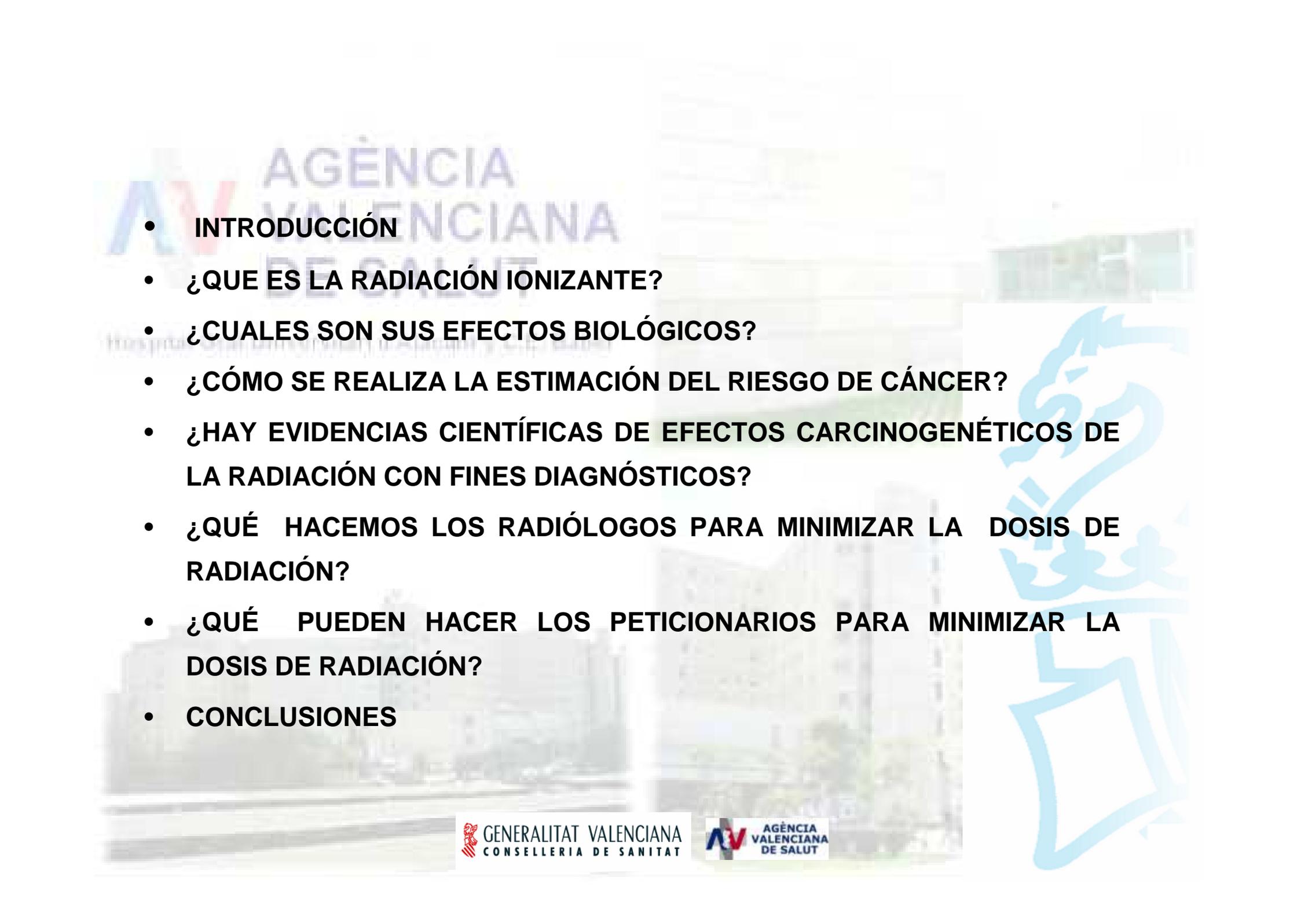


# Preguntas y respuestas sobre los efectos carcinógenos de las pruebas de imagen.

David Londoño Mejía  
R3 Radiodiagnóstico  
H.G.U.A.



- 
- AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT**
- **INTRODUCCIÓN**
  - **¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?**
  - **¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?**
  - **¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?**
  - **¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?**
  - **¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?**
  - **¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?**
  - **CONCLUSIONES**

# INTRODUCCIÓN

- En los últimos 20 años el uso de la TC ha aumentado dramáticamente.
- Este aumento se debe en gran parte a su precisión en el diagnóstico y su amplia disponibilidad.
- Mas de la mitad de la exposición por radiación en la población de EE.UU. se debe a pruebas de imagen .



## UNEVEN DISTRIBUTION

The number of scans per 1,000 people varies widely around the world. In some cases, such as New Zealand, the number may be underestimated because the data only include procedures paid for with public funds.

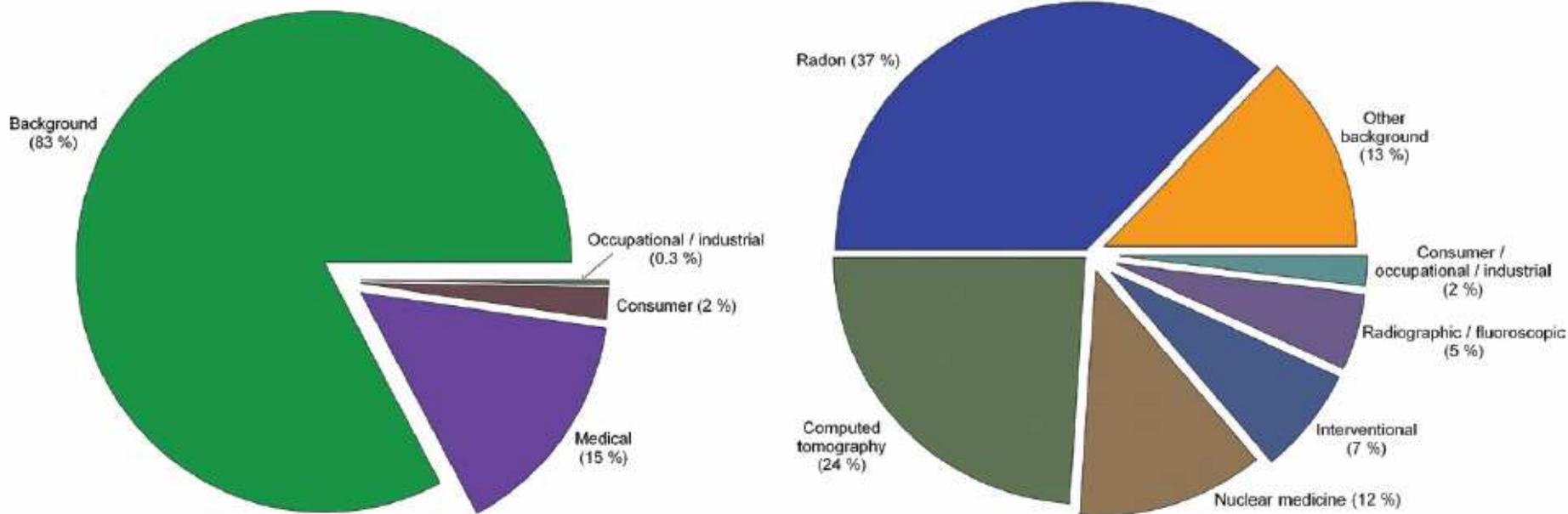
Greece tops the list in number of CT scans because it has a large number of scanners, with the vast majority based in private clinics, and there are no official guidelines governing their use.



# INTRODUCCIÓN

- En los EE.UU. el número de TC realizadas aumenta un 10% cada año.
- En Corea del Sur la tasa es aún mayor pudiendo llegar hasta un 30 % anual.
- El mayor contribuyente a la exposición por radiación médica es la TC.
- La media anual de dosis efectiva per-capita por procedimientos médicos en el mundo entero se ha casi duplicado en los últimos 15 años.

Figure 1



a.

b.

**Figure 1:** Average effective dose per capita to the U.S. population from major sources of exposure. (a) Effective dose (percentage of total) in early 1980s. (b) Effective dose (percentage of total) in 2006. (Reprinted, with permission, from reference 1.)

# AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT

- INTRODUCCIÓN
- **¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?**
- ¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?
- ¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?
- ¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?
- ¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- ¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- CONCLUSIONES

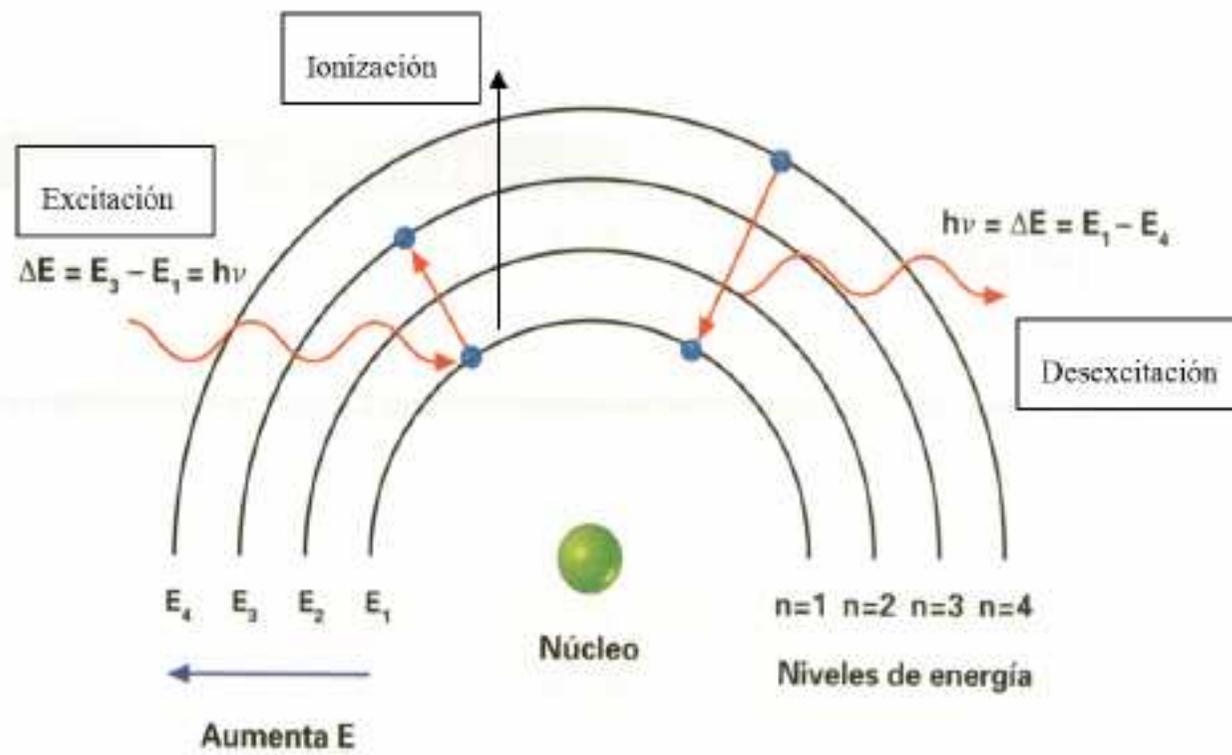


¿Qué son los rayos x?

Son una forma de radiación electromagnética, como la luz visible o las ondas de radio.



- Este rayo tiene capacidad de producir **excitación electrónica** e **ionización** de los tejidos que atraviesa.



# AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT

- INTRODUCCIÓN
- ¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?
- **¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?**
- ¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?
- ¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?
- ¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- ¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- CONCLUSIONES



# ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

1. La radiación **siempre** tiene efectos lesivos sobre las células.

Daño físico inicial	
Ionizaciones en el núcleo celular	~ 100.000
Ionizaciones directas en el ADN	~ 2.000
Excitaciones directas en el ADN	~ 2.000
Selección de daños bioquímicos	
Roturas simples de la cadena de ADN	1.000
8 – hidrox adenina	700
T <sup>+</sup> (daño en la timina)	250
Roturas dobles de la cadena de ADN	40
Entrecruzamientos ADN-proteínas	150
Selección de efectos celulares	
Efectos letales	0.2 - 0.8
Aberraciones cromosómicas	~ 1

**1 Gy de radiación**

# EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN IONIZANTE

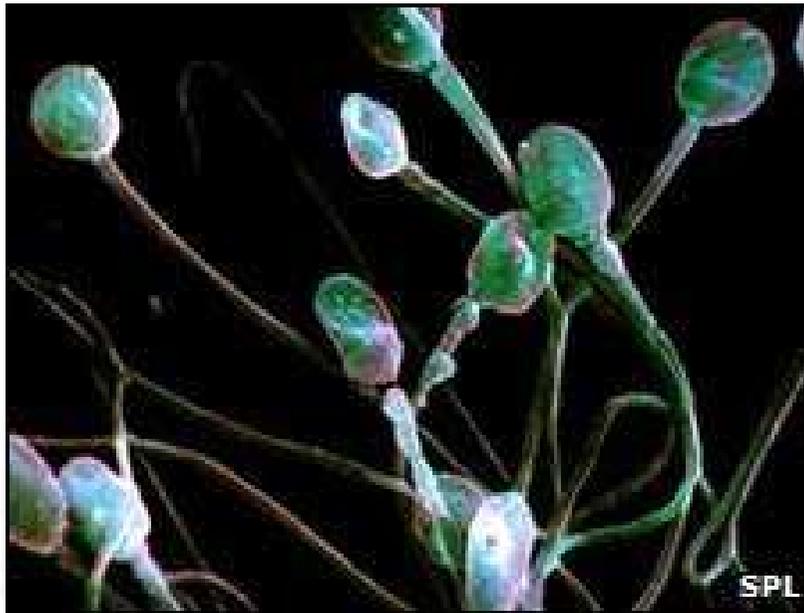
1. La radiación **siempre** tiene efectos lesivos sobre las células.
2. Estos efectos pueden tener un **periodo de latencia de varios años**, aunque el depósito físico de energía sea instantáneo (mínimo de 2 años para leucemia y 5-10 para el resto).
3. Afectan a cualquier estructura: **su acción no es selectiva**.
4. Las alteraciones producidas son **inespecíficas**.
5. La principal causa de daño y muerte celular deriva de la **ruptura de la cadena de ADN**.
6. La **radiosensibilidad** celular depende de su actividad mitótica y aumenta cuanto menor sea su grado de diferenciación.

## TIPOS DE EFECTOS BIOLÓGICOS DE LOS RAYOS X

	<u>Determinista</u>	<u>Estocástico</u>
<b>Dosis umbral</b>	Si	<b>NO</b>
<b>Dosis- efecto</b>	Lineal	Probabilístico
<b>Gravedad</b>	Depende de la dosis	<b>No depende de la dosis</b>
<b>Aparición</b>	Inmediata o tardía	<b>Tardía</b>
<b>Naturaleza</b>	Somática	Somática o hereditaria

### Determinista

- Después de una dosis de 2 Gy la esterilidad puede durar entre 1 y 2 años y tras 6 Gy suele ser permanente.



### Estocástico

- Una dosis acumulada de 50 mGy casi triplica el riesgo de leucemia en niños.

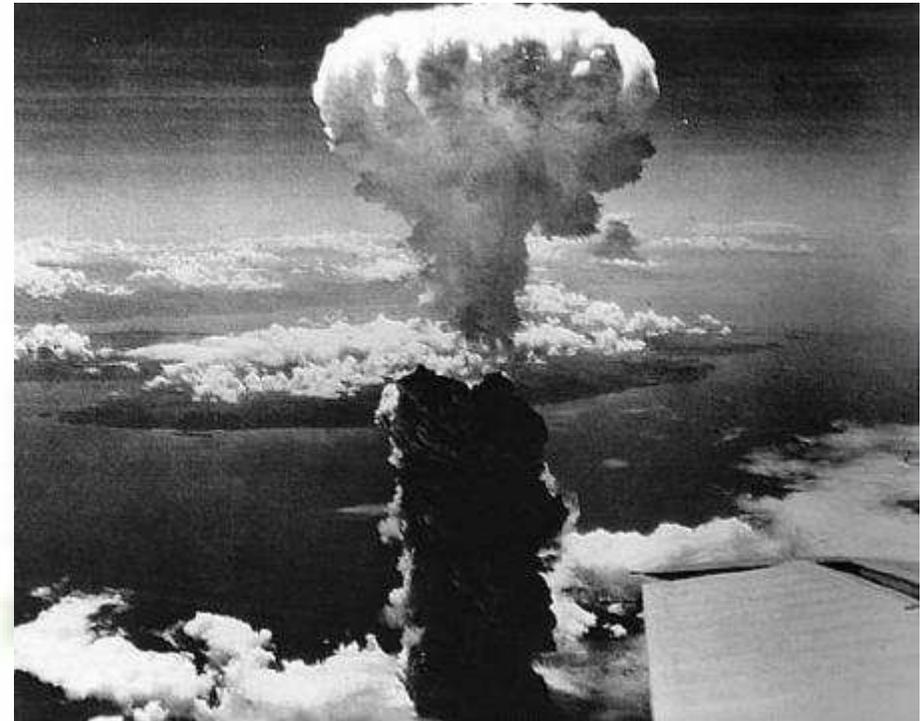


# AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT

- INTRODUCCIÓN
- ¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?
- ¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?
- **¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?**
- ¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?
- ¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- ¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- CONCLUSIONES



- Los efectos biológicos de la exposición a radiación de bajas dosis son difíciles de estudiar.
- De forma natural un 25-33% de los cánceres ocurren en la población, lo que impide establecer una relación de causalidad.
- Los modelos de riesgo mas ampliamente aceptados son los incluidos en el reporte BEIR VII de 2006 (*Biologic Effects of Ionizing Radiation*) basados en estudios de supervivientes de la bomba atómica.



# A new view of radiation-induced cancer: integrating short- and long-term processes. Part I: Approach

Igor Shuryak · Philip Hahnfeldt · Lynn Hlatky · Rainer K. Sachs · David J. Brenner

Using the facts that a random thinning of a Poisson distribution is Poisson and the sum of independent Poisson distributions is Poisson, one can show that the total number of surviving pre-malignant clones at the end of the short-term period is Poisson distributed. The above arguments give the mean value as  $N_{\text{rad}} = aXISf(D)$ , where  $D$  is the total radiation dose (i.e., the sum of all doses per fraction,  $dK$ ) and  $ISf(D)$  (units = dose) represents a net outcome of initiation, inactivation, and cell repopulation during exposure,  $ISf(D) = \sum_{k=0}^{\infty} I(k)F(k)$ . The probability that a pre-malignant niche that was present before exposure is not inactivated by radiation (i.e., that at least one pre-malignant stem cell in the niche survives) is given by:

$$Sf(Z, D) = 1 - [1 - F(0)]^Z \quad (11)$$

### Unifying short- and long-term processes

The above short-term processes are regarded as effectively instantaneous relative to the long-term ones. The stochastic results for the short-term exposure period, in the form of the functions  $ISf(D)$  and  $Sf(Z, D)$ , are inserted into the deterministic equations for long-term carcinogenesis processes. On the long-term time scale, niches already pre-malignant at the end of irradiation and recovery then increase in number by replication; we will refer to all the resulting niches as “old” niches. Other, “new” niches are formed by spontaneous initiation after the end of the exposure period. The contributions of niches in these two categories to the cancer risk are called  $N_{\text{rad}}E(T_s, T_r)$  and  $N_{\text{rad}}N(T_s, T_r)$ , respectively. At a given time ( $T_r$ ) after irradiation they are given by the following solutions for (3):

$$\begin{aligned} N_{\text{rad}}E(T_s, T_r) &= [(a/b)(\exp[bT_s] - 1)Sf(Z, D) \\ &\quad + aXISf(D)] \exp[bT_r] \quad (12) \\ N_{\text{rad}}N(T_s, T_r) &= (a/b) \{ \exp[bT_s] - 1 \} \end{aligned}$$

Radiation is commonly assumed to promote hyper-proliferation of pre-malignant cells (Heidenreich et al. 2007). Here, we interpret this effect as an increase in the

promotion—can be induced using only one adjustable parameter ( $\delta$ ), as done here. According to these assumptions, at any given time ( $T_r$ ) after exposure to radiation the average normalized number of pre-malignant cells per surviving niche ( $C_{\text{rad}}(T_s, T_r)$ ) can be calculated by solving (4):

$$C_{\text{rad}}(T_s, T_r) = (1 + YD) / [1 + YD (1 - \exp[-\delta T_r])] \quad (13)$$

### Calculation of absolute and relative cancer risks

The approximation for the absolute cancer risk after radiation ( $A_{\text{rad}}(T_s, T_r)$ ) can now be calculated at any age at exposure and time since exposure by using the equations above:

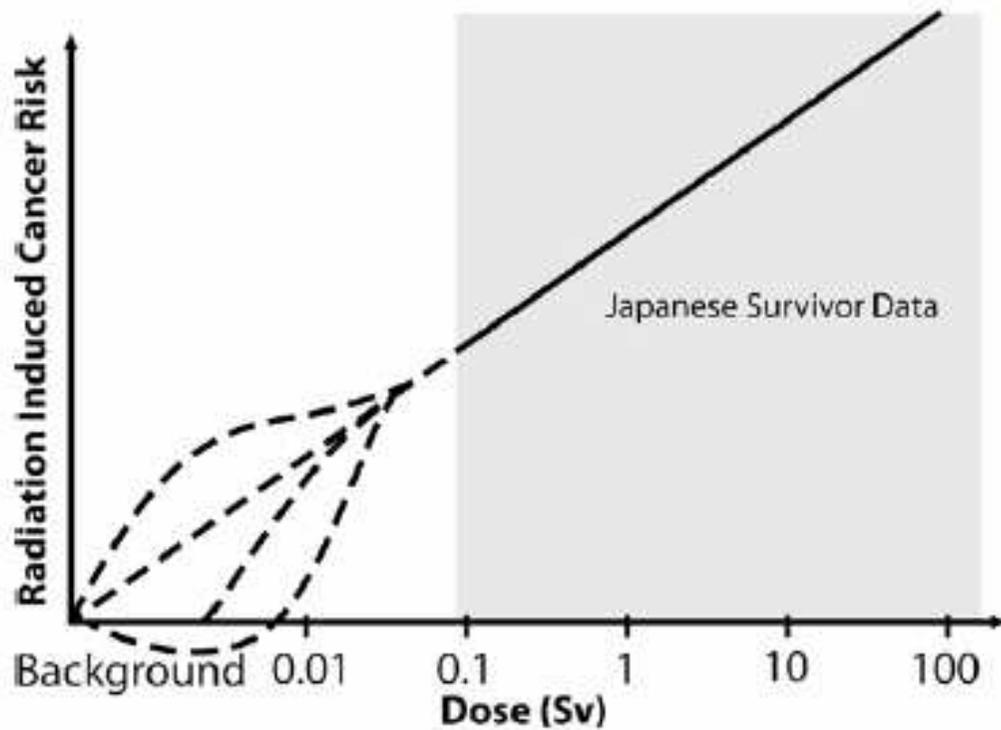
$$\begin{aligned} A_{\text{rad}}(T_s, T_r) &= [N_{\text{rad}}E(T_s, T_r)C_{\text{rad}}(T_s, T_r) \\ &\quad + N_{\text{rad}}N(T_s, T_r)]P(T_s, T_r) \\ &= \frac{a [(\exp[bT_s] - 1)Sf(Z, D) + bXISf(D)] \exp[bT_r] (1 + YD)}{b [1 + YD(1 - \exp[-\delta T_r])]} \\ &\quad + \exp[bT_s] - 1 \exp[-c(T_s + T_r)] \quad (14) \end{aligned}$$

The excess relative cancer risk (ERR) follows from (6) and (14):  $ERR = [A_{\text{rad}}(T_s, T_r) / A_{\text{rad}}(T_s, T_r)] - 1$ . By substitution and simplification, a more explicit expression for the ERR can be obtained:

$$\begin{aligned} ERR &= [(Q_1 Q_2 + Q_3) / Q_4] - 1, \quad \text{where} \\ Q_1 &= (1 + YD) / [1 + YD (1 - \exp[-\delta T_r])]; \\ Q_2 &= [(\exp[bT_s] - 1)Sf(Z, D) + bXISf(D)] \exp[bT_r]; \\ Q_3 &= \exp[bT_s] - 1; \\ Q_4 &= \exp[b(T_s + T_r)] - 1 \quad (15) \end{aligned}$$

Note that the senescence parameter ( $c$ ) cancels out of this ERR expression; due to the way we have defined our radiation initiation parameter ( $X$ ), the spontaneous initiation parameter ( $a$ ) also cancels out. The term  $Q_1$  can be interpreted as the normalized size of old pre-malignant

**Figure 4**

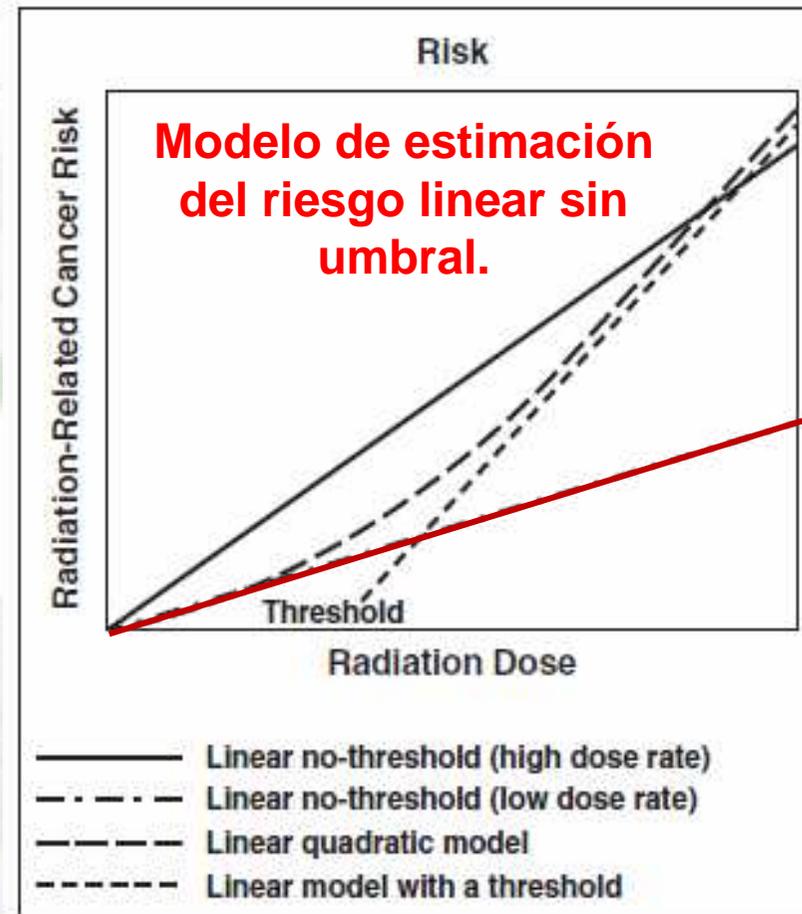


**Figure 4:** Graph shows models for extrapolating radiation-induced cancer risk to low doses (dashed line and curves). Linear no-threshold (LNT) model = dashed straight line.

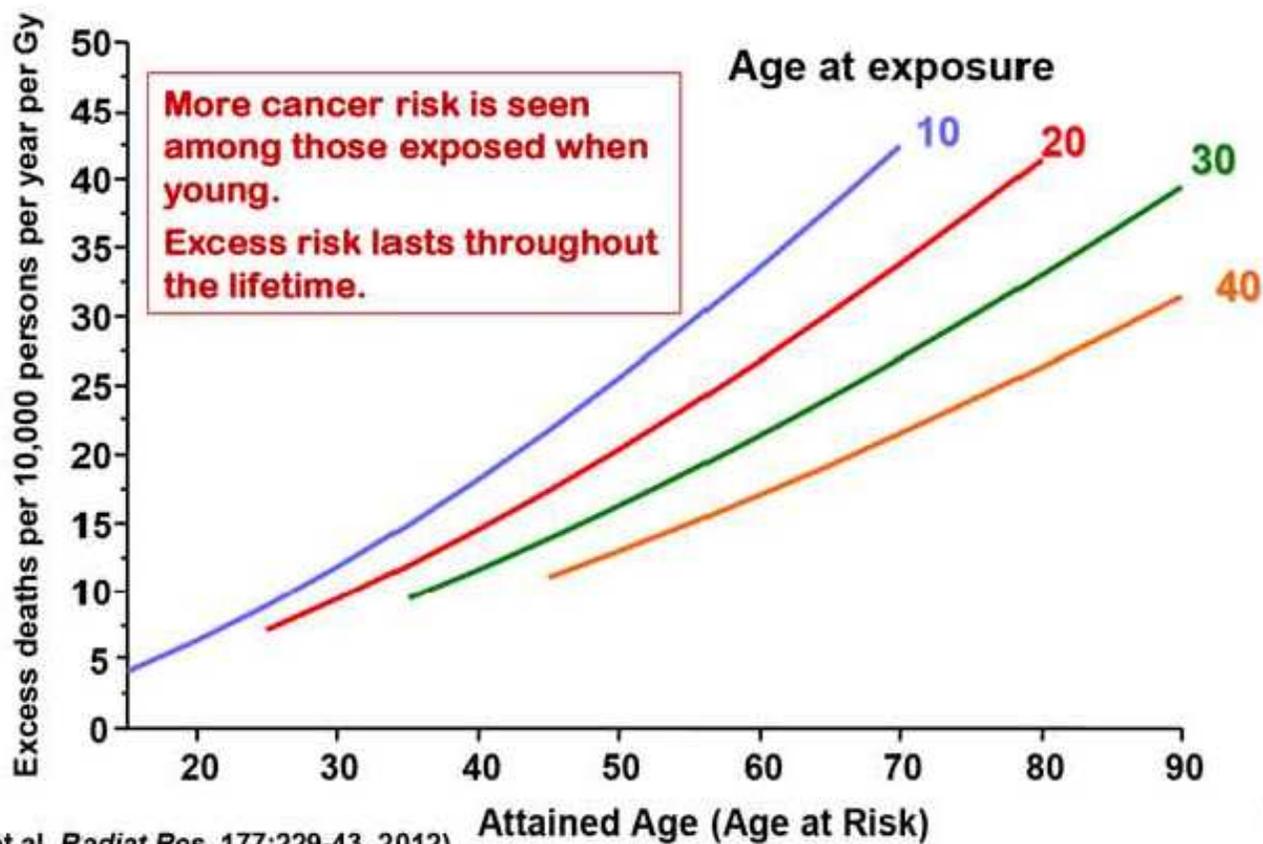
*Radiology: Volume 264: Number 2—August 2012*

# ¿ES LO MISMO LA EXPOSICIÓN A LA BOMBA ATÓMICA QUE A UNA PRUEBA RADIOLÓGICA?

- Supervivientes de la bomba atómica experimentaron una exposición instantánea de cuerpo completo.
- La radiación atómica incluye diferentes tipos de radiación.

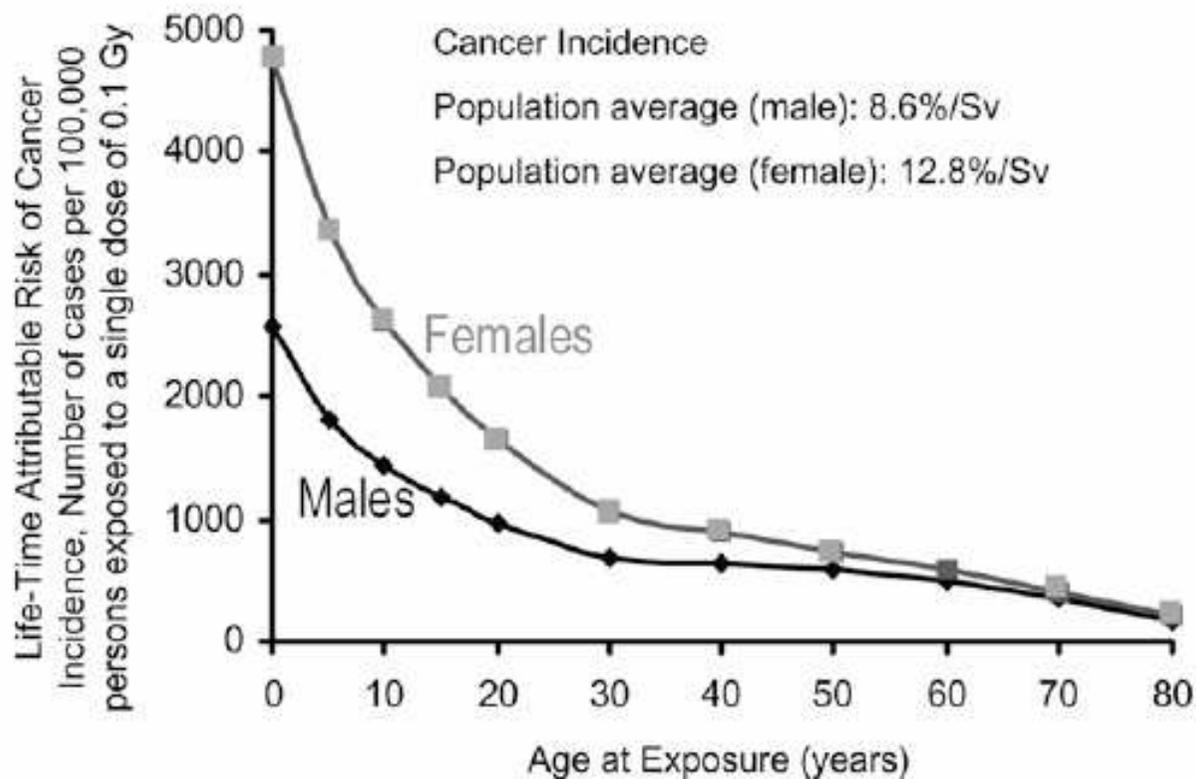


# Excess Rates of Solid Cancer Mortality by Age at Exposure and Attained Age



Sobrevivientes de Hiroshima.

**Figure 3**



**Figure 3:** Graph shows lifetime attributable risk of radiation-induced cancer incidence, as a function of age at exposure for males and females. Graph is based on data about the A-bomb survivors as analyzed by the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VII committee; data are from reference 30.

*Radiology: Volume 258: Number 3—March 2011*

# AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT

- INTRODUCCIÓN
- ¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?
- ¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?
- ¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?
- **¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?**
- ¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- ¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- CONCLUSIONES

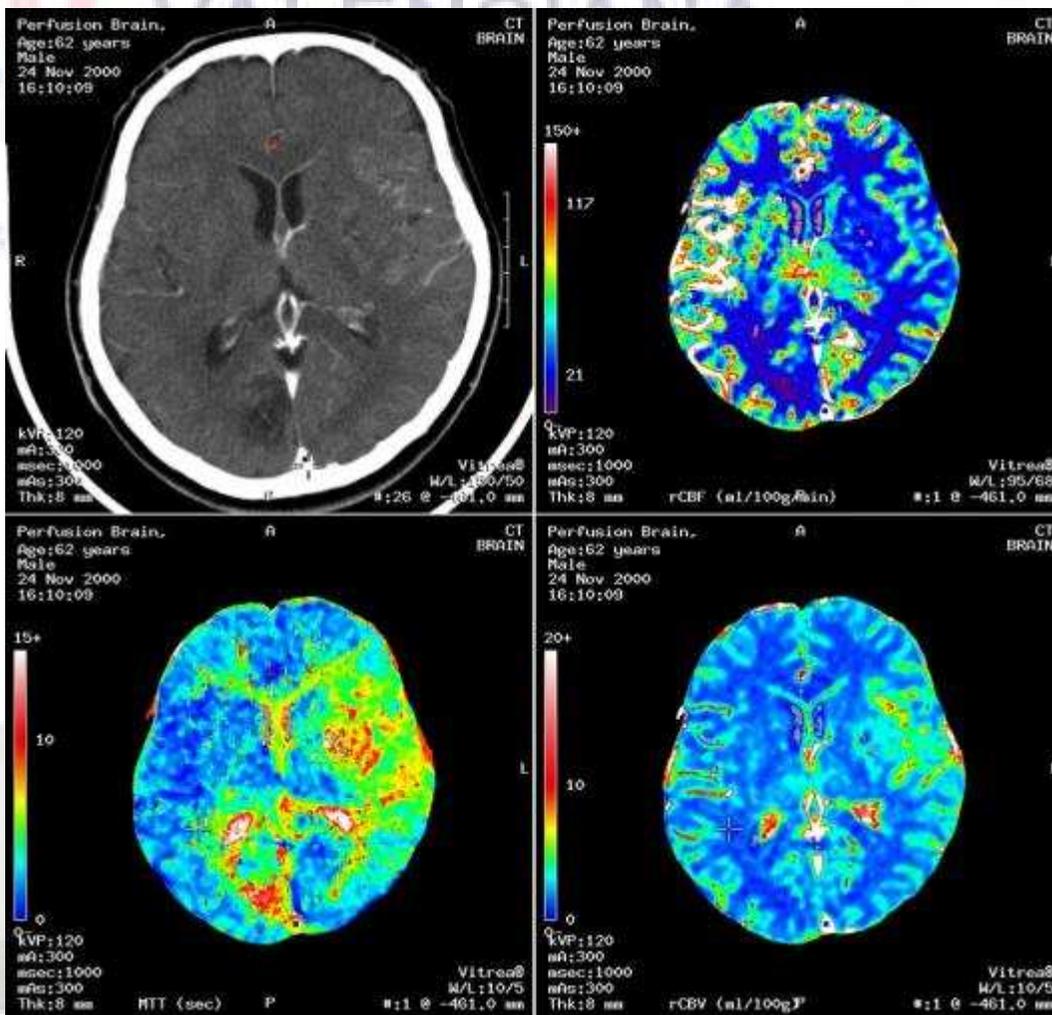


# ¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?

Efectos directos

Estudios poblacionales

# Efectos directos de pruebas radiológicas



# Efectos directos de pruebas radiológicas



*Radiology: Volume 258: Number 3—March 2011*

# studios poblacionales que confirman la existencia de un riesgo real

Articles

## Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study

Mark S Pearce, Jane A Salter, Mark P Little, Karan Makhig, Charvillat Lin Kwang Phyllis Nicola, Hana Jedin Milobedev, Prithvi Rajaram, et al. *BMJ* 2012;345:e8602. doi:10.1136/bmj.e8602

**Summary**  
**Background** Although CT scans are very useful clinically, potential cancer risks exist from associated ionising radiation, in particular for children who are more radiosensitive than adults. We aimed to assess the excess risk of leukaemia and brain tumours after CT scans in a cohort of children and young adults.

**Methods** In our retrospective cohort study, we included patients without previous cancer diagnoses who were first examined with CT in National Health Service (NHS) centres in England, Wales, or Scotland (Great Britain) between 1985 and 2002, when they were younger than 21 years of age. We obtained data for cancer incidence, mortality, and loss to follow-up from the NHS Central Registry from Jan 1, 1985, to Dec 31, 2008. We estimated absorbed brain and red bone marrow doses per CT scan in mGy and assessed excess incidence of leukaemia and brain tumours cancer with Poisson relative risk models. To avoid inclusion of CT scans related to cancer diagnosis, follow-up for leukaemia began 2 years after the first CT and for brain tumours 5 years after the first CT.

**Findings** During follow-up, 74 of 178 694 patients were diagnosed with leukaemia and 135 of 175 507 patients were diagnosed with brain tumours. We noted a positive association between radiation dose from CT scans and leukaemia (excess relative risk [ERR] per mGy 0.016, 95% CI 0.005–0.120,  $p=0.007$ ) and brain tumours (0.023, 0.009–0.049,  $p=0.000$ ). Compared with patients who received a dose of less than 5 mGy, the relative risk of leukaemia for patients who received a cumulative dose of at least 38 mGy (mean dose 53.13 mGy) was 3.18 (95% CI 1.40–6.94) and the relative risk of brain cancer for patients who received a cumulative dose of 55–74 mGy (mean dose 69.42 mGy) was 2.82 (0.33–6.83).

**Interpretation** Use of CT scans in children to deliver cumulative doses of about 50 mGy might almost triple the risk of leukaemia and doses of about 60 mGy might triple the risk of brain cancer. Because these cancers are relatively rare, the cumulative absolute risks are small in the 10 years after the first scan for patients younger than 10 years, now occurs one of leukaemia and one mean case of brain tumour per 30 000 head CT scans is estimated to occur. Nevertheless, although clinical benefits should outweigh the small absolute risks, radiation doses from CT scans ought to be kept as low as possible and alternative procedures, which do not involve ionising radiation, should be considered if appropriate.

**Funding** US National Cancer Institute and UK Department of Health.

**Introduction**  
 direct studies of cancer risk in patients who have undergone CT scans have been undertaken to date. We did a study to directly assess the question of whether cancer risks are increased after CT scans in childhood and young adulthood. Here we assess the risks of leukaemia and brain tumours because they are the endpoints of greatest concern as the red bone marrow and brain are highly radiosensitive tissues, especially in childhood.<sup>1</sup> Furthermore, these tissues are also sites of the most highly exposed from childhood CT scans,<sup>2</sup> and leukaemia and brain tumours are the most common childhood cancers.

**Methods**  
**Patients and study design**  
 In our observational retrospective cohort study, we included patients without previous malignant disease who were first examined with CT between 1985 and

www.bmj.com/ 345 July-August 2, 2012

BMJ 2012;345:e8602. doi:10.1136/bmj.e8602 (Published 22 May 2012)

Page 1 of 18

RESEARCH

## Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians

OPEN ACCESS

John D Mathews epidemiologist<sup>1</sup>, Anna V Forsythe research officer<sup>2</sup>, Zoe Brady medical physicist<sup>1\*</sup>, Martin W Butler data analyst<sup>3</sup>, Stacy K Goergen radiologist<sup>4</sup>, Graham B Byrnes statistician<sup>5</sup>, Graham G Giles epidemiologist<sup>6</sup>, Anthony B Wallace medical physicist<sup>7</sup>, Philip R Anderson epidemiologist<sup>8</sup>, Terri A Guiver data analyst<sup>9</sup>, Paul McGale statistician<sup>10</sup>, Timothy M Cain radiologist<sup>11</sup>, James G Dowdy research fellow<sup>12</sup>, Adrian C Bickelstaette computer scientist<sup>13</sup>, Sarah C Darby statistician<sup>14</sup>

**Abstract**  
**Objective** To assess the cancer risk in children and adolescents following exposure to ionising radiation from diagnostic computed tomography (CT) scans.  
**Design** Population based, cohort, data linkage study in Australia.  
**Cohort members** 15.8 million people identified from Australian Medicare records, aged 0–19 years on 1 January 1985 or born between 1 January 1986 and 31 December 2005, all exposure to CT scans funded by Medicare during 1986–2005 were identified for this cohort. Cancer diagnoses in cohort members up to 31 December 2007 were obtained through linkage to national cancer records.  
**Main outcomes** Cancer incidence rates in individuals exposed to a CT scan more than one year before any cancer diagnosis, compared with cancer incidence rates in unexposed individuals.  
**Results** 65 813 cancers were recorded, including 2736 in 680 211 people exposed to a CT scan at least one year before any cancer diagnosis. The mean duration of follow-up after exposure was 8.8 years. Overall cancer incidence was 24% greater for exposed than for unexposed people, after accounting for age, sex, and year of birth (incidence rate ratio (IRR) 1.24, 95% confidence interval 1.20 to 1.28),  $P<0.001$ . We saw a dose response relation, and the IRR increased by 5.10 (0.10 to 6.18) for each additional CT scan. The IRR was greater after exposure

of younger ages ( $P<0.001$  for trend), at 1–4, 5–9, 10–14, and 15 or more years since first exposure, IRRs were 1.29 (1.20 to 1.40), 1.25 (1.17 to 1.34), 1.14 (1.06 to 1.22), and 1.24 (1.14 to 1.34), respectively. The IRR increased significantly for many types of solid cancer (colorectal, melanoma, soft tissue, female genital, urinary tract, brain, and thyroid), leukaemia, myeloid leukaemia, and some other lymphoid cancers. There was an excess of 658 cancers in people exposed to CT scans (147 testis, 256 other solid, 48 leukaemia or myeloid leukaemia, and 107 other lymphoid). The absolute excess incidence rate for all cancers combined was 0.29 per 100 000 person years at risk, as of 31 December 2007. The average effective radiation dose per scan was estimated as 4.5 mSv.  
**Conclusions** The increased incidence of cancer after CT scan exposure in this cohort was mostly due to irradiation. Because the cancer excess was still continuing at the end of follow-up, the eventual relative risk from CT scans cannot yet be determined. Radiation doses from contemporary CT scans are likely to be lower than those in 1986–2005, but excess increase in cancer risk is still likely from current scans. Future CT scans should be limited to situations where there is a definite clinical indication, with every scan optimised to provide a diagnostic CT image of the lowest possible radiation dose.

Correspondence to: J Mathews mathews@unimelb.edu.au

Cite this article as: Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, Giles GG, Wallace AB, Anderson PR, Guiver TA, Cain TM, Dowdy JG, Bickelstaette AC, Darby SC. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ* 2012;345:e8602. doi:10.1136/bmj.e8602

## Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study



Mark S Pearce, Jane A Salotti, Mark P Little, Kieran McHugh, Choonsik Lee, Kwang Pyo Kim, Nicola L Howe, Cecile M Ronckers, Preetha Rajaraman, Sir Alan W Craft, Louise Parker, Amy Berrington de González

### Summary

**Background** Although CT scans are very useful clinically, potential cancer risks exist from associated ionising radiation, in particular for children who are more radiosensitive than adults. We aimed to assess the excess risk of leukaemia and brain tumours after CT scans in a cohort of children and young adults.

*Lancet* 2012; 380: 499–505

Published Online

June 7, 2012

<http://dx.doi.org/10.1016/>



**Methods** In our retrospective cohort study, we included patients without previous cancer diagnoses who were first examined with CT in National Health Service (NHS) centres in England, Wales, or Scotland (Great Britain) between 1985 and 2002, when they were younger than 22 years of age. We obtained data for cancer incidence, mortality, and loss to follow-up from the NHS Central Registry from Jan 1, 1985, to Dec 31, 2008. We estimated absorbed brain and red bone marrow doses per CT scan in mGy and assessed excess incidence of leukaemia and brain tumours cancer with Poisson relative risk models. To avoid inclusion of CT scans related to cancer diagnosis, follow-up for leukaemia began 2 years after the first CT and for brain tumours 5 years after the first CT.

**Findings** During follow-up, 74 of 178 604 patients were diagnosed with leukaemia and 135 of 176 587 patients were diagnosed with brain tumours. We noted a positive association between radiation dose from CT scans and leukaemia (excess relative risk [ERR] per mGy 0·036, 95% CI 0·005–0·120;  $p=0\cdot0097$ ) and brain tumours (0·023, 0·010–0·049;  $p<0\cdot0001$ ). Compared with patients who received a dose of less than 5 mGy, the relative risk of leukaemia for patients who received a cumulative dose of at least 30 mGy (mean dose 51·13 mGy) was 3·18 (95% CI 1·46–6·94) and the relative risk of brain cancer for patients who received a cumulative dose of 50–74 mGy (mean dose 60·42 mGy) was 2·82 (1·33–6·03).

**Interpretation** Use of CT scans in children to deliver cumulative doses of about 50 mGy might almost triple the risk of leukaemia and doses of about 60 mGy might triple the risk of brain cancer. Because these cancers are relatively rare, the cumulative absolute risks are small: in the 10 years after the first scan for patients younger than 10 years, one excess case of leukaemia and one excess case of brain tumour per 10 000 head CT scans is estimated to occur. Nevertheless, although clinical benefits should outweigh the small absolute risks, radiation doses from CT scans ought to be kept as low as possible and alternative procedures, which do not involve ionising radiation, should be considered if appropriate.

*Lancet 2012; 380: 499–505*

	Cases	ERR per mGy (95% CI)	p value (test for dose-response)
<b>Red bone marrow dose</b>			
All leukaemia, including myelodysplastic syndromes	74	0.036 (0.005 to 0.120)	0.0097
Acute lymphoblastic leukaemia	26	1.719* (>0 to 17.73†)	0.0053
Acute myeloid leukaemia	18	0.021 (-0.042† to 0.155)	0.2653
Myelodysplastic syndromes	9	6.098* (>0 to 145.4†)	0.0032
Leukaemia excluding myelodysplastic syndromes	65	0.019 (-0.012† to 0.079)	0.1436
<b>Brain dose</b>			
All brain	135	0.023 (0.010 to 0.049)	<0.0001
Glioma	65	0.019 (0.003 to 0.070)	0.0033
Schwannoma and meningioma	20	0.033 (0.002 to 0.439)	0.0195

ERR=excess relative risk. \*Iteratively reweighted least-squares algorithm failed to converge, so parameter estimates might be unreliable. †Calculated using Wald-based CI.

**Table 3: Excess relative risk per mGy for cancer subtypes in relation to organ-specific radiation doses received from CT scans**

*Lancet 2012; 380: 499–505*

	Leukaemia		Brain tumours	
	ERR per mGy	p value	ERR per mGy	p value
<b>Sex</b>				
Male*	0.031	0.6300	0.016	0.0850
Female	0.042		0.028	
<b>Years since first exposure</b>				
0<5	0.048	0.8061	0†	0.6468
5<10	0.033		0.025	
≥10	0.026		0.021	
<b>Years since last exposure</b>				
0<5	0.052	0.3004	0†	0.1976
5<10	0.015		0.026	
<b>Number of CT scans</b>				
1	0.013	0.8013	0.007	0.1213
2-4	0.028		0.021	
≥5	0.035		0.018	
<b>Years since exposure‡</b>				
0<5	0.030	0.5381	0.005	0.0003
5<10	0.072		0.028	
10<15	-0.002		0.037	
≥15	0.049		0.041	
<b>Years since exposure‡</b>				
2<5	0.055	0.5357	--	0.2399
5<10	0.021		0.026	
10<15	0.005		0.023	
≥15	0.026		0.005	

ERR=excess relative risk. --not applicable (follow-up started at 5 years). \*Includes individual of unknown sex. †Aliased parameter, set to zero. ‡Time-dependent variable.

**Table 4: Excess relative risk per mGy for leukaemia and brain tumours, by various personal characteristics**

## Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians

**Incidenca augmentada de forma estadísticament significativa per molts tipus de càncer:**

- ✓ Òrgans digestius
- ✓ Melanoma
- ✓ Partes blandes
- ✓ Genitals femenins
- ✓ Tracto urinari
- ✓ Cerebro
- ✓ Tiroides
- ✓ Leucèmia
- ✓ Mielodisplàsia

Table 3| Number of cancers of all types and incidence rate ratios (IRR), exposed v unexposed, for various lag periods

	Lag period		
	1 year	5 years	10 years
<b>Exposed group</b>			
Observed no of cancers	3150	2365	1405
No of person years	6 486 548	3 971 641	1 808 883
Mean years of follow-up	9.5	7.3	5.5
<b>Unexposed group</b>			
Observed no of cancers	57 524	58 309	59 269
No of person years	177 191 342	179 706 249	181 869 007
Mean years of follow-up	17.3	17.3	17.1
Expected no of cancers in exposed group*	2542	1963	1196
No of excess cancers in exposed group*	608	402	209
IRR (95% CI; exposed v unexposed)	1.24 (1.20 to 1.29)	1.21 (1.16 to 1.26)	1.18 (1.11 to 1.24)
$\chi^2$ (1 df) for departure of IRR from unity	129.1	74.4	22.8
P for departure of IRR from unity	P<0.001	P<0.001	P<0.001

\*Calculated from rates in unexposed group after stratification for age, sex, and year of birth.

- La incidencia de cáncer de los pacientes expuestos fue un **24%** mayor que la de los no expuestos
- La tasa de incidencia era mayor a edades más jóvenes

#### What is already known on this topic

CT scanning rates have risen substantially since the 1980s. Although large doses of ionising radiation are known to cause cancer, there is uncertainty about the risks following the lower doses from CT scans (5-50 mGy per organ)

A recent study of 180 000 young people exposed to CT scans in the United Kingdom found an increasing risk of leukaemia and brain cancer with increasing radiation dose

#### What this study adds

Among 680 000 Australians exposed to a CT scan when aged 0-19 years, cancer incidence was increased by 24% (95% confidence interval 20% to 29%) compared with the incidence in over 10 million unexposed people. The proportional increase in risk was evident at short intervals after exposure and was greater for persons exposed at younger ages

By 31 December 2007, with an average follow-up of 9.5 years after exposure, the absolute excess cancer incidence rate was 9.38 per 100 000 person years at risk

Incidence rates were increased for most individual types of solid cancer, and for leukaemias, myelodysplasias, and some other lymphoid cancers

# AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT

- INTRODUCCIÓN
- ¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?
- ¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?
- ¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?
- ¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?
- **¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?**
- ¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- CONCLUSIONES



# ¿qué hacemos los radiólogos para minimizar la dosis de radiación?

- No existe un **límite de dosis** de radiación médica que pueda recibir un paciente!!!
- Siempre que una exploración o tratamiento está justificado y optimizado, se acepta que el **beneficio** que recibe el paciente es mayor que el **riesgo** al que se le somete.
- Se establecen unos **niveles de referencia** de radiación para cada prueba

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva característica (mSv)	Nº equivalente de RX de tórax
<i>Radiografías:</i>		
Extremidades y articulaciones (excluida la cadera)	< 0,01	< 0,5
Tórax (sencilla, posteroanterior)	0,02	1
Cráneo	0,07	3,5
Columna dorsal	0,7	35
Columna lumbar	1,3	65
Cadera	0,3	15
Pelvis	0,7	35
Abdomen	1,0	50
UIV	2,5	125
Esofagograma	1,5	75
Esofagoduodenal	3	150
Tránsito intestinal	3	150
Enema opaco	7	350
TC de cabeza	2,3	115
TC de tórax	8	400
TC de abdomen o pelvis	10	500

Table 5. Diagnostic Reference Levels of CT Examinations in Adults

Examination	Dose Parameter	European, 2000	UK, 2003	Germany, 2006
Head CT	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	60	100	60
	DLP (mGy·cm)	1050	930	1100
Chest CT	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	30	14	10
	DLP (mGy·cm)	650	580	345
Abdominal CT	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	35	13	15
	DLP (mGy·cm)	780	560	980

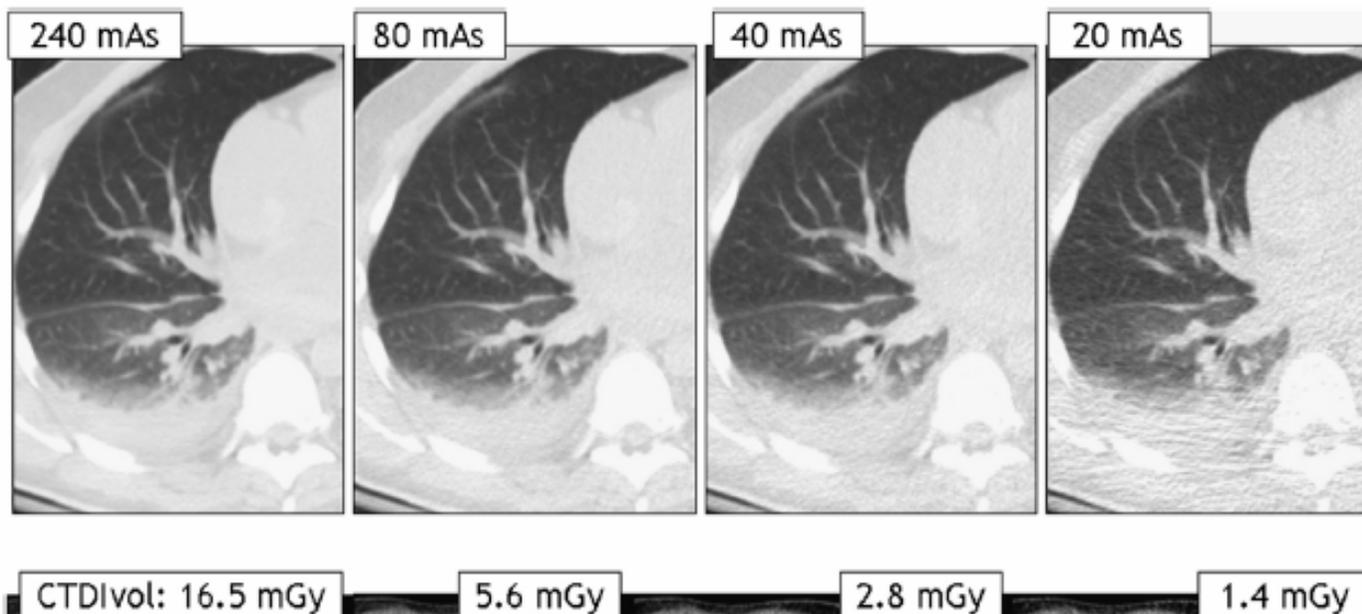
Note.— ACR = American College of Radiology, CTDI<sub>w</sub> = weighted CT dose index, Atomic Energy Agency

# ¿qué hacemos los radiólogos para minimizar la dosis de radiación?

## Criterios **ALARA**

As **L**ow As **R**easonable **A**chievable

- *Parámetros básicos de la TC*
- *Potencial del tubo*
- *Modulación de la corriente del tubo*



# ¿qué hacemos los radiólogos del HGUA para minimizar la dosis de radiación?

## 3. PROTOCOLOS CABEZA Y CUELLO

### TC CRANEAL SIN/CON CONTRASTE

**PHILIPS** GRUPO HEAD >>>> CRANEO HELICE

**SIEMENS** GRUPO CABEZA >>>> CRANEO URG ESPIRAL

PESO	VOLUMEN	VELOCIDAD	RETRASO	MODIFICACIONES
	350/400 mgI			

## TC SENOS PARANASALES

**PHILIPS** GRUPO HEAD >>>> SENOS PARANASALES

**SIEMENS** GRUPO CABEZA >>>> SENOS ORBITAS



¡ATENCIÓN! Puede realizarse **TC DE SENOS DE BAJA DOSIS** REDUCIENDO A 50 mAs.

# CT angiography protocols with MDCT: a guide to reduce radiation and contrast needs.



*J Arenas, MBBS; E Garcia-Garrigos; M Guirau-Rubio; J De La Hoz; Y Aviles*

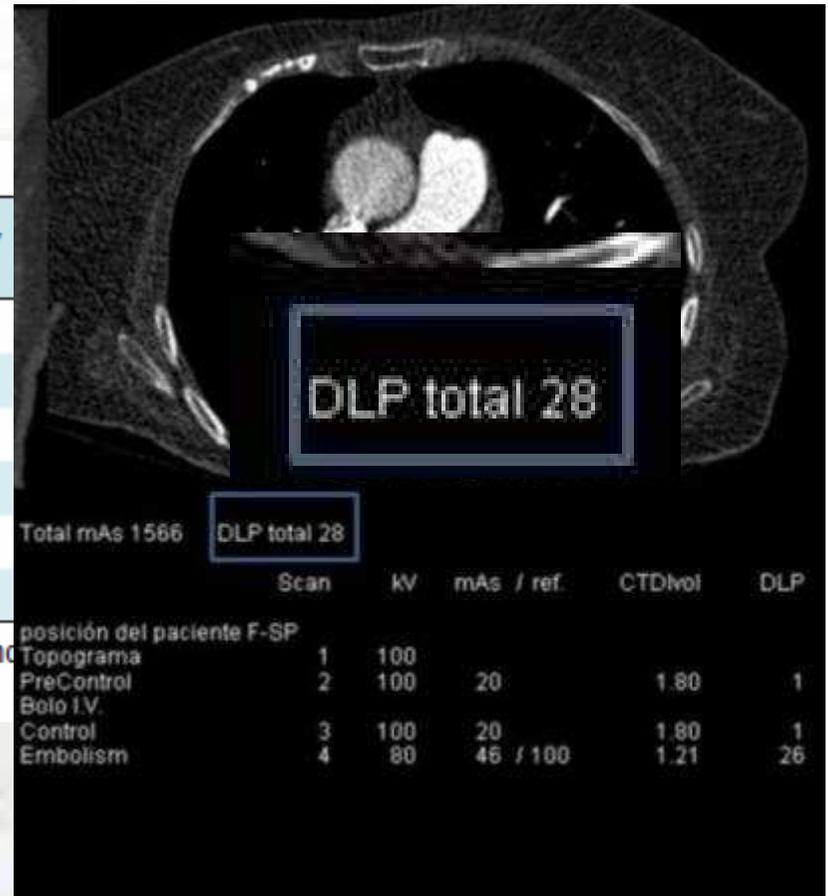
Department of Radiology  
Hospital General Universitario de Alicante  
Alicante  
SPAIN



**Table 5. Diagnostic Reference Levels of CT Examinations in Adults**

Examination	Dose Parameter	European, 2000	UK, 2003	Germany, 2006
Head CT	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	60	100	60
	DLP (mGy·cm)	1050	930	1100
Chest CT	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	30	14	10
	DLP (mGy·cm)	650	580	345
Abdominal CT	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	35	13	15
	DLP (mGy·cm)	780	560	980

**Note.**— ACR = American College of Radiology, CTDI<sub>w</sub> = weighted CT dose index, ICRP = International Commission on Radiological Protection, Atomic Energy Agency



## Standard FBP

Coronal reformation using standard filtered back projection.



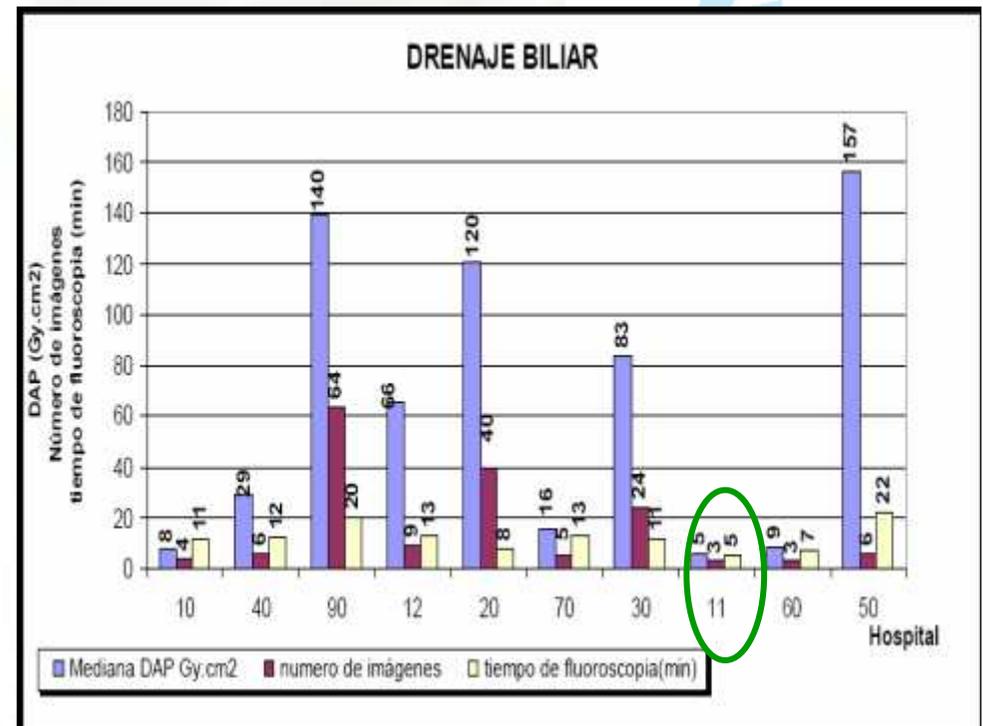
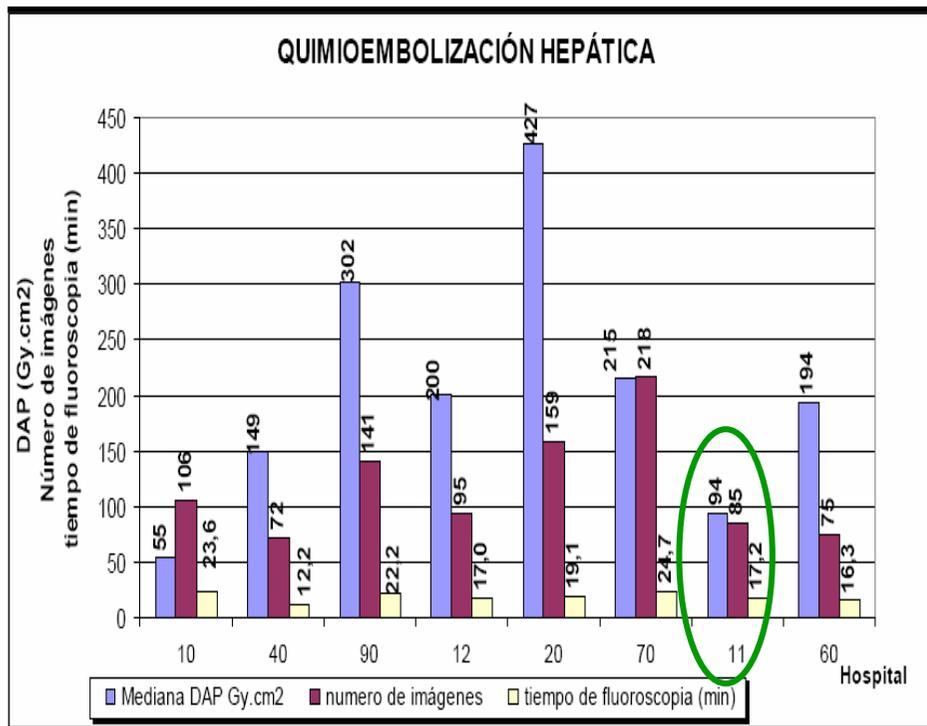
## IRIS at 60% lower dose

Despite the fact that the middle image was acquired at 60% lower dose it shows the same low noise compared to the original acquisition and similar noise texture of the images maintaining a well-established image impression.



# ¿qué hacemos los radiólogos del HGUA para minimizar la dosis de radiación?

## Estudio SENTINEL

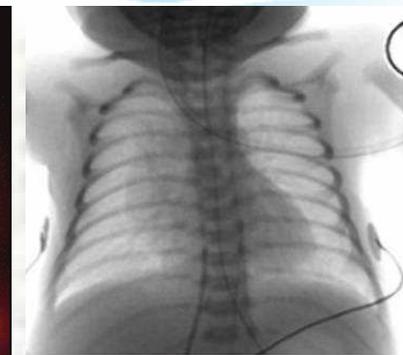


# ¿qué hacemos los radiólogos del HGUA para minimizar la dosis de radiación?

- Reducción de dosis es imperativa en niños
  - El daño que pueden producir las radiaciones al feto humano se dan a dosis umbrales muy bajas (0,1 Gy)
  - Gran radiosensibilidad de sus células.
  - Mayor esperanza de vida para un potencial desarrollo de cánceres radioinducidos.



**Importante esfuerzo en el establecimiento de protocolos pediátricos específicos**



# ¿qué hacemos los radiólogos del HGUA para minimizar la dosis de radiación?

**EDUCACIÓN  
PROFESIONAL**

Preguntas y respuestas sobre  
los efectos carcinógenos de  
las pruebas de imagen.

David Londoño Mejía  
R3 Radiodiagnóstico  
H.G.U.A.

GENERALITAT VALENCIANA  
CONSELLERIA DE SANITAT

AGÈNCIA VALENCIANA  
DE SALUT

GENERALITAT VALENCIANA  
CONSELLERIA DE SANITAT

AGÈNCIA VALENCIANA  
DE SALUT

# AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT

- INTRODUCCIÓN
- ¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?
- ¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?
- ¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?
- ¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?
- ¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- **¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?**
- CONCLUSIONES



# ¿qué pueden hacer los peticionarios para minimizar la dosis de radiación?

- Es clave el solicitante en minimizar la dosis
- La prueba que más radiación provoca es aquella no indicada

### ¿qué hacemos los radiólogos del HGUA para minimizar la dosis de radiación?

- Reducción de dosis es imperativa en niños
  - El daño que pueden producir las radiaciones al feto humano se dan a dosis umbrales muy bajas (0,1 Gy)
  - Gran radiosensibilidad de los células.
  - Mayor esperanza de vida para un potencial desarrollo de cánceres radioinducidos.

Importante esfuerzo en el establecimiento de protocolos pediátricos específicos.



### CT angiography protocols with MDCT, a guide to reduce radiation and contrast needs.

RSNA 2013

Alfonso, M.D., E. García-Olivero, E. Gómez-Ribera, J. De la Haza, P. Acosta

Department of Radiology  
Hospital General Universitario de Alicante  
Alicante  
Spain



### Standard TEP

Standard PET

SDS: el 60% lower dose



### ¿qué hacemos los radiólogos para minimizar la dosis de radiación?

Criterios ALARA  
As Low As Reasonable Achievable

- **Parámetros básicos de la TC**
- **Potencial del tubo**
- **Modulación de la corriente del tubo**



# CORRECTA INDICACIÓN DE PRUEBAS

- Son pruebas complementarias útiles aquellas cuyo resultado —positivo o negativo— contribuye a **modificar la conducta** diagnóstico-terapéutica del médico o a confirmar su diagnóstico.
- Muchas pruebas radiológicas no cumplen estos cometidos, y exponen **innecesariamente** a los pacientes a la radiación.



*REAL DECRETO 815/2001, de 13 de julio,  
sobre justificación del uso de las radiaciones  
ionizantes para la protección radiológica de  
las personas con ocasión de exposiciones  
médicas*



## Artículo 2. *Justificación general de las exposiciones médicas.*

Las exposiciones médicas deberán proporcionar un **beneficio** neto suficiente frente al **detrimento** individual que pueda causar la exposición.

...

También se considerará la eficacia, los beneficios y los riesgos de **otras técnicas alternativas** disponibles que no requieran exposición a las radiaciones ionizantes o impliquen una exposición menor.



*REAL DECRETO 815/2001, de 13 de julio,  
sobre justificación del uso de las radiaciones  
ionizantes para la protección radiológica de  
las personas con ocasión de exposiciones  
médicas*

Artículo 3. ***Procedimientos previos para la justificación de las exposiciones  
médicas.***

Tanto el Médico prescriptor como el Radiólogo deberán obtener información diagnóstica anterior o informes médicos relevantes y tendrán en cuenta estos datos para evitar exposiciones innecesarias.

Cuando esta utilización sea necesaria, deberán solicitar el **mínimo** número de estudios o proyecciones indicadas para el diagnóstico

Quedan **prohibidas** las exposiciones médicas que no puedan justificarse.

*as causas principales de la utilización innecesaria de la radiología*

.Repetir pruebas que ya se habían realizado

.Pedir pruebas complementarias que seguramente no alterarán la atención al paciente.

.Pedir pruebas con demasiada frecuencia sin dejar evolucionar a la enfermedad

.Pedir pruebas inadecuadas



- Tanto el Médico **prescriptor** como el **radiólogo** deberán involucrarse en el proceso de justificación al nivel adecuado a su responsabilidad.
- En el caso de la TC es muy importante asegurar el principio de justificación, ya que se estima que al menos un **25 % de las TC pueden no estar justificadas**, bien por haber una exploración alternativa o por ser innecesarias.



Thursday, January 16, 2014 | 19:41:46 CET

## Why is CT Radiation Risk Always in the News?

By Madan M. Rehani, PhD

Director of Radiation Protection, European Society of Radiology



por:  
millones de TAC al año.  
Los médicos denuncian  
los peligros



# Algunas reflexiones sobre petición de pruebas

## ¿Son todas estas peticiones de TC siempre necesarias?

- TC craneal urgente en TCE leve
- TC craneal urgente en cefaleas crónicas reagudizadas
- TC craneal en epilepsia conocida
- TC craneal urgente en cuadros neurológicos que **seguro** precisarán una RM (*debut de esclerosis múltiple, encefalitis en niños, ...*)
- TC abdominales en dolores abdominales en pacientes jóvenes no diagnosticado en primera instancia con ecografía
- TC abdominales en enfermos de Crohn complicados con ecografía previa
- Angio-TC pulmonar urgente en pacientes con muy baja probabilidad de TEP

## Algunas reflexiones sobre petición de pruebas

- ¿Debe un residente “pequeño” pedir pruebas radiológicas de alta radiación sin supervisión?
- ¿Debe un facultativo decir que se pidan pruebas radiológicas de alta radiación sin ver al paciente?
- ¿Por qué hay tanta disparidad entre facultativos en el número de petición de estudios?

# ¿qué pueden hacer los peticionarios para minimizar la dosis de radiación?

- Las exploraciones sólo deben solicitarse cuando sus resultados van a **modificar el manejo** del paciente.
- Evitar exploraciones **múltiples o repetitivas**.

nes.

Modalid...	Parte del cuerpo	Fecha y hora	Estado
CT	TC CRANEO/F...	11/06/2008, 10:00:29	Citado
CT	TC CRANEO/F...	07/06/2008, 9:39:49	Citado
CT	TC CRANEO/F...	28/05/2008, 18:03:53	Citado
CT	TC CRANEO/F...	14/03/2008, 16:47:02	Citado
CT	TC CRANEO/F...	29/02/2008, 16:07:58	Citado
CT	TC CRANEO/F...	18/02/2008, 17:17:45	Citado
CT	TC CRANEO/F...	03/02/2008, 20:22:05	Citado
CT	TC CRANEO/F...	30/01/2008, 18:24:00	Citado
CT	TC CRANEO/F...	21/01/2008, 15:34:23	Citado
CT	TC CRANEO/F...	11/01/2008, 18:39:51	Citado
CT	TC CRANEO/F...	03/01/2008, 20:39:44	Citado

• **Se realizaron 11 TC de cráneo en un periodo de 6 meses.**

• **2,3 mSv x 11 TC cráneo**

**25,3 mSv.**

# The *Choosing Wisely* Initiative of the American Board of Internal Medicine Foundation: What Will Its Impact Be on Radiology Practice?

Vijay M. Rao<sup>1</sup>  
David C. Levin<sup>1,2</sup>

*AJR* 2014; 202:358–361

**OBJECTIVE.** The *Choosing Wisely* initiative is a large-scale effort to reduce the use of unnecessary tests and procedures, many of which involve imaging.

**CONCLUSION.** By identifying specific tests and procedures that are often overused, unnecessary, inappropriate, or ineffective, *Choosing Wisely* places the onus on physicians to reduce their use.

The logo for the Choosing Wisely initiative. It features a vertical stack of four colored squares (yellow, green, blue, purple) to the left of the text "Choosing Wisely" in a bold, black, sans-serif font. A registered trademark symbol (®) is located to the right of the word "Wisely".

**Choosing  
Wisely**®

*An initiative of the ABIM Foundation*

<http://www.choosingwisely.org/>

The logo for the Generalitat Valenciana, featuring a red shield with a white crown on top, followed by the text "GENERALITAT VALENCIANA" and "CONSELLERIA DE SANITAT" in a black, sans-serif font.

GENERALITAT VALENCIANA  
CONSELLERIA DE SANITAT

The logo for the Agència Valenciana de Salut, featuring a stylized "AV" in blue and red, followed by the text "AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT" in a black, sans-serif font.

AGÈNCIA VALENCIANA  
DE SALUT



# AGÈNCIA VALENCIANA DE SALUT

- INTRODUCCIÓN
- ¿QUE ES LA RADIACIÓN IONIZANTE?
- ¿CUALES SON SUS EFECTOS BIOLÓGICOS?
- ¿CÓMO SE REALIZA LA ESTIMACIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER?
- ¿HAY EVIDENCIAS CIENTÍFICAS DE EFECTOS CARCINOGENÉTICOS DE LA RADIACIÓN CON FINES DIAGNÓSTICOS?
- ¿QUÉ HACEMOS LOS RADIÓLOGOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- ¿QUÉ PUEDEN HACER LOS PETICIONARIOS PARA MINIMIZAR LA DOSIS DE RADIACIÓN?
- **CONCLUSIONES**



# CONCLUSIONES

- La exposición a radiaciones ionizantes se ha demostrado que **aumenta el riesgo** de desarrollar cánceres sólidos o leucemia en el futuro.
- Los niños y jóvenes son la población mas **vulnerable** a desarrollar tumores radioinducidos debido a la inmadurez de sus células y a su larga esperanza de vida.
- Los servicios de Radiología deben utilizar **protocolos adecuados** para cada prueba y evaluar las características de cada paciente para optimizar los estudios y minimizar la dosis de radiación recibida.
- Toda prueba de imagen debe estar correctamente **indicada** y **justificada** para que el beneficio para el paciente sea mayor que el riesgo que conlleva la irradiación.

ES CLAVE LA CONCIENCIACIÓN DEL MÉDICO PETICIONARIO EN ESTE ASPECTO

# AGRADECIMIENTOS

- Servicio de Radiodiagnóstico H.G.U.A.  
– *Dr. Juan Arenas Jiménez*



# GRACIAS

AGÈNCIA  
VALENCIANA  
DE SALUT

Hospital General Universitari d'Alacant y C.I.E. Elibet



"Your x-ray showed a broken rib,  
but we fixed it with Photoshop."

CIANA  
CONSELLERIA DE SANITAT

AGÈNCIA  
VALENCIANA  
DE SALUT

