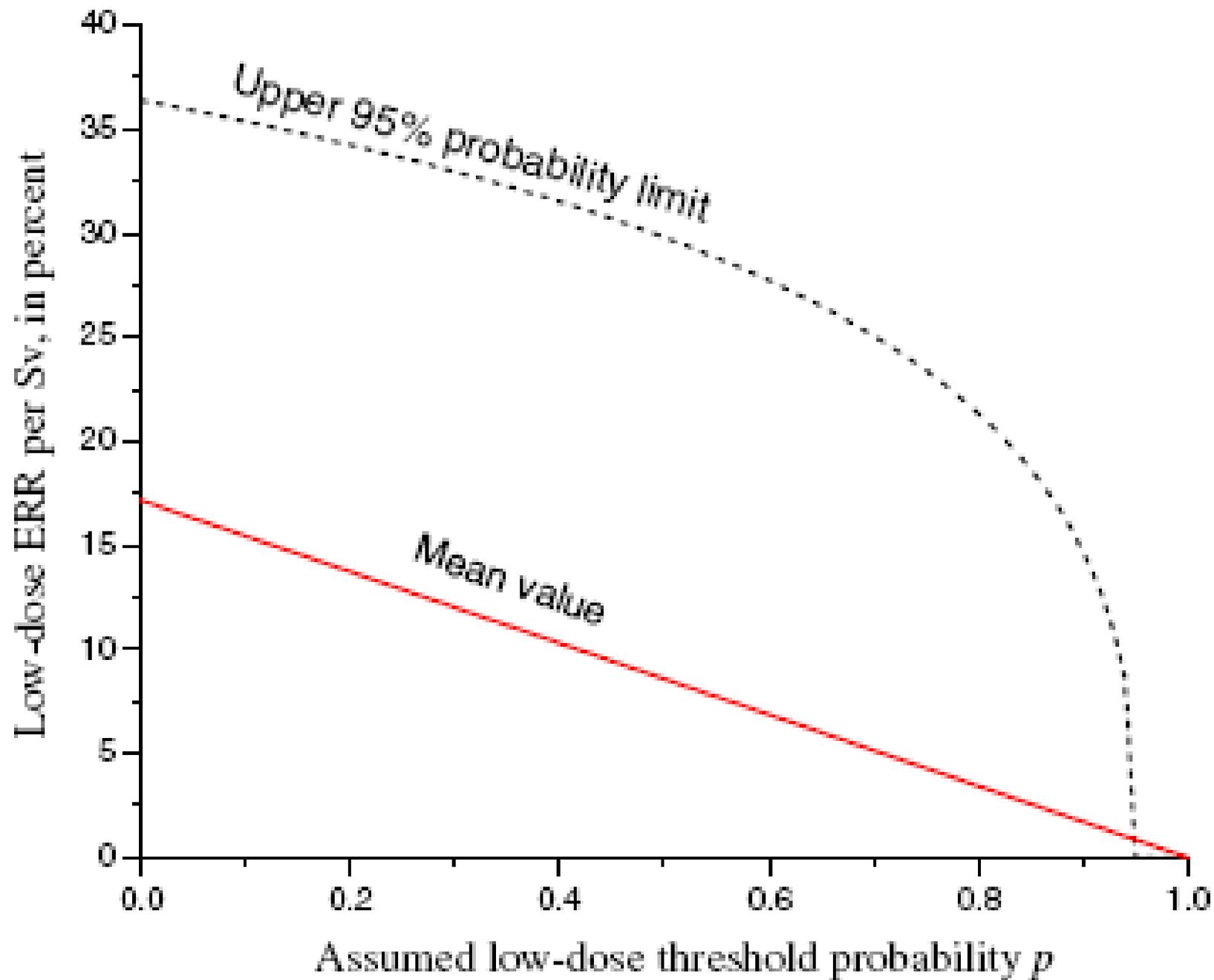
Asumiendo un **50%** de probabilidad de umbral

Riesgo (%)/Sv



Asumiendo un **80%** de probabilidad de umbral

Riesgo (%)/Sv



Es decir que dadas las limitaciones epistemológicas

1. debemos asumir que es plausible que dosis bajas de radiación conlleven un riesgo a la salud;

y, por tanto,

2. debemos proteger a las personas contra esas dosis bajas, conmensuradamente (optimización).

En resumen:

...dadas las incertidumbres epistemológicas existentes...

...podemos concluir lo siguiente:

- Plausiblemente, la exposición a la radiación, incluso a dosis bajas, puede ser riesgosa

y, por lo tanto,

- Debemos atribuir un riesgo nominal a la exposición prospectiva radiación y ...

¡proteger a las personas contra ese riesgo nominal!

Coeficiente Nominal de Riesgo

- **Coeficiente de Riesgo:** Un número, expresado en $\% \text{ Sv}^{-1}$, el que, multiplicado por la dosis efectiva, cuantifica la plausibilidad o "grado de creencia" que daño puede ocurrir debido a esa dosis.
- **Nominal:** El número indicado no se corresponde necesariamente con su valor real: se refiere a hipotéticas personas (no reales) que son un promedio en edad y sexo.

Coeficientes nominales de riesgo ajustados al detrimento para efectos estocásticos

(10^{-2} Sv⁻¹, después de exposición a la radiación a tasa de dosis baja)

Población expuesta	Cáncer	Efectos heredables	Total
Toda	5,5 (6,0)	0,2 (1,3)	5,7 (7,3)
Adultos	4,1 (4,8)	0,1 (0,8)	4,2 (5,6)

Los **coeficientes nominales de riesgo**
(ajustados al detrimento para efectos estocásticos)
son **plausibles**
porque son
probables y aparentemente razonables;
pero, esto no significa que sean
necesariamente **reales!**

Razones para emplear los *coeficientes de riesgo nominal*

Por razones de

- deber social,
- responsabilidad,
- utilidad,
- prudencia,
- precaución, y
- no discriminación,

la ICRP tuvo que introducir el concepto de
coeficientes de riesgo nominal

Los coeficientes nominales de la ICRP se han simplificado e incorporado en las normas internacionales

~0.005% per mSv
(para una persona de 'referencia')

Volume 37 Nos. 2-4 2007

ICRP

Annals of the ICRP

ICRP Publication 103

The 2007 Recommendations of the International
Commission on Radiological Protection



infibeam

Las recomendaciones de 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica

¿Cómo utilizar esta
información para fines de
protección contra la
radiación?

(5) Conclusiones

Efectos a nivel celular: atribución de dosis

- Efectos a nivel celular pueden ser detectados a través de análisis biológicos especializados.
- Estos efectos se utilizan como indicadores biológicos de exposición, y ayudan a identificar la ocurrencia de una exposición en el individuo al que se le practica el análisis.
- Sin embargo, la presencia de indicadores biológicos no implica necesariamente que el individuo haya incurrido o vaya a incurrir efectos deletéreos atribuibles a la exposición.

Atribución de Efectos Deterministas

- Los efectos sanitarios más notables son las reacciones titulares en los individuos expuestos. Se los denomina efectos "deterministas".
- Estos efectos pueden atribuirse a una exposición determinada en un dado individuo con un alto grado de confianza, si y sólo si, las reacciones titulares específicas fueran diagnosticadas inequívocamente.
- En este caso, la ocurrencia del efecto puede ser debidamente atestada por el profesional patólogo que llevo a cabo el diagnostico y atribuida positivamente a la exposición.

Atribución de Efectos Estocásticos

- Los efectos estocásticos no puede ser atribuidos inequívocamente a exposición a la radiación, debido a que la radiación no es la única causa posible y, en la actualidad, no hay marcadores biológicos disponibles que permitan identificar que los efectos con la radiación.
- Es decir, los efectos estocásticos no son atribuibles por razones de la condicionalidad contra-fáctica.
- Sin embargo, si la incidencia "normal" de un efecto estocástico particular fuera extremadamente baja y su radiosensibilidad muy alta, podría decirse que la atribución individual de estos efectos es *ostensible*. Un ejemplo de este tipo es el cáncer folicular de tiroides en niños expuestos a yodo radioactivo.

Atribución de Efectos Estocásticos

- Se puede atribuir un aumento en la incidencia de efectos estocásticos en una población expuesta.
- El análisis epidemiológico requiere que el número de efectos sea suficiente como para superar las incertidumbres aleatorias inherentes a las evaluaciones epidemiológicas.
- Así, el aumento de la prevalencia colectiva de los efectos estocásticos en la población expuesta puede ser debidamente atestado por epidemiólogos calificados y atribuido a la exposición.

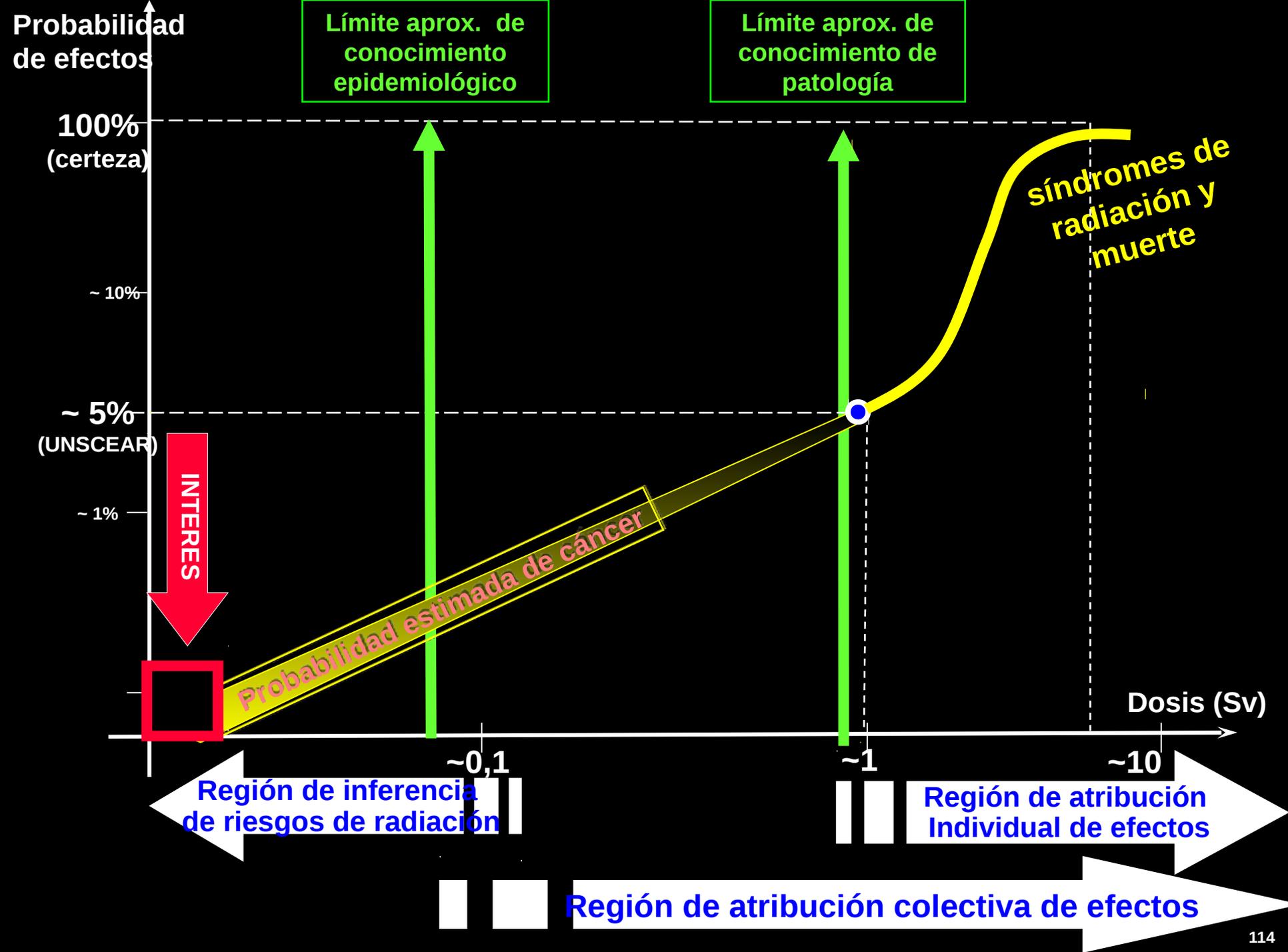
Atribución de Efectos Estocásticos

- En situaciones de exposición a bajos niveles de radiación, el número previsible de efectos estocásticos sería tan bajo que las evaluaciones epidemiológicas no se pueden utilizar para establecer atribución colectiva.
- Mas aun, los efectos hereditables no pueden en la actualidad atribuirse a la exposición a la radiación aun a dosis mas altas porque la fluctuación de la incidencia 'normal' de estos efectos es mucho más grande que cualquier aumento previsto en la incidencia relacionado con la radiación.

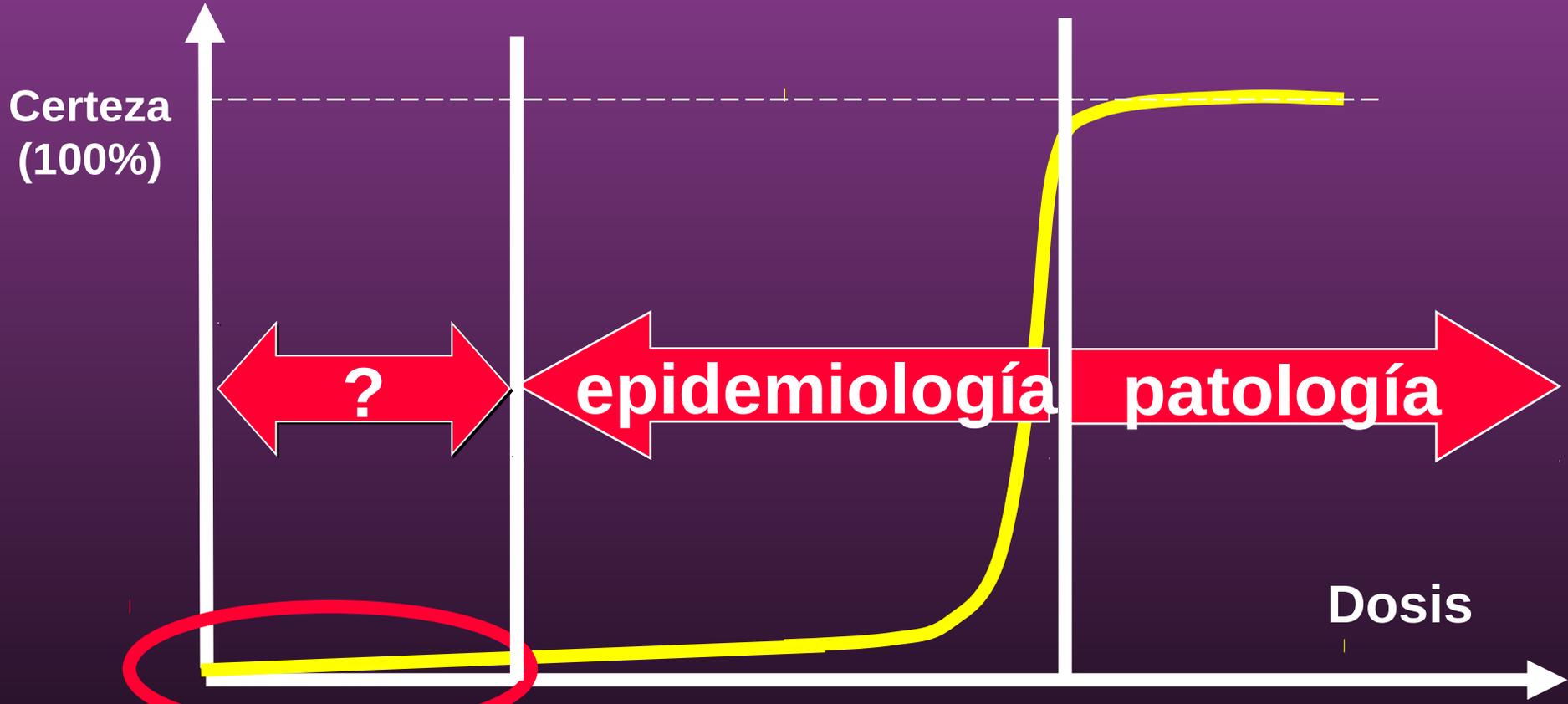
Atribución de Riesgos

- Es posible atribuir prospectivamente riesgos radiológicos nominales a situaciones de exposición planificada, aun cuando las dosis fueran bajas.
- La razonabilidad de esta atribución puede ser demostrada con técnicas de análisis cuantitativo de incertidumbre.
- Por lo tanto, por razones de deber social, responsabilidad, utilidad, prudencia y precaución, es necesario que los órganos públicos de protección sanitaria atribuyan riesgos nominales prospectivos a situaciones planificadas de exposición a la radiación.

Resumen



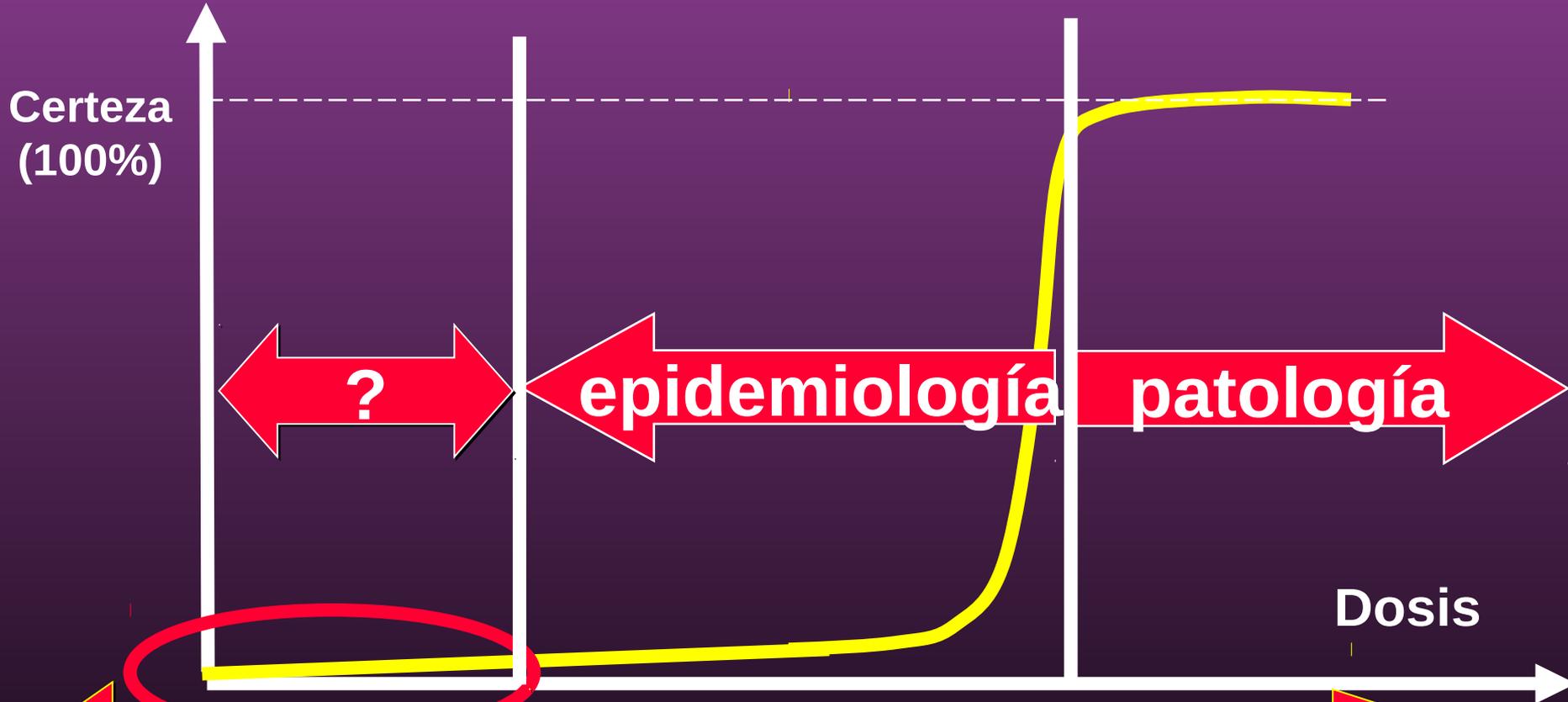
Probabilidad de efectos



Límite de provabilidad epidemiológica

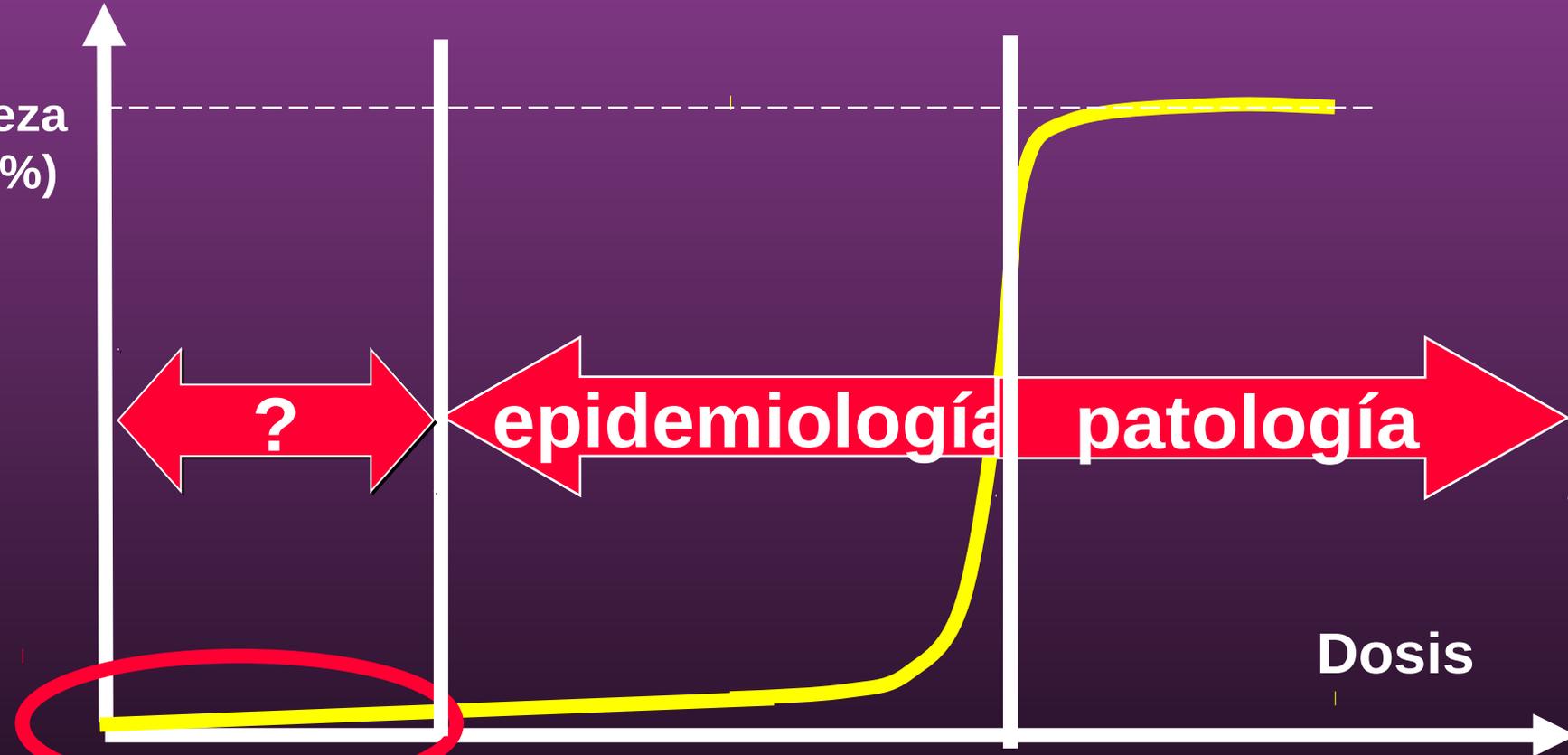
Límite de provabilidad patológica

Probabilidad de efectos



Probabilidad
de efectos

Certeza
(100%)



Dosis

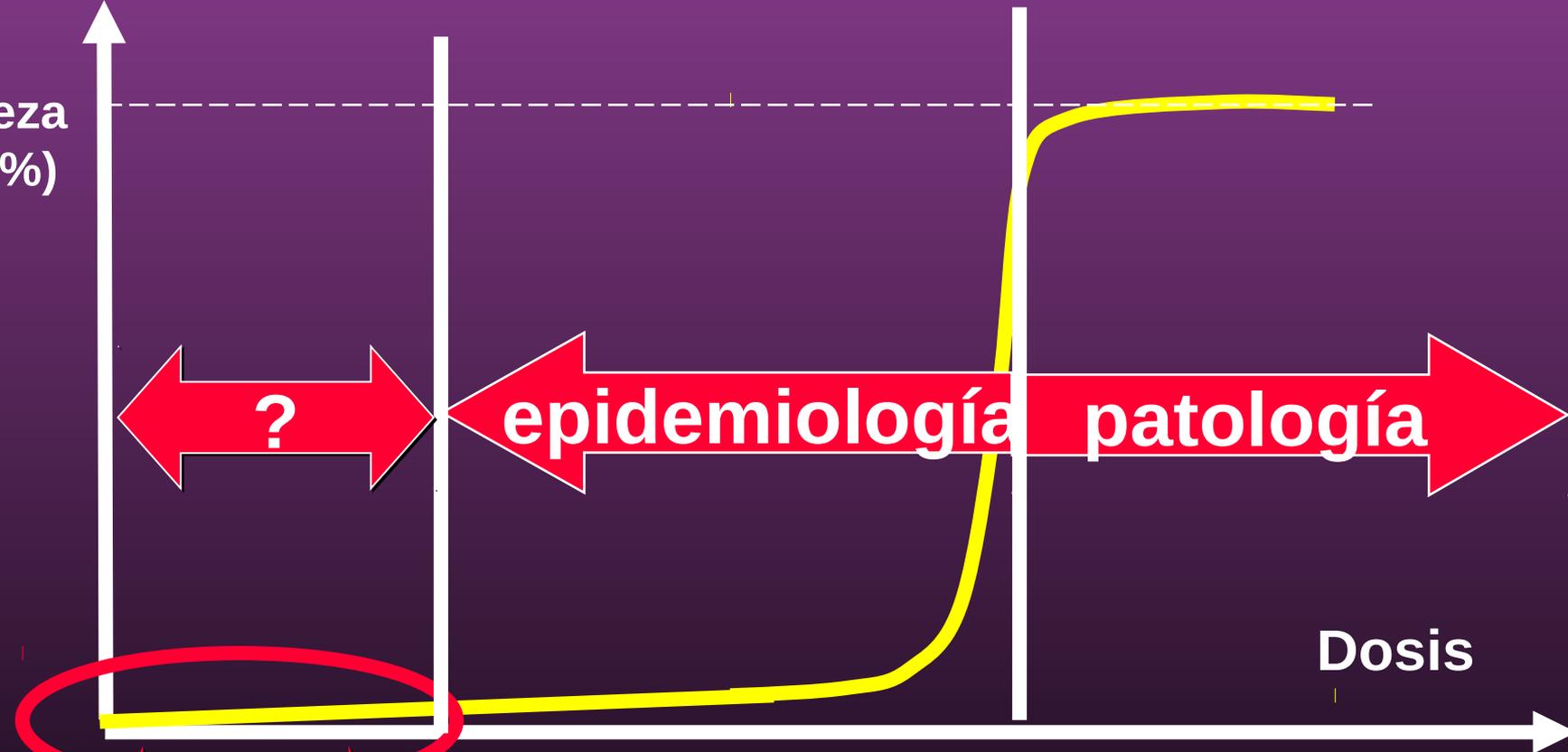
Riesgo
plausible

Estimación
colectiva

Diagnosis
individual

Probabilidad
de efectos

Certeza
(100%)



Dosis

Riesgo
nominal

Atribución
colectiva

Atribución
individual

(6) Epílogo

¡Buenas Noticias!

Imputación

Approaches to Attribution of Detrimental Health Effects to Occupational Ionizing Radiation Exposure and their Application in Compensation Programmes for Cancer



23 de junio 2010 - Publicado conjuntamente por tres organizaciones internacionales con mandatos relacionados con la salud en el trabajo y la radiación ionizante - la OIT, el OIEA y la OMS - la publicación será de utilidad para las autoridades nacionales, los sindicatos, los empleadores y otras partes interesadas en garantizar una distribución equitativa enfoque a la indemnización de los trabajadores.

UNSCEAR

- A pedido de la representación Argentina, en el párrafo 5 de su informe al quincuagésimo cuarto período de la Asamblea General de Naciones Unidas (A/61/46), UNSCEAR expresó su intención de "**aclarar la evaluación del daño potencial debido a la exposición crónica de bajo nivel entre grandes poblaciones y la atributabilidad de sus efectos en la salud**".
- Sobre esta base, la Asamblea, en su resolución 62/100, del 17 de diciembre de 2007, alentó a UNSCEAR a "**presentar un informe sobre esa cuestión a la mayor brevedad**". Así, en su quincuagésimo sexto período (10-18 julio de 2008), el UNSCEAR decidió iniciar el trabajo sobre el tema (A/63/46).

UNSCEAR

- La Asamblea General en su resolución 63/89 de 05 de diciembre 2008 respaldó el programa futuro de trabajo del UNSCEAR, incluyendo sus actividades sobre atributabilidad.
- La Asamblea General en su resolución 65/96 de 10 de diciembre 2010 **instó al UNSCEAR a presentar a la mayor brevedad el informe que había solicitado sobre la atribución de efectos en la salud de las radiaciones ionizantes.**



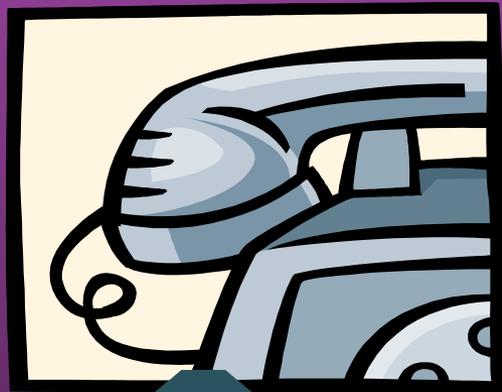
United Nations Scientific Committee
on the Effects of Atomic Radiation

Fifty-eighth session
Vienna, 23-27 May 2011

THE ABILITY TO ATTRIBUTE HEALTH EFFECTS TO EXPOSURE TO IONIZING RADIATION

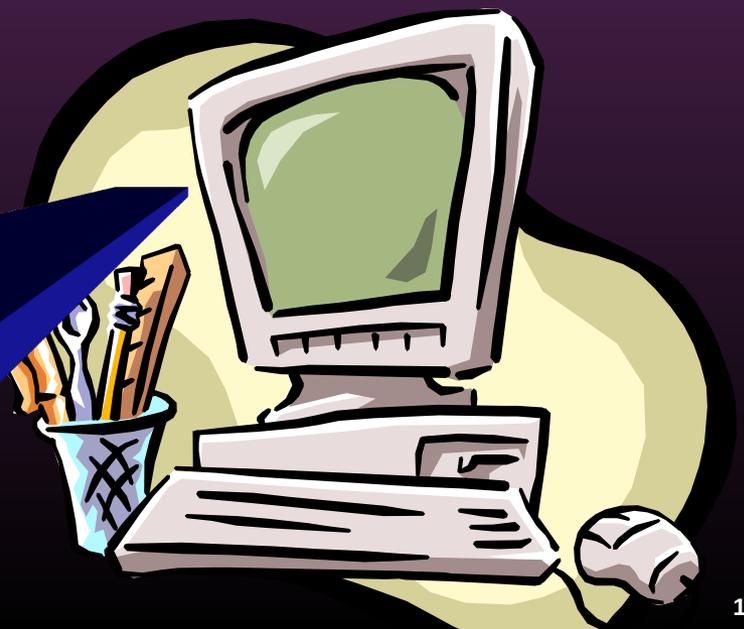


Av. del Libertador 8250
Buenos Aires
Argentina



+541163231758

Muchas gracias!



agonzalez@arn.gob.ar
abel_j_gonzalez@yahoo.com

Extra

**Building a radiation protection paradigm:
the 'nominal' risk coefficients**

Coeficiente Nominal de Riesgo

- **Coeficiente de Riesgo:** Un número, expresado en $\% \text{ Sv}^{-1}$, el que, multiplicado por la dosis efectiva, cuantifica la plausibilidad o "grado de creencia" que daño puede ocurrir debido a esa dosis.
- **Nominal:** El número indicado no se corresponde necesariamente con su valor real: se refiere a hipotéticas personas (no reales) que son un promedio en edad y sexo.

Sequential steps for recommending

detriment-adjusted

nominal risk coefficients

(1) Assigning organ doses

Absorbed dose, D

Radiation weighting factor, w_R

Equivalent dose, HT

New radiation weighting factors, w_R

Type and energy range	ICRP Publication 60	ICRP Publication 103
Photons, all energies	1	1
Electrons and muons, all energies	1	1
Protons	5	2
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20	20
Neutrons	Stepwise function	Continuous function

Radiation weighting factors, w_R

Type and energy range	ICRP Publication 60	ICRP Publication 103
Photons, all energies	1	1
Electrons and muons, all energies	1	1
Protons	5	2
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20	20
Neutrons	Stepwise function	Continuous function

(2) Determining lifetime cancer incidence risk estimates for radiation-associated cancers

- **For 14 organs or tissues, male and female lifetime excess cancer risks were estimated using both the excess relative risk (ERR) and excess absolute risk (EAR) models and were then averaged across sexes.**

(3) Applying a dose and dose-rate effectiveness factor (DDREF)

- **The lifetime risk estimates were adjusted downward by a factor of two to account for a DDREF, except for leukaemia, where the linear-quadratic model for risk already accounts for it.**

(4) Transferring risk estimates across populations

- To estimate radiation risk for each cancer site, a weighting of the ERR and EAR lifetime risk estimates was established that provided a reasonable basis for generalizing across populations with different baseline risks.**

(ERR:EAR weights of 0:100% were assigned for breast and bone marrow, 100:0% for thyroid and skin, 30:70% for lung, and 50:50% for all others)

(5) Calculating nominal risk coefficients

- **These weighted risk estimates, when applied to and averaged across seven western and Asian populations, provided the nominal risk coefficients.**

(6) Adjusting for lethality

- **The lifetime risks for respective cancer sites, which were based on excess incident cancers, were converted to fatal cancer risks by multiplying by their lethality fractions, as derived from representative national cancer survival data.**

(7) Adjusting for quality of life

- **A further adjustment was applied to account for the morbidity and suffering associated with non-fatal cancers.**

(8) Adjusting for years of life lost

- **Since the age distributions of types of cancers differ, the average ages of the several types of cancer were estimated from national cancer data and converted to average years of life lost when a cancer occurs.**
- **Thus, an adjustment for years of life lost was then applied to the result of the previous steps.**

(9) Calculating radiation detriment

- **The results of the calculations above yielded an estimate of the radiation detriment associated with each type of cancer.**
- **These, when normalized to sum to unity, constitute the relative radiation detriments.**

(9) Tissue weighting factors

- **Since the detailed relative radiation detriments in are imprecise because of uncertainties associated with their estimation, they were grouped into four categories broadly reflecting the relative detriments.**
- **A group of residual ‘remainder tissues’ was also added to account for radiation risks to organs or tissues for which detailed radiation-risk calculations were uninformative.**

Tissue weighting factors, w_T

Tissue	w_T	$\sum w_T$
Breast Tissues* Bone-marrow, Colon, Lung, Stomach, Remainder	0.12	0.72
Gonads, Bladder, Oesophagus, Liver, Thyroid	0.08	0.08
Bone surface, Brain, Salivary glands, Skin	0.04	0.16
	0.01	0.04
	Σ	1

*Remainder Tissues (Nominal w_T applied to the average dose to 15 tissues) : Adrenals, Extrathoracic (ET) region^a, Gall bladder, Heart wall, Kidneys, Lymphatic nodes, Muscle, Oral mucosa, Pancreas, Prostate, Rectum, Small intestine (SI) Wall, Spleen, Thymus, Uterus/cervix.

(10) Calculating effective dose

Equivalent dose, H_T

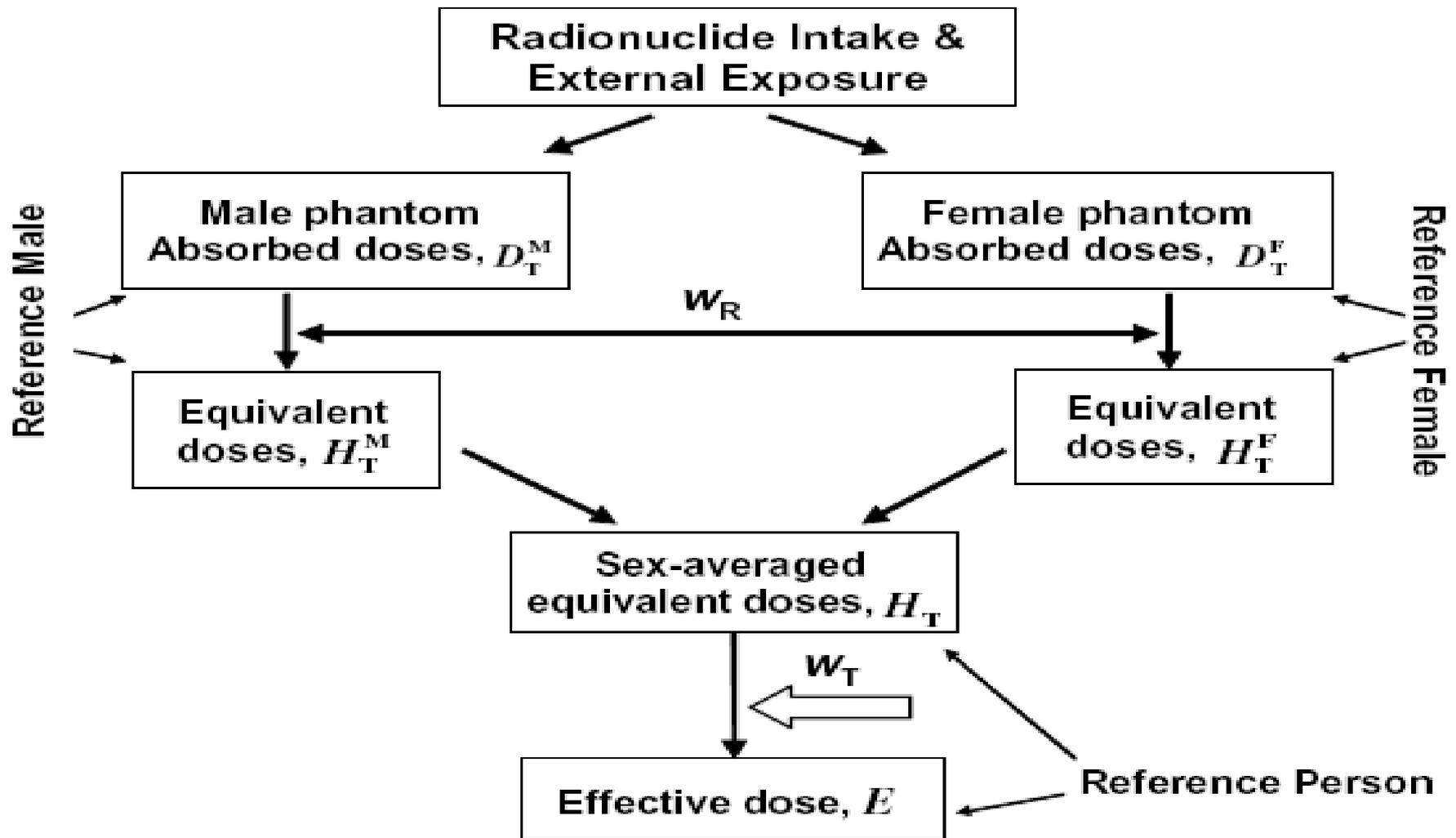
Tissue Weighting Factor, w_T

Effective dose, E

Tissue weighting factors, w_T

Tissue	w_T	Σw_T
Breast , Bone-marrow, Colon, Lung, Stomach, Remainder Tissues*	0.12	0.72
Gonads,	0.08	0.08
Bladder, Oesophagus, Liver, Thyroid	0.04	0.16
Bone surface, Brain, Salivary glands, Skin	0.01	0.04
	Σ	1

(11) Sex averaging to obtain the effective dose



Detriment-adjusted nominal risk coefficients

(10^{-2} Sv^{-1})

(for stochastic effects after exposure to radiation at low dose rate)

Exposed population	Cancer		Heritable effects		Total	
	1990	2007	1990	2007	1990	2007
Year of recommendations →						
Whole	6.0	5.5	1.3	0.2	7.3	5.7
Adult	4.8	4.1	0.8	0.1	5.6	4.2

(12) Simplifying the nominal coefficient for use in international standards

~0.005% per mSv
(for a 'reference' person)

¿Estimación?

