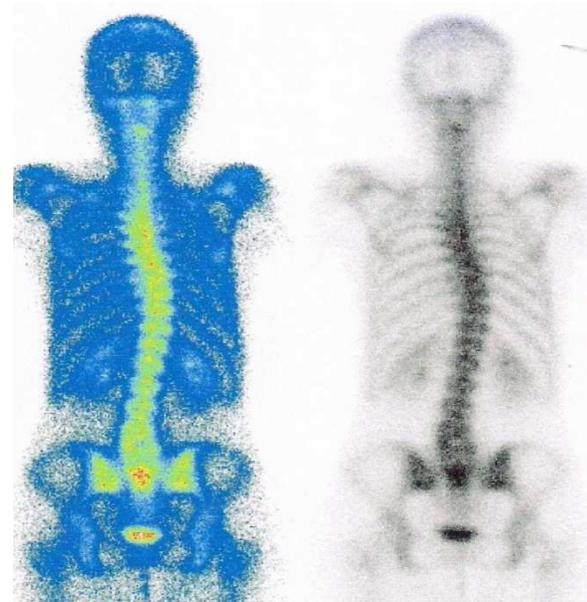


# DOSIMETRÍA EN MEDICINA NUCLEAR



5ª Jornada de Residentes

# INDICE

- Introducción cálculo dosis.
- Historia en dosimetría nuclear.
- Formalismo MIRD.
- Programas estimación dosis:
  - MIRDSE
  - Comparación versión 2 y 3.
  - OLINDA/EXM
  - Otros.
- Ideas importantes.
- Bibliografía.



## INTRODUCCIÓN CÁLCULO DOSIS

- 1975, Medical Radiation Dose Committee (MIRD), from Society Nuclear Medicine (SNM).
- Formalismo MIRD.

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$



## INTRODUCCIÓN CÁLCULO DOSIS

- 1975, Medical Radiation Dose Committee (MIRD SNM).
- Formalismo MIRD.

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$

Actividad  
acumulada



## INTRODUCCIÓN CÁLCULO DOSIS

- 1975, Medical Radiation Dose Committee (MIRD SNM).
- Formalismo MIRD.

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$

Espectro del  
radioisótopo

## INTRODUCCIÓN CÁLCULO DOSIS

- 1975, Medical Radiation Dose Committee (MIRD SNM).
- Formalismo MIRD.

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$

Fracción de energía  
absorbida



$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$

- Valores “S”

$$S(r_k \leftarrow r_h) = \sum_i \Delta_i \Phi_i(r_k \leftarrow r_h)$$

- Dosis media absorbida:

$$\bar{D}(r_k \leftarrow r_h) = \tilde{A}_h S(r_k \leftarrow r_h)$$



$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(\Gamma_k \leftarrow \Gamma_j)_i}{m_k}$$

Fracción de energía absorbida por órgano objetivo para un órgano fuente

- Valores “S”

$$S(\Gamma_k \leftarrow \Gamma_h) = \sum_i \Delta_i \Phi_i(\Gamma_k \leftarrow \Gamma_h)$$

Fracción de energía absorbida específica

- Dosis media absorbida:

$$\bar{D}(\Gamma_k \leftarrow \Gamma_h) = \tilde{A}_h S(\Gamma_k \leftarrow \Gamma_h)$$



## INTRODUCCIÓN CÁLCULO DOSIS

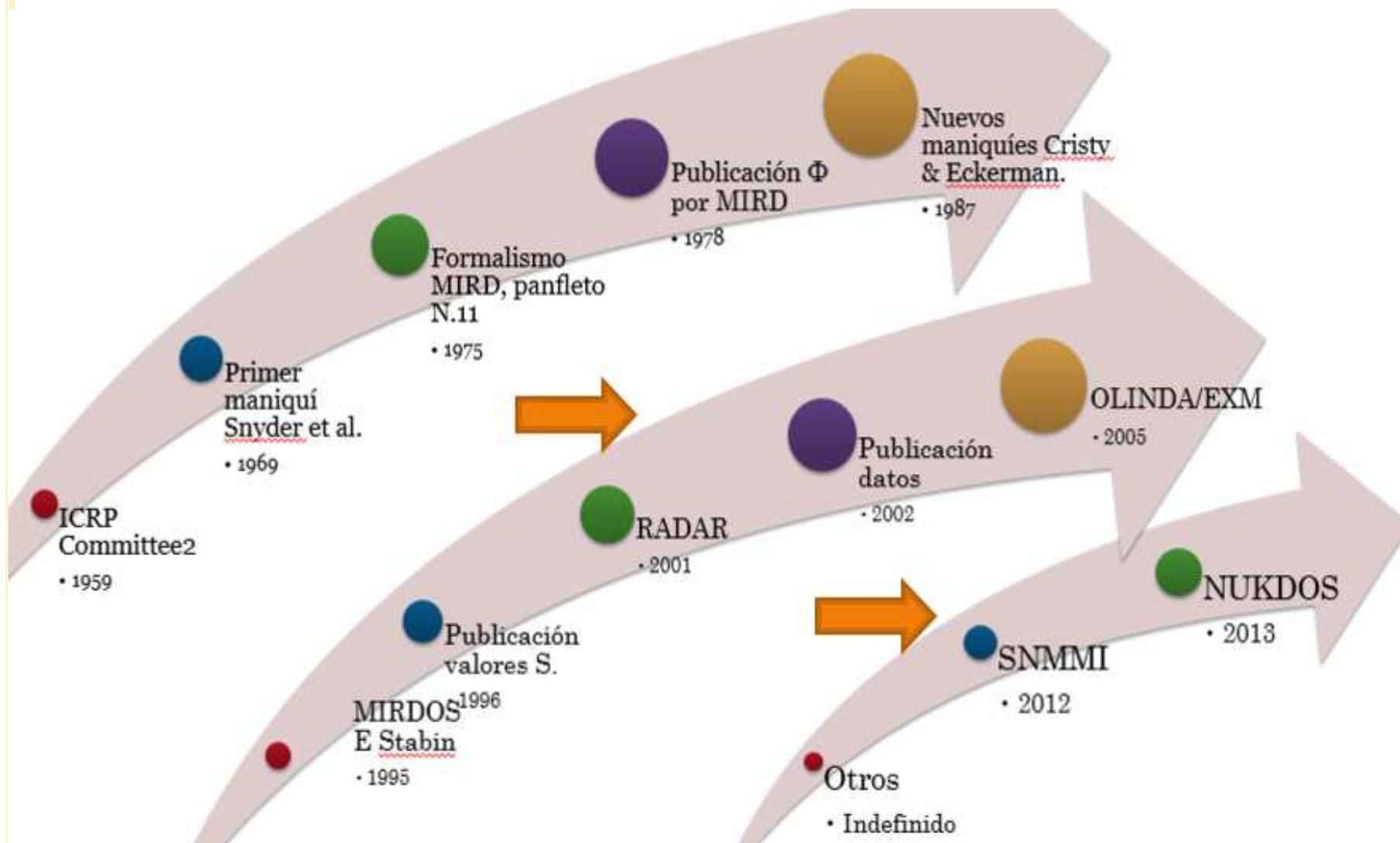
- 1975, Medical Radiation Dose Committee (MIRD).
- Formalismo MIRD.

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$

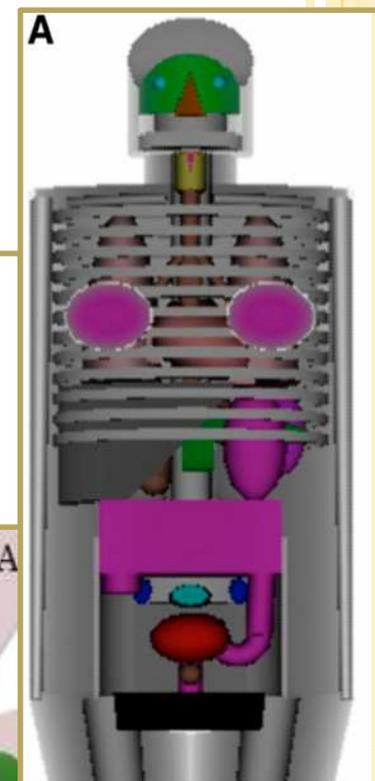
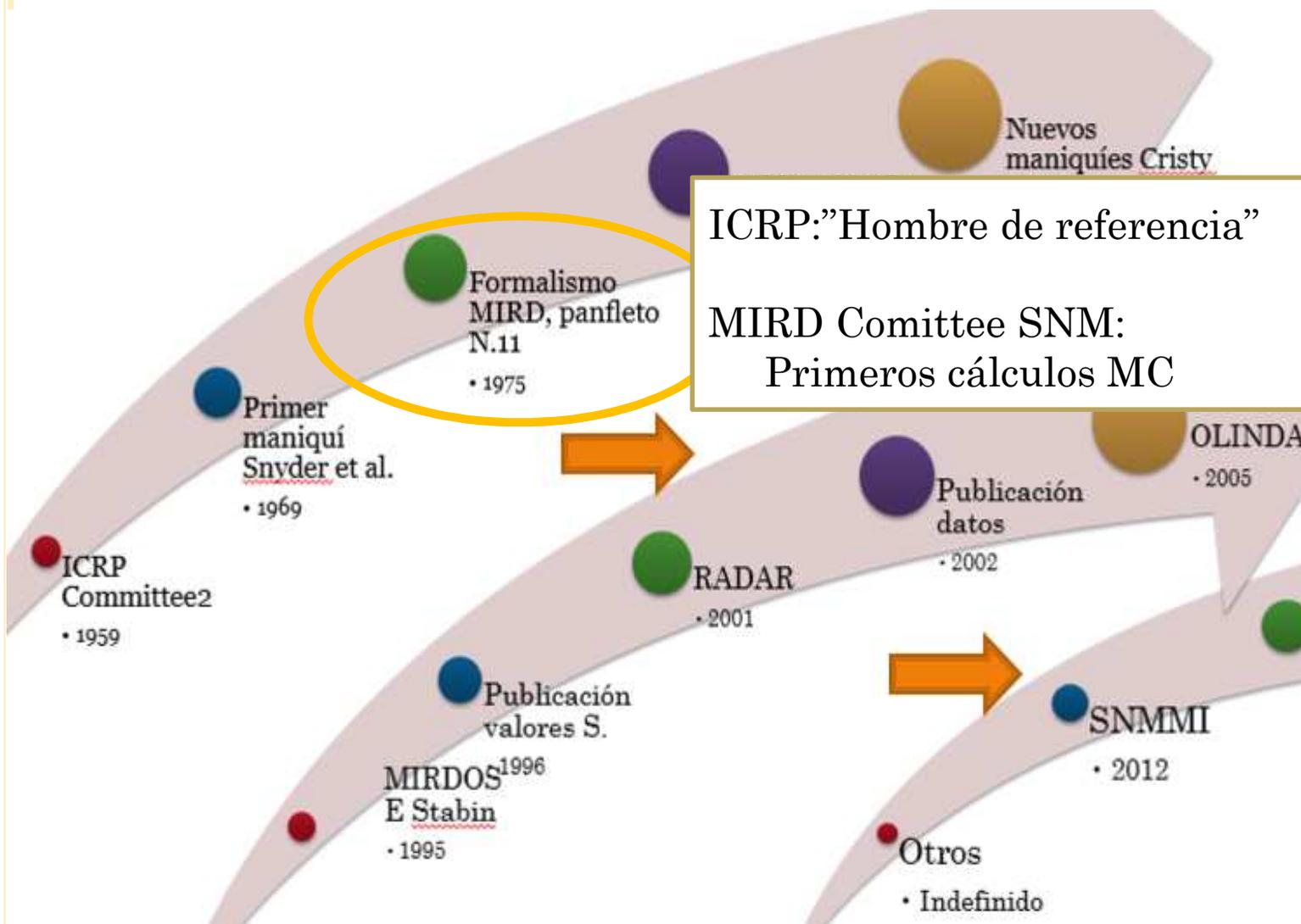
⇒ **IMPORTANTE**: Asume distribuciones de actividad homogéneas en los órganos.



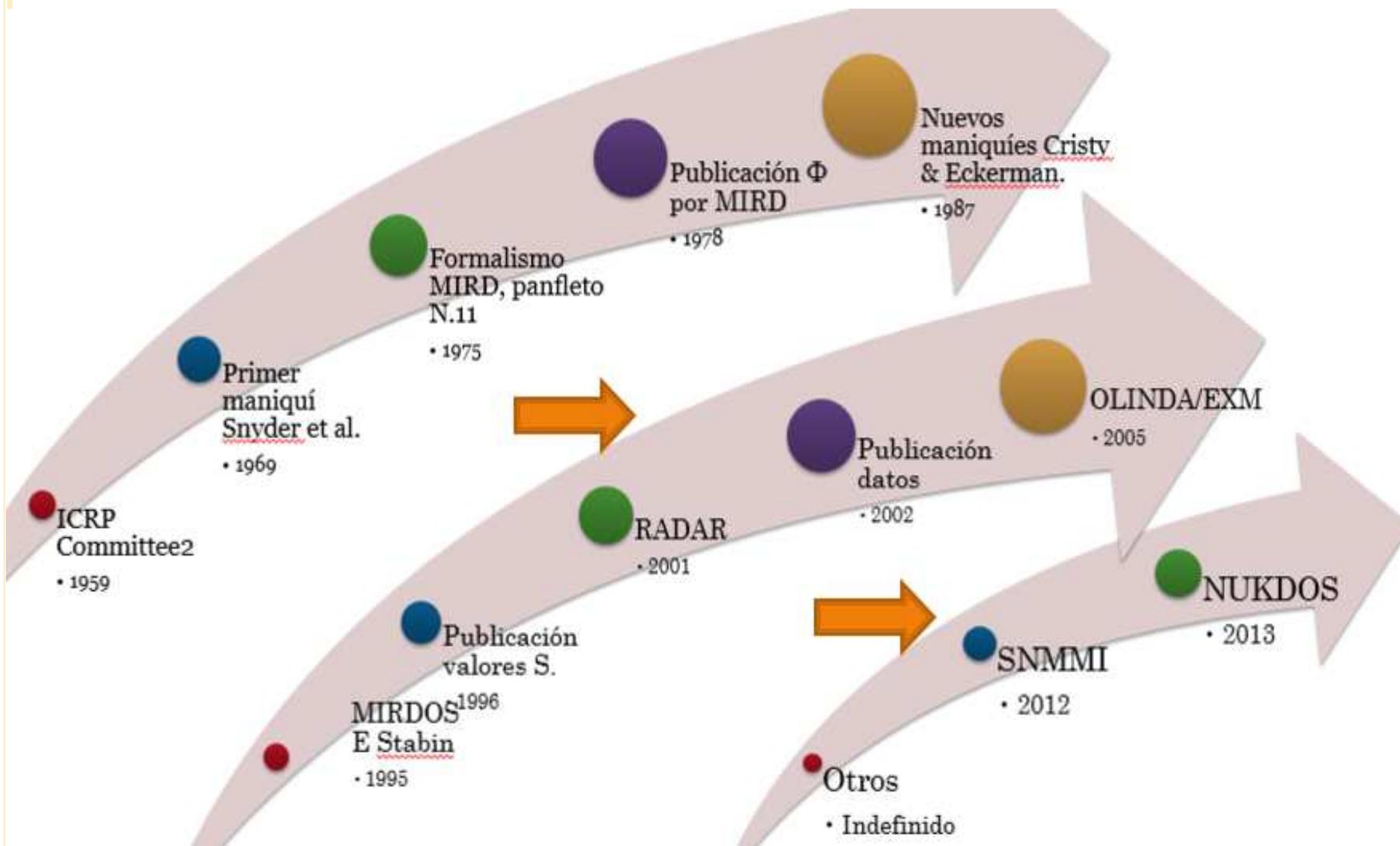
# HISTORIA EN DOSIMETRÍA NUCLEAR



# HISTORIA EN DOSIMETRÍA NUCLEAR

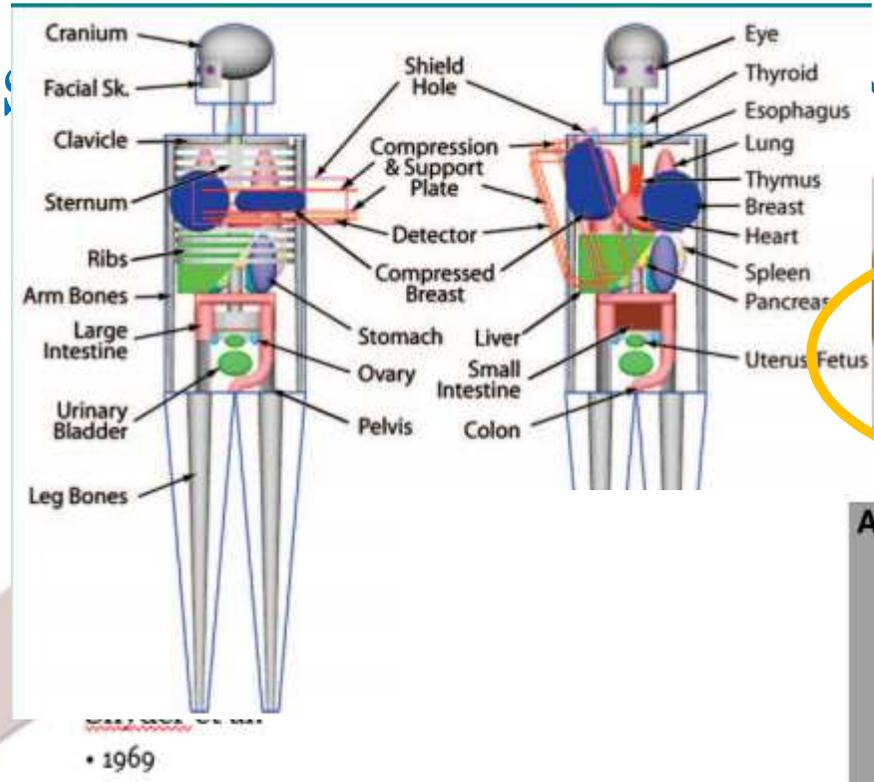


# HISTORIA EN DOSIMETRÍA NUCLEAR



HIS

NUCLEAR



Nuevos maniqués Cristy & Eckerman.  
• 1987

ICRP Committee2  
• 1959

MIRDOŠ  
E Stabin  
• 1995

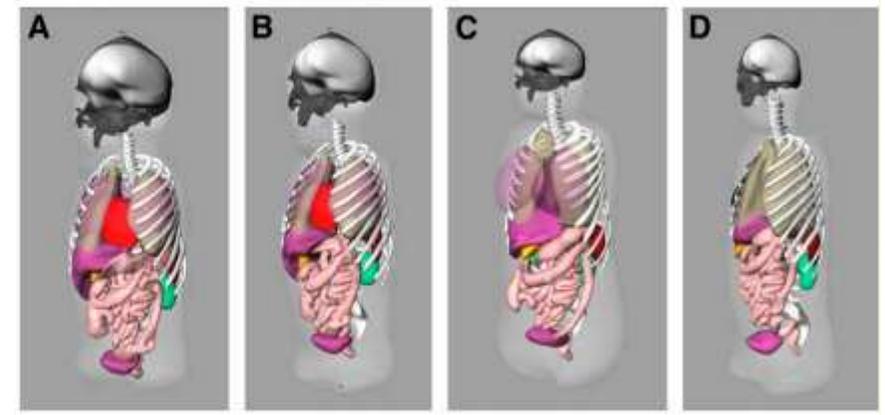


FIGURE 3. Rendering of selected NURBS ICRP 89 phantoms: newborn female model (A), 5-y-old male model (B), 10-y-old female model (C), and 15-y-old male model (D).

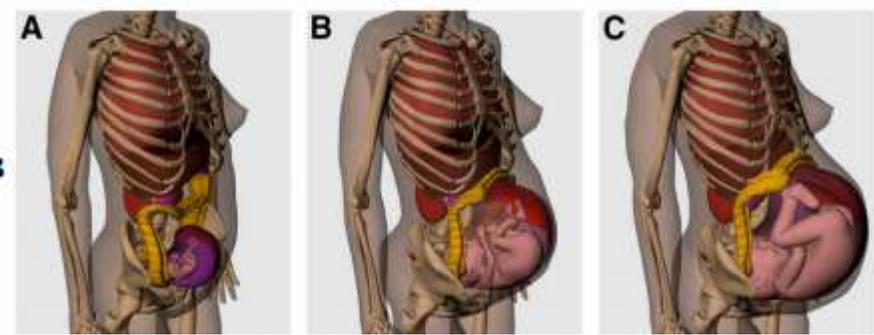
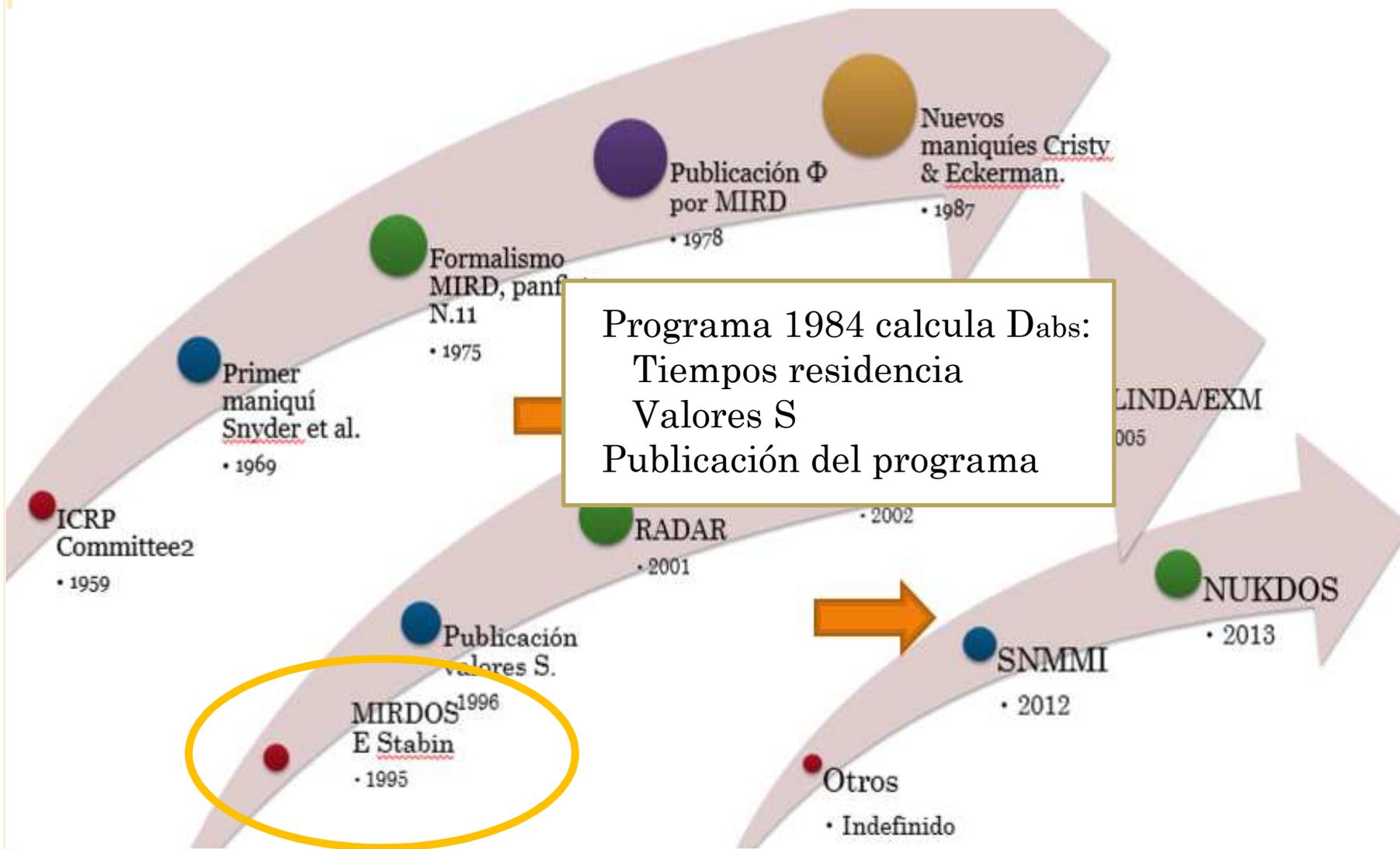


FIGURE 4. Rendering of 3-dimensional organ and body surfaces for RPI pregnant female models: 3 mo (A), 6 mo (B), and 9 mo (C).

# HISTORIA EN DOSIMETRÍA NUCLEAR





# LA NUCLEAR

Keith F. Eckerman, Ph.D.  
Oak Ridge National Laboratories  
Oak Ridge, TN, USA  
[Click for bio](#)

Glenn D. Flux, Ph.D.  
Royal Marsden Hospital & Institute of Cancer  
Research  
Sutton, UK  
[Click for bio](#)

John Hunt, Ph.D.  
Comissao Nacional de Energia Nuclear  
Rio de Janeiro, RJ, BR  
[Click for bio](#)

Carol S. Marcus, MD, Ph.D.  
Harbor-UCLA Medical Center  
Los Angeles, CA, USA  
[Click for bio](#)

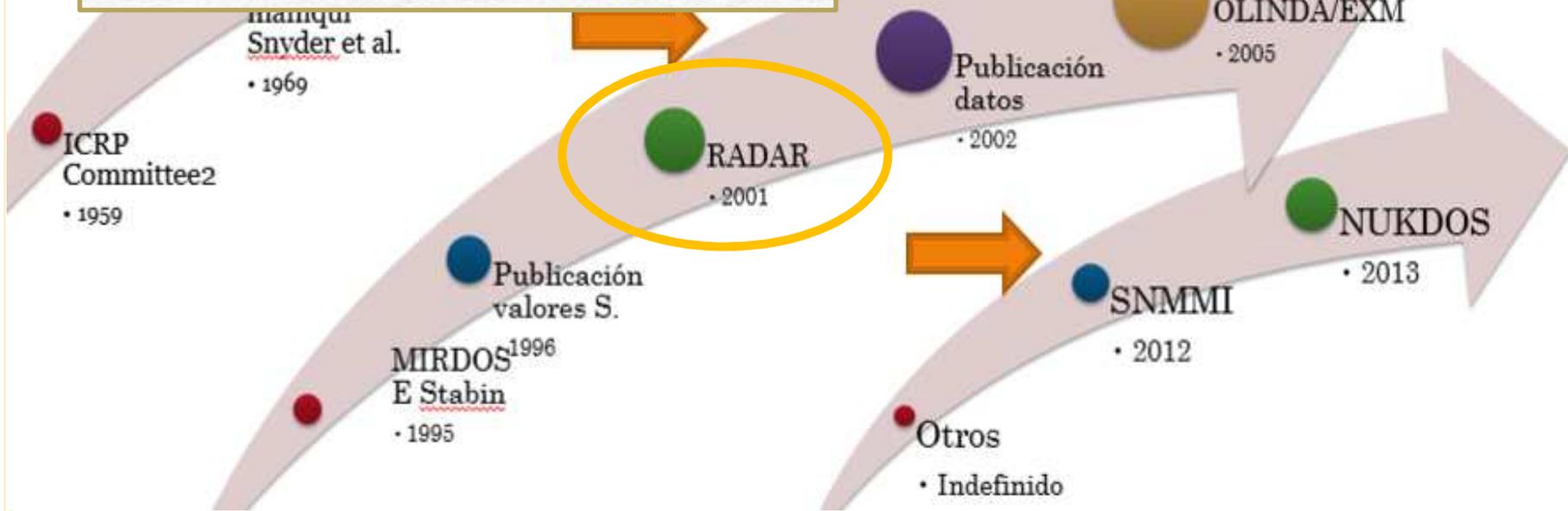
Jeffry A. Siegel, Ph.D.  
(RADAR Vice-President)  
Nuclear Physics Enterprises  
Marlton, NJ, USA  
[Click for bio](#)

Michael Stabin, Ph.D., C.H.P.  
(RADAR President)  
Vanderbilt University  
Nashville, TN, USA  
[Click for bio](#)

Toshihide Ushino, CHP  
Environmental Health and Safety  
University of California, Los  
Angeles  
501 Westwood Plaza, 4th Floor  
Los Angeles, CA 90095-1605,  
USA  
[Click for bio](#)

George X Xu, Ph.D.  
Dept of Nuclear Engineering  
Rensselaer Polytechnic Institute  
NES Bldg/Tibbit Ave  
Troy, NY 12180-3590, USA  
[Click for bio](#)

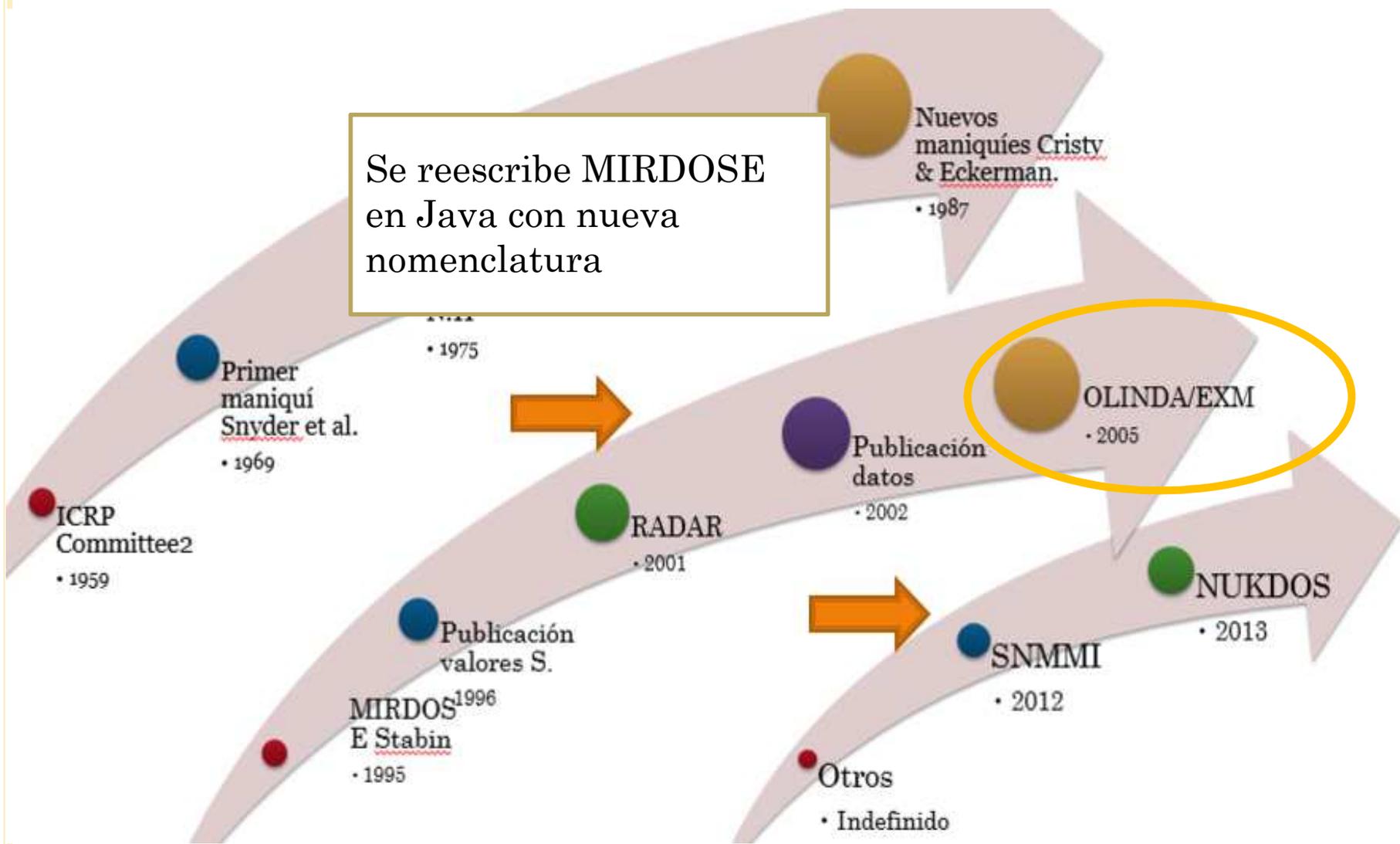
**RA**diation Dose Assessment  
Resource  
Cambio nomenclatura



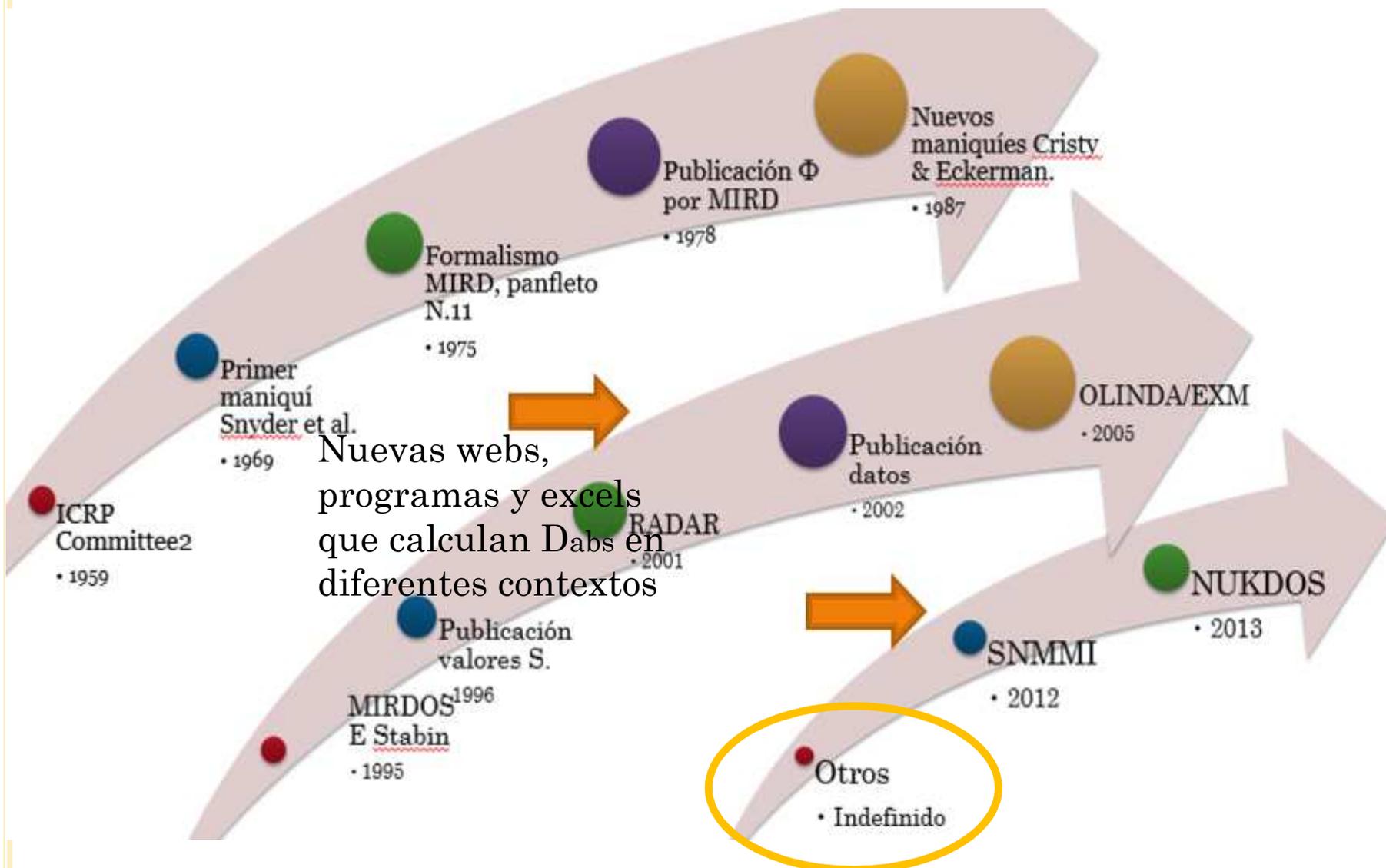
# HISTORIA EN DOSIMETRÍA NUCLEAR



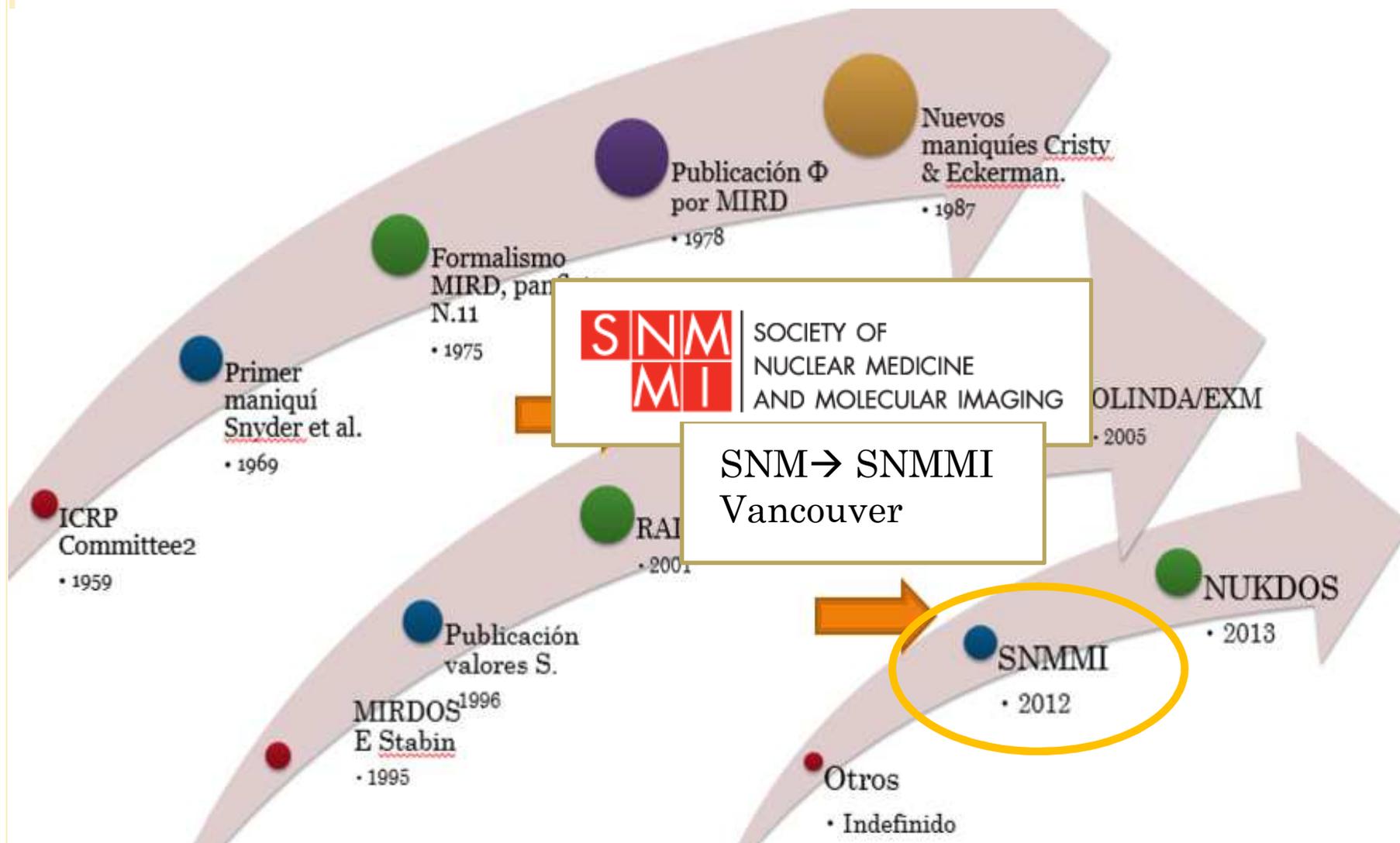
Se reescribe MIRDose en Java con nueva nomenclatura



# HISTORIA EN DOSIMETRÍA NUCLEAR



# HISTORIA EN DOSIMETRÍA NUCLEAR



## FORMALISMO MIRD, 1975

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \underbrace{\sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}}_{\text{bracketed term}}$$

○ Estimación dosis media absorbida:

- Tabular  $\varphi$  ó  $\Phi$
- Tabular espectro radionúclidos.



Tabular  
“valores S”



# FORMALISMO MIRD, 1975

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$

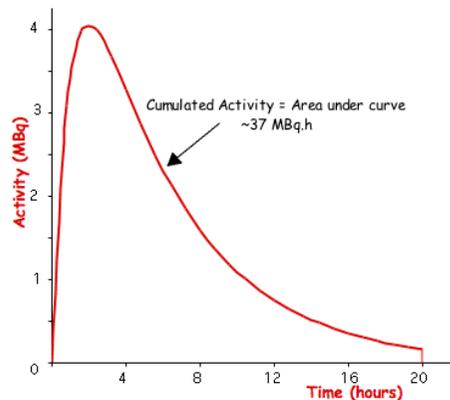
○ Estimación dosis media absorbida:

- Tabular  $\varphi$  ó  $\Phi$
- Tabular espectro radionúclidos.
- Calcular tiempos residencia.

Tabular  
"valores S"

$$A(t) = a_1 e^{-b_1 t} + a_2 e^{-b_2 t} + \dots$$

$$\tau = \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \dots$$



# desintegraciones



## ○ Valores S

- Distribución actividad de forma homogénea.
- Maniquí panfleto #5 + modificaciones.

## ○ Distinto cálculo para emisores $\Upsilon$ ó $\beta$ .



- Limitaciones formalismo MIRD:
- Asume distribuciones homogéneas actividad.



- Limitaciones formalismo MIRD:
- Asume distribuciones homogéneas actividad.
- Valores S
  - tabulados a partir de interpolaciones de cálculos MC hechos con aproximaciones para emisores gamma.
  - Aproximación de  $\Phi$  para emisores beta.



- Limitaciones formalismo MIRD:
- Asume distribuciones homogéneas actividad.
- Valores S
  - tabulados a partir de interpolaciones de cálculos MC hechos con aproximaciones para emisores gamma.
  - Aproximación de  $\Phi$  para emisores beta.
- Masas órganos corresponden a “hombre referencia” de 70 kgs.



## MIRDOSE STABIN

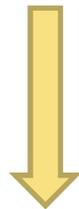
- Basado en formalismo MIRD.
- Creado en 1984.
- 59 radioisótopos.
- Lenguaje: VisualBasic (Windows)
- No se describe públicamente el programa.



## MIRDOSE STABIN



- Basado en formalismo MIRD.
- Creado en 1984.
- 59 radioisótopos.
- Lenguaje: VisualBasic (Windows)
- No se describe públicamente el programa.
- Calcula  $D_{abs}$



- 1995: Publicación de diferencias entre versión 2 y 3.



**TABLE 8**  
 Comparison of MIRDOSE Versions 2 and 3 Results: Photon and  
 Electron Emitter in Several Organs: Technetium-99m-MIBI\*

Target organ	Estimated radiation dose (mGy/MBq)	
	MIRDOSE 2	MIRDOSE 3
Adrenals	6.26E-03	6.25E-03
Brain	1.83E-03	1.83E-03
Breasts	1.85E-03	1.85E-03
Gallbladder wall	2.96E-02	2.96E-02
LLI wall	4.19E-01	4.20E-01
Small intestine	7.11E-02	7.09E-02
Stomach	1.28E-02	1.28E-02
ULI wall	1.70E-01	1.70E-01
Heart wall	4.96E-03	4.95E-03
Kidneys	2.31E-02	2.31E-02
Liver	8.21E-03	8.19E-03
Lungs	2.75E-03	2.75E-03
Muscle	8.82E-03	8.81E-03
Ovaries	6.25E-02	6.24E-02
Pancreas	8.78E-03	8.77E-03
Red marrow	1.25E-02	1.24E-02
Bone surfaces	1.30E-02	1.31E-02
Skin	3.40E-03	3.39E-03
Spleen	8.63E-03	8.62E-03
Testes	7.91E-03	7.90E-03
Thymus	2.46E-03	2.46E-03
Thyroid	2.22E-03	2.22E-03
Urinary bladder wall	5.37E-02	5.37E-02
Uterus	3.39E-02	3.39E-02
Total body	1.08E-02	1.07E-02
Effective dose equivalent	6.31E-02 <sup>†</sup>	6.31E-02



## RADAR 2001

- **R**Adiation **D**ose **A**ssessment **R**esource.
- Nuevos radioisótopos.
- Actualizan correcciones.
- Incluyen 4 maniquíes de mujeres embarazadas.
- **Publican nuevos datos (2002).**
  
- <http://www.doseinfo-radar.com/>



## 2002, CAMBIO NOMENCLATURA RADAR

- Antes:

$$D = \tilde{A} \times S = A_0 \times \tau \times S$$

- Después:

$$D = N \times DF$$

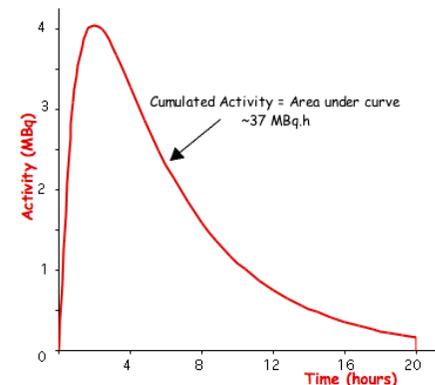


# OLINDA/ EXM 2005

- MIRDOSE presenta problemas al actualizar a versión 2000 Windows.
- FDA prohíbe su circulación.
- Se reescribe el código en JAVA con nueva nomenclatura →
  - OLINDA: Organ Level Internal Dose Assessment.
  - EXM: Exponential Modelling.

$$A(t) = a_1 e^{-b_1 t} + a_2 e^{-b_2 t} + \dots$$

$$\tau = \frac{a_1}{b_1} + \frac{a_2}{b_2} + \dots$$



- Comparación resultados OLINDA/EXM y MIRDOSE:
- Diferencias < 1-2 % ✓
- Mayores en:
  - Hueso y médula roja (cambios en  $\Phi$ ).
  - Dosis de piel a piel: Menor en OLINDA/EXM. Se corrige el código de MIRDOSE.  
Ojo: Ninguno calcula  $D_{\text{piel}}$  por contaminación o extravasación.
- **VARSKIN (RADAR)\***



- Cambios respecto a MIRDOSE:
- Permite introducir # desintegraciones.
- Permite introducir masa órgano fuente.
- Se incluyen emisores  $\alpha$ .
- Muestra contribución a D por diferentes tipos emisores.
- Con nuevos DF (valores S) da la opción de multiplicar  $A_{\text{administrada}} \times D/\text{unidad actividad}$  para diferentes órganos.
  - Excel SEFM\*
- Nuevos valores  $\Phi \rightarrow$  Actualización modelos cálculo/cinéticos.



## ○ Limitaciones OLINDA/EXM:

- Maniqués representan personas sanas.
- Distribución homogénea actividad. No permite calcular gradientes dosis.
- No añade cálculos MC.



Adult Male  
 Adult Female  
 15-year-old  
 10-year-old  
 5-year-old  
 1-year-old  
 Newborn  
 3 month pregnant woman  
 6 month pregnant woman  
 9 month pregnant woman

Prostate Gland  
 Peritoneal Cavity  
 Spheres  
 Head Model  
 Kidney Model

The previously used quantity of residence time was confusing to many users. This was only a measure of the number of disintegrations occurring in a source organ. This code works with the number of disintegrations per unit activity administered (uCi-hr/uCi or Bq-hr/Bq), either entered directly, or as calculated from formulas. This is mathematically equivalent to residence times, but is perhaps easier to understand. You may also enter data from a kinetic model, involving values of activity and half-lives, and fit them to a function.

Enter the **number of disintegrations for the source organs**, or use some of the special options below.

Note: for the Tot BodyRem. Body field - enter value for Rem. Body if any other organ has been chosen.

Adrenals	0.0000	Ovaries	0.0000
Brain	0.0000	Pancreas	0.0000
Breasts	0.0000	Red Mar.	2.9700
GB Cont	0.0000	CorfBone	0.0000
LLI Cont	1.5100	TrabBone	0.0000
SI Cont	1.3300	Spleen	2.0900
StomCont	0.0000	Thymus	0.0000
ULI Cont	1.4600	Thyroid	0.0000
HeartCon	3.7800	UB Cont	0.8880
HrtWall	0.0000	Uterus	0.0000
Kidneys	0.0560	Tot Body/Rem Body	20.9000
Liver	26.9000		
Lungs	3.3000		
Muscle	0.0000		

Bone Activity on Bone Surfaces  
 Bone Activity in Bone Volume

OLINDA - Organ Level Internal Dose Assessment Code (copyright Vanderbilt University, 2003)

NOTE: This code gives doses for stylized models of average individuals - results should be applied with caution to specific subjects.

NOTE: Users should always carefully check input data (shown below) and critically review the reported results.

Organ Doses (mSv/MBq), Nuclide: I-131 (8.02E00 day), Adult Male

Target Organ	Alpha	Beta	Photon	Total	EDE Cont.	ED Cont.
Adrenals	0.00E000	3.15E-02	1.81E-01	2.13E-01	0.00E000	1.06E-03
Brain	0.00E000	3.15E-02	2.43E-02	5.57E-02	0.00E000	2.79E-04
Breasts	0.00E000	3.15E-02	5.83E-02	8.97E-02	1.35E-02	4.49E-03
Gallbladder Wall	0.00E000	3.15E-02	2.84E-01	3.15E-01	0.00E000	0.00E000
LLI Wall	0.00E000	5.86E-01	1.18E-01	7.03E-01	4.22E-02	8.44E-02
Small Intestine	0.00E000	1.74E-01	1.18E-01	2.92E-01	0.00E000	1.46E-03
Stomach Wall	0.00E000	3.15E-02	1.06E-01	1.37E-01	0.00E000	1.65E-02
ULI Wall	0.00E000	3.49E-01	1.58E-01	5.07E-01	3.04E-02	2.53E-03
Heart Wall	0.00E000	4.93E-01	2.15E-01	7.09E-01	4.25E-02	0.00E000
Kidneys	0.00E000	2.08E-02	1.35E-01	1.55E-01	0.00E000	7.77E-04
Liver	0.00E000	1.56E000	5.60E-01	2.12E000	1.27E-01	1.06E-01

Phantom organ masses (g) for the Adult Male

\*\* = Modified by user

Hit <ret> to see changes immediately, or just DONE at end

Next Phantom	Previous Phantom	Next Phantom	Previous Phantom
16.3	Adrenals	94.3	Pancreas
1420.0	Brain	1120.0	Red Marrow
351.0	Breasts	120.0	Osteogenic Cells
10.5	Gallbladder Wall	3010.0	Skin
167.0	LLI Wall	183.0	Spleen
677.0	Small Intestine	39.1	Testes
158.0	Stomach Wall	20.9	Thymus
220.0	ULI Wall	20.7	Thyroid
316.0	Heart Wall	47.6	Urinary Bladder Wall
299.0	Kidneys	79.0	Uterus
1910.0	Liver	0.0	Fetus
1000.0	Lungs	0.0	Placenta
28000.0	Muscle	73700.0	Total Body
8.71	Ovaries		

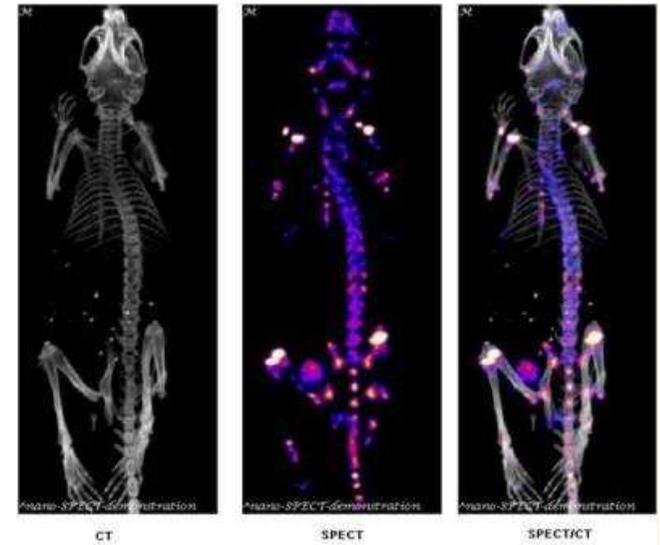
Alpha Weight Factor: 5.0  
 Beta Weight Factor: 1.0  
 Photon Weight Factor: 1.0  
 Multiply all masses by: 1.0

## OTROS SOFTWARES DE ESTIMACIÓN DOSIS:

- Excel SEFM
  - Ficha técnica radiofármacos sacadas de valores  $S \rightarrow D/\text{unidad actividad para 28 \text{ \u00f3rganos.}}$
  - Multiplica por actividad administrada.
- VARSKIN RADAR:  $D_{\text{piel}}$ .  
Incluye c\u00e1lculo por contaminaci\u00f3n.
- INDOSE v2.1.1 2002
  - Web NEA(Nuclear Energy Agency)
  - FORTRAN 90.
- NUKDOS 2013



# NUKDOS 2013



- Basado en formalismo MIRD.
- Lenguaje: MATLAB
- Incluye error standard en estimación dosis, demandado por EANM dosimetry committee (European Association of Nuclear Medicine).
  - Asume propagación Gaussiana en error D.
- Nuevo:
  - **Dabsorbida a partir de imágenes de gammacámaras.**
    - **Usa información del PET/CT ó SPECT/CT.**



## IDEAS IMPORTANTES

- Formalismo MIRD.
- “Estimación” dosis.
- Asume distribución actividad homogénea en los órganos.
- Maniquíes estándar y de personas sanas.
- Ajuste  $\tau$  por exponenciales.

$$D_k = A_0 \sum_j \tau_j \sum_i \frac{\Delta_i \phi(r_k \leftarrow r_j)_i}{m_k}$$



Para todos los softwares disponibles.



## WEBS ESTIMACIÓN DOSIS

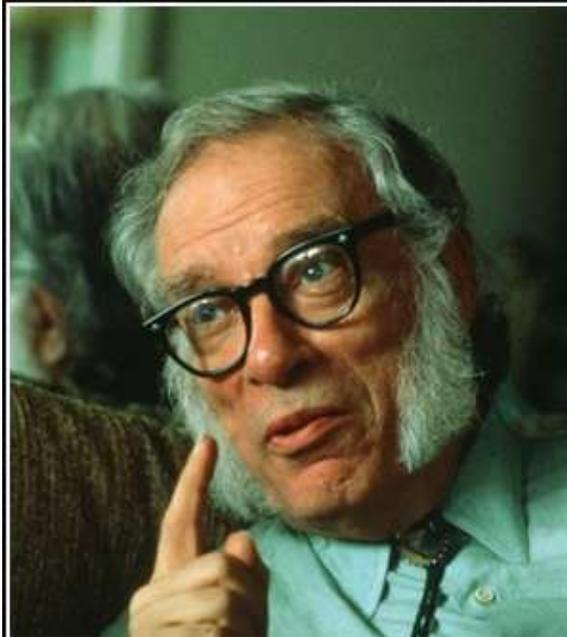
- SNMMI: Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging.
  - <http://www.snmmi.org/ClinicalPractice/doseTool.aspx?ItemNumber=1216&navItemNumber=11218>
- RADAR:
  - <http://www.doseinfo-radar.com/ExposureCalculator.html>
  - <http://www.doseinfo-radar.com/RADARDoseRiskCalc.html>
- SEFM/Aplicaciones:
  - Excels para: dosis en feto y dosis en MN con exploraciones CT incluidas.
- Datos Nuclear Decay:
  - <http://www.nndc.bnl.gov/mird/>



# REFERENCIAS

- W.S. Snyder, Mary R. Ford, G.G. Warner, and S. B. Watson. **MIRD Pamphlet #11: S**, Absorbed Dose per Unit Cumulated Activity for Selected Radionuclides and Organs. 1975; Society of Nuclear Medicine, Reston, VA.
- Stabin MG. **MIRDOSE**: personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine. *J Nucl Med* 37: 538–546
- Stabin MG, Siegel JA. Physical models and dose factors for use in internal dose assessment. *Health Physics Society* 85(3):294-310. October 2003
- Stabin MG, Sparks RB, Crowe E. **OLINDA/EXM**: The second-generation personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine. *J Nucl Med* 2005 Jun;46(6):1023-7.
- Kletting, P.; Schimmel, S.; Kestler, H A.; Hänscheid, H.; Luster, M.; Fernández, M.; Bröer, J H.; Nosske, D.; Glatting, G. Molecular radiotherapy : The NUKFIT software for calculating the time-integrated activity coefficient Molecular radiotherapy : The NUKFIT software for calculating the time-integrated activity coefficient. *Medical Physics* 40, 102504 (2013); doi: 10.1118/1.4820367
- Kletting, P.; Schimmel, S.; Kestler, H A.; Hänscheid, H.; Luster, M.; Fernández, M.; Nosske D.; Glatting, G.; Lassmann M. The NUKDOS software for treatment planning in molecular radiotherapy . *Z Med Phys* 2015 Sep;25(3):264-74. doi: 10.1016/j.zemedi.2015.01.001. Epub 2015 Mar 17.
- <http://www.doseinfo-radar.com/>
- <http://www.snmfi.org> y <http://jnm.snmjournals.org/> (VA)→ Pamphlets publicados.
- <http://www.nndc.bnl.gov/> (NY)
- <http://www.sefm.es/fisica-medica/es/aplicaciones/9>





Radiation, unlike smoking, drinking,  
and overeating, gives no pleasure,  
so the possible victims object.

— *Isaac Asimov* —

