



# DOSIMETRÍA DE PACIENTES EN ADMINISTRACIÓN DE RADIOFÁRMACOS

**Dra. Raquel Barquero**



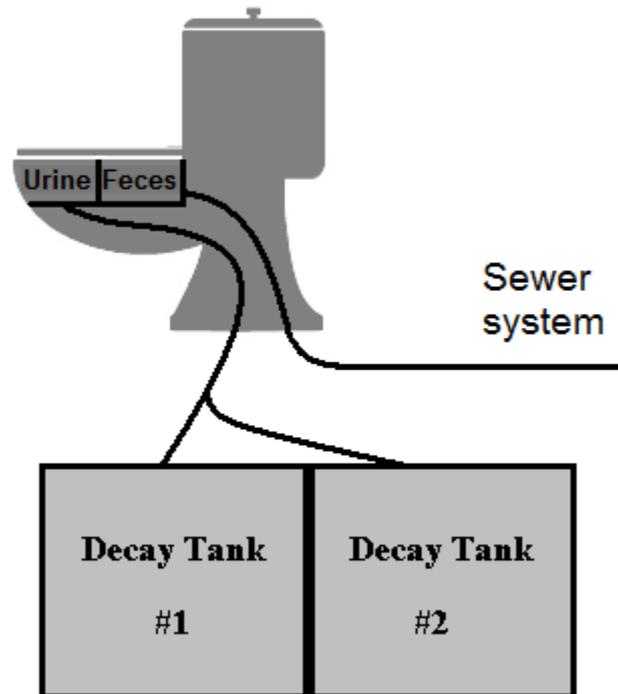
## Para obtener la dosis

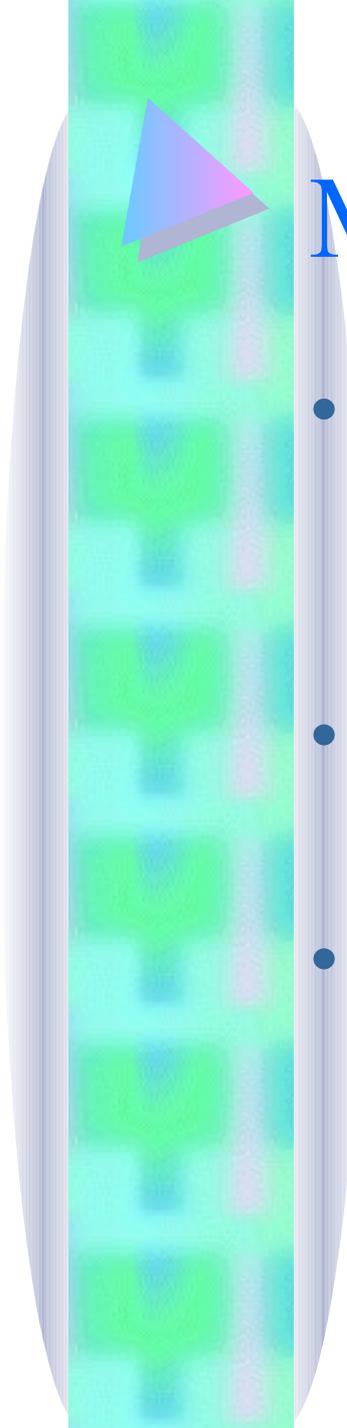
- **Captación RAIU (t)**
  - RAIU: radioiodine neck uptake as percentage of the administered dose of I-131 corrected by physical decay at t
- **Constantes efectivas de eliminación:**
  - Corporal
  - Tiroidea
- **Masa de los restos**



# La orina se recoge en 2 tanques de 3000 litros

Bellow the room there are two decaying tanks to store the urine of patients. A special toilet is placed in the bathroom connected to both tanks (see figure 2).





# MEDIDAS DIARIAS

- **Todos los días de ingreso se miden TASAS DE DOSIS en torno al paciente.**
- **La magnitud a medir es la tasa de Hp(10)**
- **3 medidas por día y por paciente**

# Ejemplo de cómo se mide

- 1) In contact with the neck at thyroid height
- 2) In contact to pelvis



# Ejemplo de cómo se mide

At a distance of 1 m at thyroid height



# Todas las medidas recolectadas en los años 2003 a 2005 se resumieron en un trabajo

Paper

## CORRELATION BETWEEN EXTERNAL EXPOSURE AND ACTIVITY IN PATIENTS UNDERGOING $^{131}\text{I}$ THYROID CANCER THERAPY

R. Barquero,\* F. Basurto,<sup>†</sup> H. R. Vega-Carrillo,<sup>‡</sup> M. P. Iñiguez,<sup>§</sup> N. Ferrer,\*\* and R. Esteban<sup>††</sup>

**Abstract**—The uptake and clearance of  $^{131}\text{I}$  activity for inpatients undergoing cancer therapy were determined from routine external dose survey measurements. A bi-exponential behavior was found, with the two time constants representing the iodine dynamics in the thyroid on one hand and in the rest of the body on the other. The external dose at 1 m from the patient was correlated to the activity in the thyroid remnant and inside the body, the averaged value being  $52.8 \pm 11.4 \mu\text{Sv GBq}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . The temporal evolution of activity in the body, the urinary system and the thyroid remnant area were determined taking into account the clearance from thyroid and whole body (effective retention constants averages  $0.23 \pm 0.14 \text{ d}^{-1}$  and  $1.46 \pm 0.34 \text{ d}^{-1}$ ) and the uptake in thyroid ( $3.15 \pm 3.36\%$ ). Applications of this study in the public and environmental radiation protection areas are presented.

Health Phys. 95(2):227–233; 2008

Key words:  $^{131}\text{I}$ ; Monte Carlo; thyroid; cancer

some countries, including ours (CNS 2004), the regulatory authority requires inpatients undergoing  $^{131}\text{I}$  therapy to be monitored in order to determinate the doses 1 m apart from them and the excreted activity to urine. To minimize the risk of radiation to relatives and the public (IAEA 2002; ICRP 1991), the patients remain a few days in special rooms where their urine excretions are collected in dedicated decay storage tanks. The dose equivalent rates in contact with the thyroid ( $H^{\text{tc}}$ ), the pelvis surface ( $H^{\text{pc}}$ ) and at 1 m from the inpatients at the thyroid height ( $H^{\text{tm}}$ ) are measured as part of the routine monitoring in our hospital during the 5 d post therapy.

The individualized biokinetic models of radioactive patients have an enormous interest from a scientific point of view. They can be used not only to

# Resultados 2003-2005

- Las tasas de dosis en función del tiempo se ajustaron a una doble exponencial con 2 constantes de eliminación, f=fast o corporal y s=slow o tiroidea. Por ejemplo la tasa de dosis 1 m:

$$H_p(10)(t)(\mu Sv/h) = h_{Th} * F_{th} * A_{pat} * e^{-\lambda_s * t} + h_{TB} * (1 - F_{th}) * e^{-\lambda_f * t}$$

- Para las tasas en contacto a tiroides y a pelvia la ecuación es similar
- $F_{th}$ =Captación= Uptake= RAIU or fraction of administered activity uptaked by the thyroid tissue
- $A_{pat}(t)$ = Actividad contenida en el paciente en t
- $H(TB)$  y  $H(Th)$  son coeficientes de conversión h (ICRP-74) de actividad en cuerpo y resto tiroideo a tasa de equivalente de dosis personal

# Resultados 2003-2005

**Table 1.** Biokinetic parameters for high activities >5.55 GBq.

No.	$A$ (GBq)	$\lambda_r$ (d <sup>-1</sup> )	$\lambda_s$ (d <sup>-1</sup> )	$F_{th}$ (%)	$h^{lm}$ ( $\mu\text{Sv GBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	$h^{lc}$ ( $\mu\text{Sv GBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	$h^{pc}$ ( $\mu\text{Sv GBq}^{-1} \text{h}^{-1}$ )
1	5.60	1.29	0.39	8.17	58.41	574.18	577.14
2	5.55	1.77	0.26	1.13	58.22	563.33	554.89
3	5.55	2.09	0.46	12.61	66.32	744.97	761.10
4	5.55	1.68	0.15	0.97	40.01	508.39	336.86
5	6.54	1.88	0.24	1.23	57.50	587.87	611.49
6	5.55	0.90	0.00	0.00	54.82	809.58	851.38
7	5.55	1.55	0.47	4.81	72.69	922.69	1118.14
8	5.55	1.63	0.12	0.59	52.34	582.25	569.90
9	5.60	1.43	0.33	2.38	41.86	605.46	588.58
10	5.59	1.23	0.15	7.15	50.22	620.88	616.85
11	5.25	0.96	0.00	0.37	49.36	539.52	519.38
12	5.56	1.00	0.10	0.50	51.78	531.78	585.04
13	5.55	1.36	0.09	0.23	31.75	602.02	497.02
14	5.55	1.32	0.20	4.17	54.29	545.58	1011.17
15	5.77	1.46	0.18	7.53	44.67	448.46	558.93
16	6.17	0.75	0.09	5.24	40.57	466.08	383.19
Mean	5.66	1.39	0.21	3.57	51.55	603.31	633.81

# Resultados 2003-2005

Health Physics August 2008, Volume 95, Number 2

**Table 2.** Biokinetic parameters obtained for medium activities <5.55 GBq.

No.	A (GBq)	$\lambda_r$ (d <sup>-1</sup> )	$\lambda_s$ (d <sup>-1</sup> )	$F_{th}$ (%)	$h^{lm}$ ( $\mu$ Sv GBq <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	$h^c$ ( $\mu$ Sv GBq <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	$h^{pc}$ ( $\mu$ Sv GBq <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )
1	5.26	1.46	0.27	1.97	50.04	618.39	794.92
2	3.73	1.05	0.00	0.00	50.50	545.67	539.73
3	3.71	1.71	0.26	1.45	49.59	541.28	469.66
4	3.71	1.73	0.32	4.33	44.29	559.79	414.67
5	3.73	1.45	0.38	12.29	54.21	599.42	548.26
6	4.81	1.67	0.32	3.47	54.60	685.99	723.00
7	3.71	1.59	0.49	6.33	50.63	640.17	778.70
8	4.84	1.24	0.27	10.83	50.21	906.57	574.26
9	4.82	1.12	0.10	0.41	61.07	745.47	936.70
10	3.68	1.76	0.37	1.24	63.16	804.46	1177.17
11	3.71	1.76	0.13	0.69	51.65	598.23	1123.30
12	3.71	1.66	0.16	1.87	63.91	709.12	1208.08
13	4.49	1.55	0.35	3.30	57.93	769.72	656.98
14	4.47	1.33	0.31	4.88	42.30	582.36	703.39
15	3.70	1.90	0.35	1.23	48.74	634.05	628.32
16	3.72	1.95	0.18	1.67	52.05	666.49	786.20
17	4.45	1.69	0.23	1.65	38.83	390.95	547.63
18	3.68	1.55	0.31	3.73	65.14	774.36	715.45
19	4.82	2.18	0.19	1.91	35.14	561.89	621.10
20	3.72	1.38	0.26	1.27	53.03	614.23	615.39
21	3.72	1.05	0.09	0.08	31.48	522.02	659.08
22	4.42	1.61	0.14	0.84	32.71	433.20	742.11
23	4.81	1.31	0.19	2.12	63.76	950.44	972.16
24	3.72	1.05	0.09	0.08	55.84	598.81	615.01
25	3.70	1.61	0.10	0.83	38.94	467.46	431.39
26	3.72	0.94	0.00	0.00	41.48	503.39	648.54
27	4.46	0.92	0.00	0.00	54.53	650.87	887.87
28	4.47	1.42	0.27	4.06	45.53	552.88	846.42
29	3.72	1.12	0.40	1.65	55.52	491.28	656.29
30	4.41	1.21	0.39	9.59	47.34	517.39	614.67
31	4.46	1.84	0.12	0.49	54.48	561.63	829.84
32	4.45	1.51	0.30	3.72	75.87	953.34	913.09
33	3.72	1.56	0.47	9.71	73.40	737.17	771.17
34	4.83	1.53	0.31	7.31	45.23	517.69	557.88
35	4.46	1.32	0.09	0.11	73.43	658.35	668.56
36	3.71	2.01	0.47	1.92	76.00	711.50	620.77
37	3.73	1.50	0.41	2.72	76.62	717.37	625.89
Mean	4.13	1.49	0.25	2.97	53.49	634.96	719.56



# Trabajo efectuado desde 2008-2010

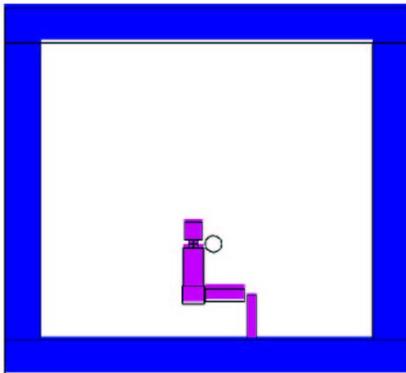
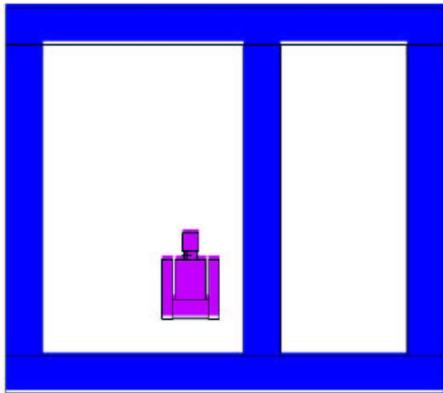
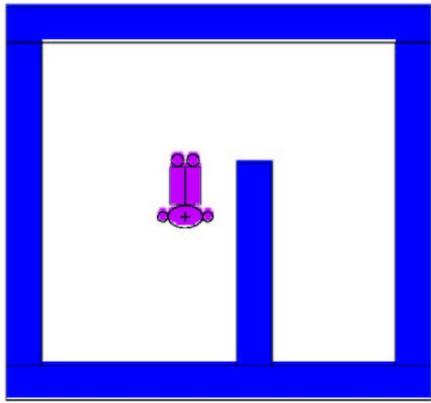
- **Simulación Monte Carlo de las medidas de exposición externa para obtener los coeficientes  $h$  de actividad en el paciente a tasa de dosis externa**
- **Refinamiento del modelo analítico, reduciendo el número de medidas a 3**
- **Introducción del método de imagen conjugada para evaluar la captación individual de cada paciente**
- **Investigación de métodos de estimación de la masa del resto tiroideo**



SIMULACIÓN MONTE CARLO  
DE LAS MEDIDAS DE  
EXPOSICIÓN EXTERNA PARA  
OBTENER LOS COEFICIENTES H  
DE ACTIVIDAD EN EL  
PACIENTE A TASA DE DOSIS  
EXTERNA

# Simulación Monte Carlo con MCNPX

- **Simulación de la habitación, del detector y del paciente modelado como un BOMAB:**
  - Con una fuente puntual de I-131 en el cuello (simulando el resto tiroideo)
  - Relleno de una solución acuosa con I-131 (simulando TB)



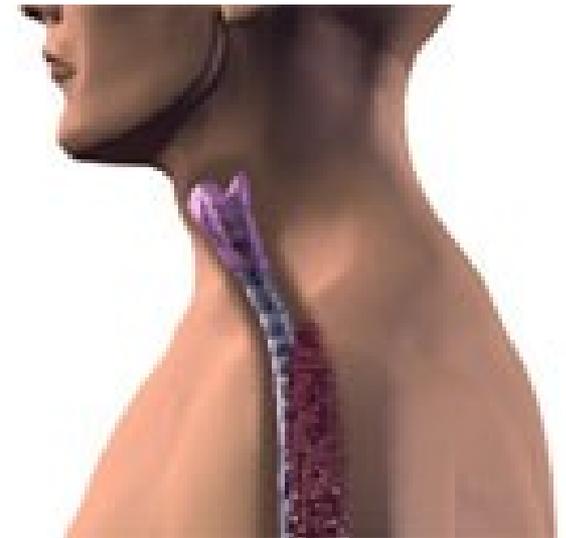
# Resultados MCNPX

	origin pelvis centre	thyroid contact uSv/h Gbq	pelvis contact uSv/h Gbq	1 meter uSv/h Gbq
bladder	0 0 0	42	2714	47
bladder	0 7 0	<b>79</b>	<b>11609</b>	<b>80</b>
bladder	0 1 46.5	6790	88	88
stomach	0 0 25	380	514	68
stomach	0 2 46.5	8433	98	95
whole body		768	2017	77
wb laterales		737	1890	0.2
Kidney	5 -7 37	<b>838</b>	<b>94</b>	<b>41</b>
Kidney	7 5.5 37	958	105	49
Kidney	0 3 46.5	10680	111	102
Kidney	0 4 46.5	13741	129	108
thyroid point	0 -5 49.85	2171	39	54
thyroid point	1 0 46.5	5441	81	82
thyroid point	0 0 46.5	5467	79	82
thyroid point	0 0 48.5	5871	70	82
thyroid point	0 1 46.5	6790	88	88
thyroid point	2 2 46.5	8087	98	97
thyroid point	2 2 46.5	8087	98	97
thyroid point	0 2 46.5	8433	98	95
thyroid point	0 3 46.5	10680	111	102
thyroid point	0 4 46.5	13741	129	108
thyroid point	0 5 46.5	18000	142	114
thyroid point	0 5.5 46.5	20723	210	118
thyroid point	0 5.8 46.5	22443	157	118
average		8604	292	<b>85</b>
standard dev		6499.85	569.6	<b>29.66</b>
vari coef		76%	195%	<b>35%</b>

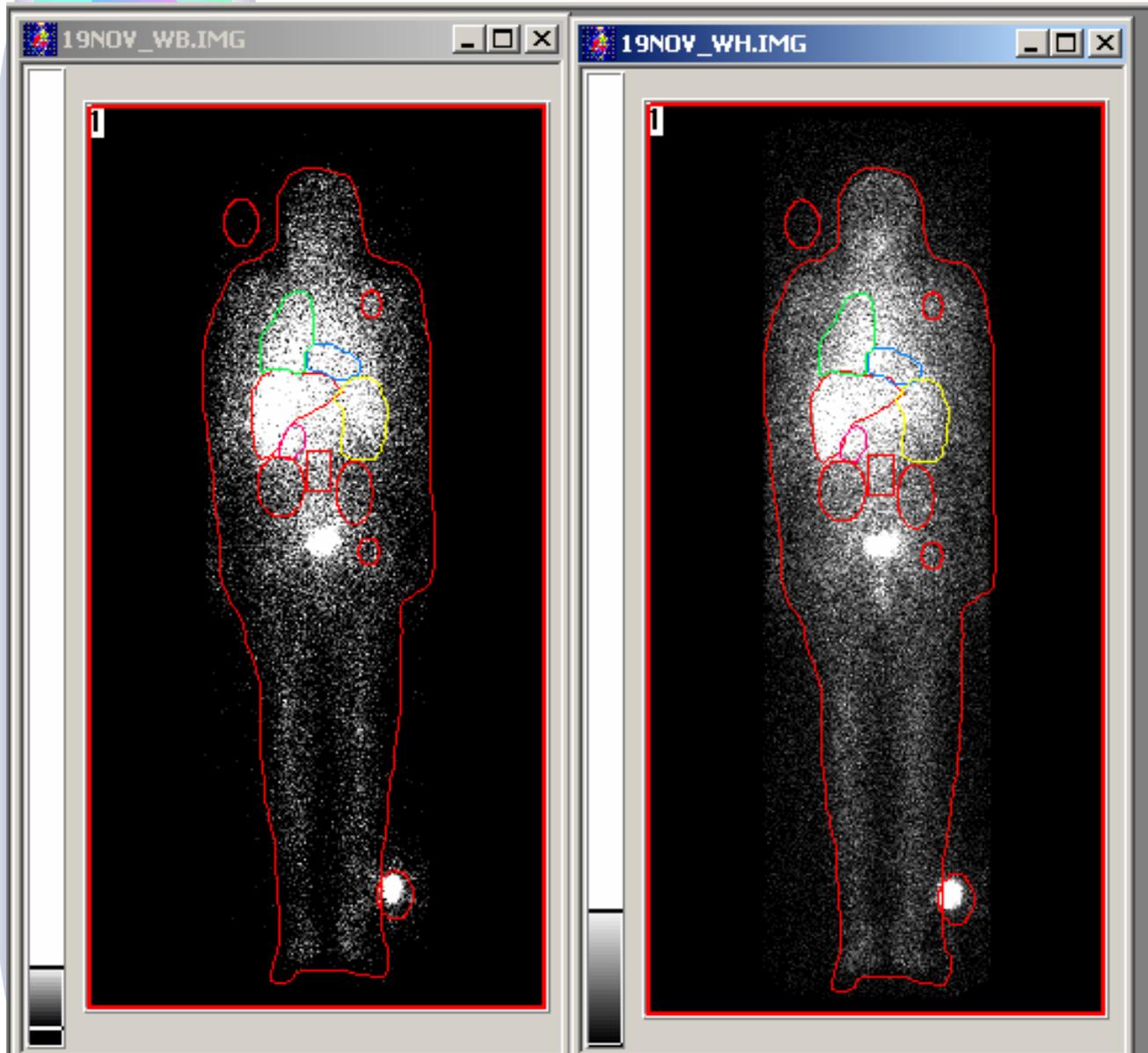
# Conclusiones previas del estudio MC



- Mucha variación (de  $10^3$  a  $10^4$  uSv/hGBq) en:
  - hti→ct
  - hti→cp, ver figuras



# Conclusiones previas del estudio MC



**Mucha  
variación en:  
htb→cp y htb-  
→ct**

**¿Dónde está la  
fuente?**

- tb
- Estómago
- Intestino
- Riñones
- Vejiga
- Pulmones
- etc....

# Conclusiones previas del estudio MC

1. Se pueden aplicar universalmente los coeficientes para 1 metro:
  - 50  $\mu\text{Sv/hGBq}$  para  $h_{tb} \rightarrow 1\text{m}$
  - 80  $\mu\text{Sv/hGBq}$  para  $h_{ti} \rightarrow 1\text{m}$
1. Si hay captación la tasa de dosis en contacto a tiroides es 2-5 veces la tasa de dosis en contacto a pelvis.
2. Con estas 3 medidas se puede deducir cuanta actividad tiene incorporada el paciente y donde está.





REFINAMIENTO DEL MODELO  
ANALÍTICO, REDUCIENDO EL  
NÚMERO DE MEDIDAS A 3

# Refinamiento del modelo analítico

- Utilizamos solo las medidas a 1 metro

$$(1) \quad H_{1m}(t) = 50 * A_{tb}(t) + 80 * A_{ti}(t)$$

$$(2) \quad C = RAIU(0)$$

$$(3) \quad H_{1m}(t) = 50 * (1 - C) * A_{adm} * e^{-\lambda_f * t} + 80 * C * A_{adm} * e^{-\lambda_s * t}$$

$$(4) \quad H_{1m}(t) = 50 * A_{adm} * e^{-\lambda_f * t} + C * A_{adm} * (80 * e^{-\lambda_s * t} - 50 * e^{-\lambda_f * t})$$

$$(5) \quad t = 0 \Rightarrow H_{1m}(0) = 50 * A_{adm}$$

$$(6) \quad \lambda_f = - \frac{\ln\left(\frac{H_{1m}(1)}{H_{1m}(0)}\right)}{1}$$

**TABLE 1**

Mean Values  $\pm$  SD of Iodine Biokinetics in Remnants  
After rhTSH and THW

	rhTSH ( <i>n</i> = 33)	THW ( <i>n</i> = 29)	<i>P</i>
Remnant uptake at 48 h (%)	0.51 $\pm$ 0.70	0.91 $\pm$ 1.05	0.10
Effective half-time in remnant (h)	67.6 $\pm$ 48.8	48.0 $\pm$ 52.6	0.01
Remnant residence time (h)	0.86 $\pm$ 1.27	1.38 $\pm$ 1.51	0.11

**Iodine Biokinetics and Dosimetry in Radioiodine Therapy of Thyroid Cancer:  
Procedures and Results of a Prospective International Controlled Study of  
Ablation After rhTSH or Hormone Withdrawal**

**Heribert Hañscheid, PhD**

**J Nucl Med 2006; 47:648-654**

# Constantes efectivas corporal (f), tiroidea (s)

1. **<sup>131</sup>I Effective Half-Life and Dosimetry in Thyroid Cancer Patients, J Nucl Med 2008; 49:1445–1450**
2. **Radioiodine Therapy for Well-Differentiated Thyroid Cancer: A Quantitative Dosimetric Evaluation for Remnant Thyroid Ablation, J Nucl Med 1994;35:1944-1950**
3. **Iodine Biokinetics and Dosimetry in Radioiodine Therapy of Thyroid Cancer: Procedures and Results of a Prospective International Controlled Study of Ablation After rhTSH or Hormone Withdrawal, J Nucl Med 2006; 47:648–654**

	If (d-1)	Is (d-1)	
	Remy 1	Hanscheid 2	Samuel 3
TSH	1.58	0.25 ± 0.34	
TWH	1.06	0.35 ± 0.32	
< 5g, ablación completa			0.32 ± 0.47
< 5g, ablación parcial			0.24 ± 0.37
>5g, ablación completa			0.25 ± 0.54
>5g, ablación parcial			0.19 ± 0.44

	Tef	Tef	l
PROMEDIOS	h	d	d-1
Extra-thyroid	13.10	0.55	1.32
Thyroid	64.93	2.71	0.27

# Refinamiento del modelo analítico

- De acuerdo con los valores de estas Ref.:

$$(7) \quad t > 3 \Rightarrow 50 * e^{-\lambda_f * t} << 80 * e^{-\lambda_s * t}$$

$$(8) \quad H_{1m}(4) = 50 * A_{adm} * e^{-\lambda_f * 4} + 80 * C * A_{adm} * e^{-\lambda_s * 4}$$

$$(9) \quad H_{1m}(9) = 50 * A_{adm} * e^{-\lambda_f * 9} + 80 * C * A_{adm} * e^{-\lambda_s * 9}$$

$$(10) \quad \lambda_s = - \frac{\ln \left[ \frac{H_{1m}(4) - 50 * A_{adm} * e^{-\lambda_f * 4}}{H_{1m}(9) - 50 * A_{adm} * e^{-\lambda_f * 9}} \right]}{9 - 4}$$

$$(11) \quad t > 3 \Rightarrow C = \frac{H_{1m}(t) - 50 * A_{adm} * e^{-\lambda_f * t}}{80 * A_{adm} * e^{-\lambda_s * t}}$$

# Refinamiento del modelo analítico

- 1)  $A_{adm}$ ,
- 2)  $H_{1m}$  (1),
- 3)  $H_{1m}$  (3,4),
- 4)  $H_{1m}$  (7,8,9)



$\lambda_f$

$\lambda_s$

$C$

*Biocinética :*

$$A_{ti}(t) = C * A_{adm} * e^{-\lambda_s * t}$$

$$A_{tb}(t) = C * A_{adm} * e^{-\lambda_f * t}$$



INTRODUCCIÓN DEL MÉTODO  
DE IMAGEN CONJUGADA PARA  
EVALUAR LA CAPTACIÓN  
INDIVIDUAL DE CADA  
PACIENTE

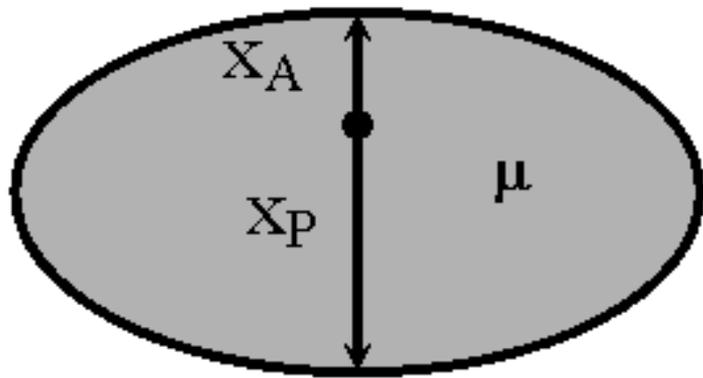
# IMAGEN PLANAR: Método de la imagen conjugada

- **Objetos a profundidad desconocida en el cuerpo.**
- **Obtenemos imagenes de proyección AP-PA. Necesitamos corregir por atenuación.**
- **El método de la m.g. corrige, en principio, la dependencia con la profundidad**

$$A_{ROI} = \sqrt{\frac{I_A I_P}{e^{-\mu_e t}}} \frac{f_j}{C}$$

# La dependencia de la cuantificación con la profundidad de la lesión queda resuelta con el método de la MEDIA GEOMETRICA

Anterior View -  $I_A$



Posterior View -  $I_P$

Figure 1. Illustration of conjugate-view counting.

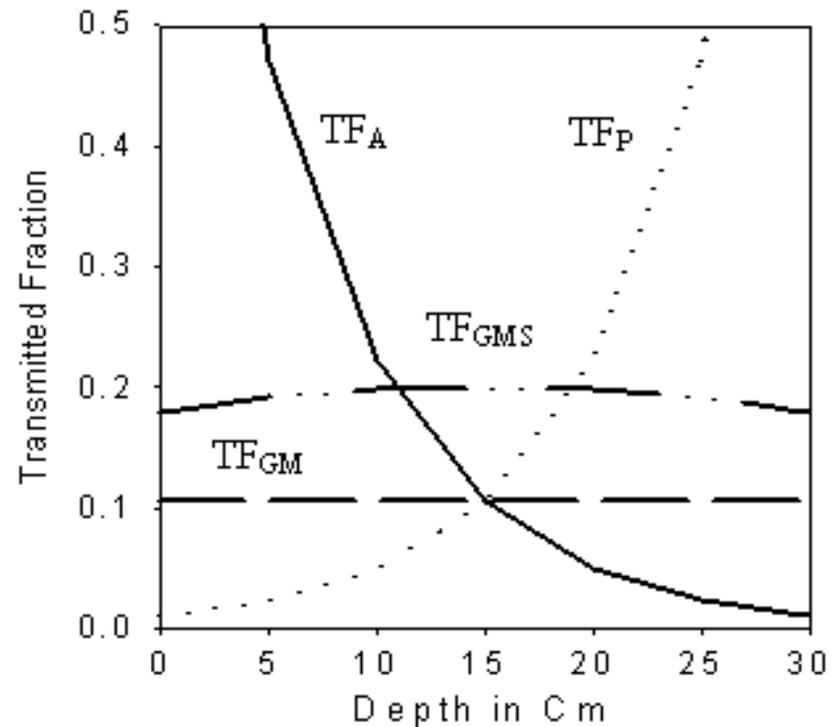


Figure 2. Plot of transmitted fraction for anterior view, posterior view, geometric mean, and geometric mean with scatter included.

# Cuantificación: Método de la media geométrica en gammacamara planar

In vivo quantitation of lesion radioactivity using external counting methods  
 Stephen R Thomas Harry R Maxon James G Kereiakes Med Phys 1976 253-255

Actividad absoluta en una ROI

A (actividad en la lesión, uCi)

IA (contaje en adquisición AP 0°, cpm)

IP (contaje en adquisición PA 180°, cpm)

C (Eficiencia de la gammacamara, cpa/uCi)

t (espesor total del paciente)

$\mu_e$  (coeficiente de atenuación lineal efectivo en todo el espesor t)

$\mu_j$  (coeficiente de aten. lineal de la región j para la radiación gamma)

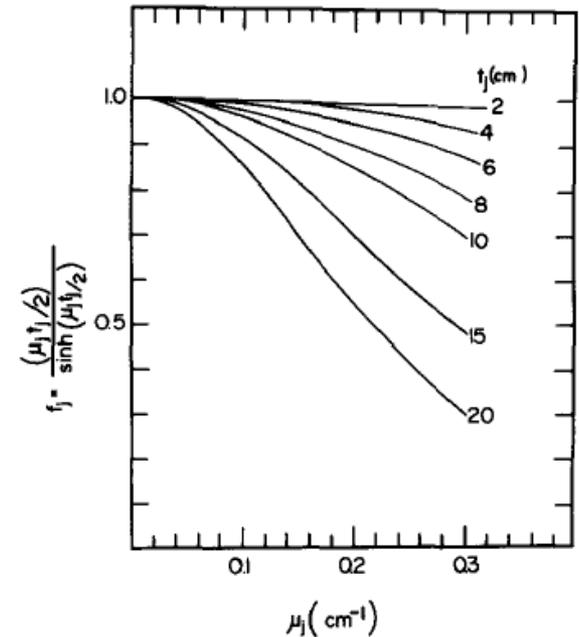
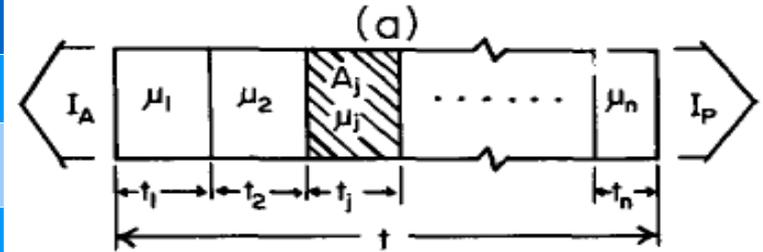
$t_j$  (espesor de la región j)

"f" factor de corrección por espesor

$$A_j = \sqrt{\frac{I_A I_P}{e^{-\mu_e t}}} \frac{f_j}{C}$$

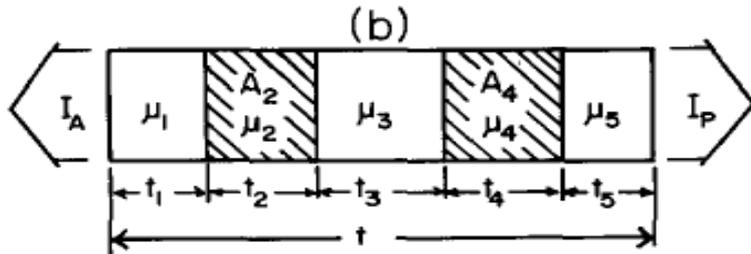
$$\mu_e = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^n \mu_i t_i = \mu_j + \frac{1}{t} \sum_{i=1}^n (\mu_i - \mu_j) t_i$$

$$f_j = \frac{(\mu_j t_j) / 2}{\sinh(\mu_j t_j / 2)}$$



$f_j$  vs  $\mu_j$  for various lesion thicknesses.

# 2 regiones actividad uniforme en medio dispersor



$$A_2 = \sqrt{\frac{I_A I_P}{e^{-\mu_e t}} \frac{f_2}{C}} g(\alpha)$$

$$g(\alpha) = \left[ 1 + \left( \alpha \frac{f_2}{f_4} \right) + 2\alpha \frac{f_2}{f_4} \cosh \left( \frac{\mu_2 t_2 + 2\mu_3 t_3 + \mu_4 t_4}{2} \right) \right]^{-1/2}$$

$$\alpha = \frac{A_4}{A_2}$$

esion radioactivity

254

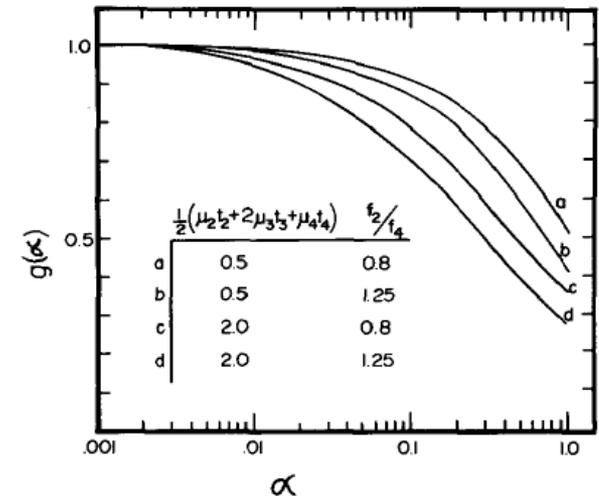


FIG. 3.  $g(\alpha)$  vs  $\alpha$ . The values of the factor  $(\mu_2 t_2 + 2\mu_3 t_3 + \mu_4 t_4)/2$  [from the cosh term of Eq. (5)] were chosen because 0.5 was considered to represent small lesions (1–2 cm), while 2.0 represents larger lesions (~7 cm). The  $f_2/f_4$  ratios chosen represent the maximum range that might be expected clinically.

# Regiones de actividad rodeadas de tejido uniforme

$$A_3 = \left( \frac{I_A I_P}{e^{-\mu_e t}} \right)^{1/2} \frac{f_3}{C} k(\gamma),$$

with

$$k(\gamma) \equiv \left[ 1 + \left( \gamma_2 \frac{f_3}{f_2} \right)^2 + \left( \gamma_4 \frac{f_3}{f_4} \right)^2 + 2\gamma_2 \gamma_4 \frac{f_3^2}{f_2 f_4} \cosh \left( \frac{\mu_2 t_2 + 2\mu_3 t_3 + \mu_4 t_4}{2} \right) + 2\gamma_2 \frac{f_3}{f_4} \cosh \left( \frac{\mu_2 t_2 + \mu_3 t_3}{2} \right) + 2\gamma_4 \frac{f_3}{f_4} \cosh \left( \frac{\mu_3 t_3 + \mu_4 t_4}{2} \right) \right]^{-1/2}, \quad (7)$$

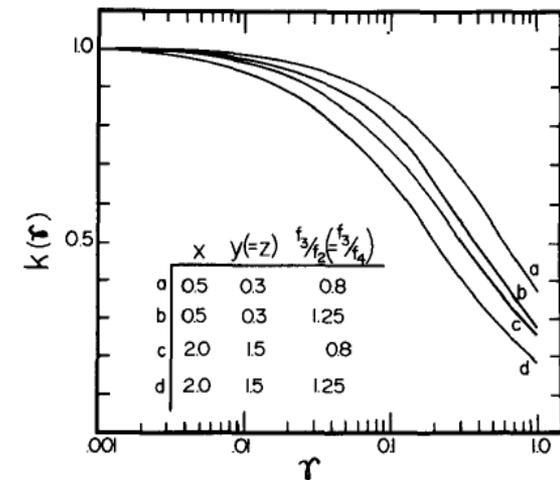
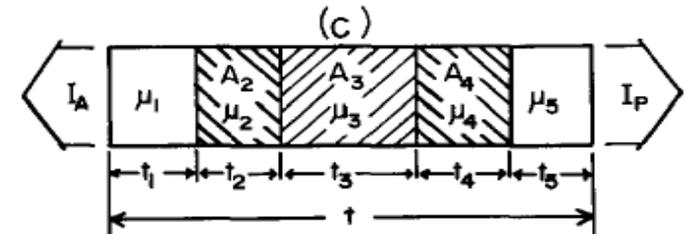
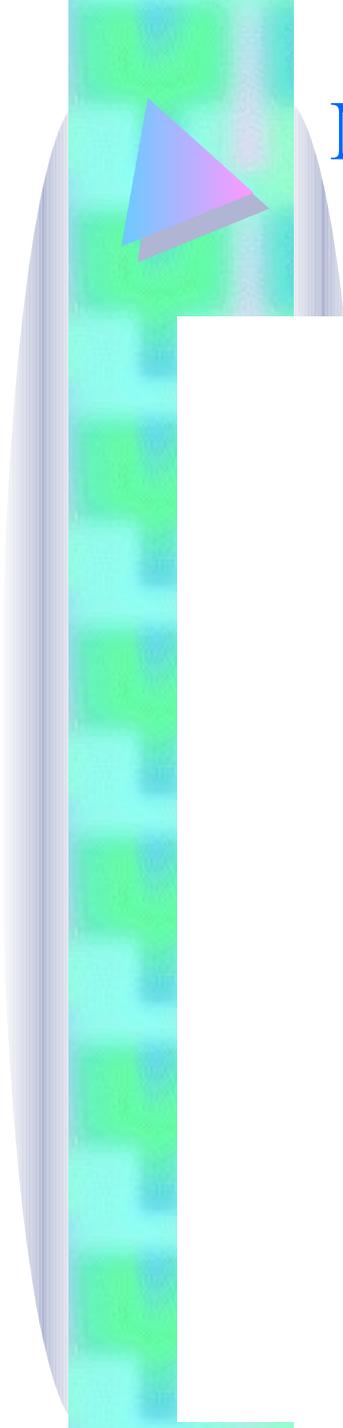


FIG. 4.  $k(\gamma)$  vs  $\gamma$ , x, y, and z are the arguments of the cosh terms of Eq. (7), i.e.,  $(\mu_2 t_2 + 2\mu_3 t_3 + \mu_4 t_4)/2$ ,  $(\mu_2 t_2 + \mu_3 t_3)/2$ , and  $(\mu_3 t_3 + \mu_4 t_4)/2$ , respectively. For these plots, y has been chosen to be equal to z and  $f_3/f_2$  equal to  $f_3/f_4$ . The values 0.5 and 0.3 represent small lesions (1–2 cm), while 2.0 and 1.5 represent larger lesions (~7 cm).



# Método de cuantificación sin calculo independiente de atenuación

---

## Conjugate View Gamma Camera Method for Estimating Tumor Uptake of Iodine-131 Metaiodobenzylguanidine

Barry L. Shulkin, James C. Sisson, Kenneth F. Koral, Brahm Shapiro, Xiaohan Wang, and Jon Johnson

*Division of Nuclear Medicine, Department of Internal Medicine, University of Michigan Medical Center, Ann Arbor, Michigan*

Therapy with [<sup>131</sup>I]MIBG has produced partial remissions of malignant pheochromocytomas but not all patients respond. Responses correlate with the quantity of radiation delivered. We developed the conjugate-view method of imaging using <sup>131</sup>I reference sources of known radioactivity placed on the surface of the patient and standard nuclear medicine equipment (gamma camera and computer), to estimate tumor uptake of [<sup>131</sup>I]MIBG. Such an estimate is a first step toward calculating radiation absorbed dose. Three different methods of background subtraction were evaluated with an anthropomorphic phantom and in five patients. In phantom results, measured tumor activity decreased exponentially with a half-life in agreement with that of <sup>131</sup>I to within 3%. However, in the phantom studies, in which non-tumor activity is zero, no single method of background subtraction is superior. In patients, two background subtraction methods, which take their estimate from regions immediately surrounding or adjacent to the tumor and reference source, are less sensitive to reference source position and appear more accurate than a third method which uses a background region of interest displaced from the tumor. The agreement of the calculated activity concentration (nCi/g) with that measured by counting portions of the excised tumors gives validation to the method.

J Nucl Med 29:542-548, 1988

---

**TABLE 1**  
Methods of Background Subtraction

	RC background	Tumor background
1	From RC position in tumor only image	From RC position in tumor only image
2	From RC position in tumor only image	Area surrounding tumor ROI in tumor only image
3	Area surrounding RC in the RC + tumor image	Area surrounding tumor ROI in tumor only image

$$\frac{A_T}{A_{RC}} = \frac{C_T}{C_{RC}}$$

- **Uso de una fuente estándar de calibración:**
  - Colocada sobre el paciente en midline o junto al tumor
  - De unos 100  $\mu\text{Ci}$
- **BKGND mejor con métodos 1 y 2**

## APPENDIX 1

$$A_T = \frac{(I_A I_P)^{1/2} f}{(e^{-\mu c t}) E} \text{ for a single tumor in zero background (3).}$$

If the tumor is a point, then  $f = 1$ .

Assuming the transmission can be measured with an uncollimated source, then

$$R_{CP} = e^{-\mu c t} R_{CA}$$

where

$R_{CP}$  = posterior reference source counts.

$R_{CA}$  = anterior reference source counts.

Also assuming the camera efficiency constant,  $E$ , can be measured with the patient behind the source, then

$$E = R_{CA}/A_{RC} = \text{reference source activity}$$

substituting

$$A_T = \frac{(I_A I_P)^{1/2} (R_{CA})^{1/2}}{(R_{CP})^{1/2}} \times \frac{A_{RC}}{R_{CA}} = \frac{(I_A I_P)^{1/2}}{(R_{CA} \times R_{CP})^{1/2}} \times A_{RC}$$

then

$$\frac{A_T}{A_{RC}} = \frac{(I_A I_P)^{1/2}}{(R_{CP})^{1/2}} = \frac{C_T}{C_{RC}}$$

where

$C_T$  = geometric mean of the tumor counts

$C_{RC}$  = geometric mean of the reference source counts.

# Eficiencia de la gammacamara, C

- Se requiere una fuente estándar de actividad conocida sobre el paciente (Shulkin et al)
- Usamos una capsula caducada de rastreos no hechos
- C (cps/  $\mu$ Ci)
  - Comprobar antes de cada medida
  - EN MANIQUI (Thomas et al)
  - SOBRE EL PACIENTE (Shulkin et al)

$$A_T = \frac{A_{RC} * MG_T}{MG_{RC}}$$

$$MG = \sqrt{(cps_{netas})_A * (cps_{netas})_P}$$

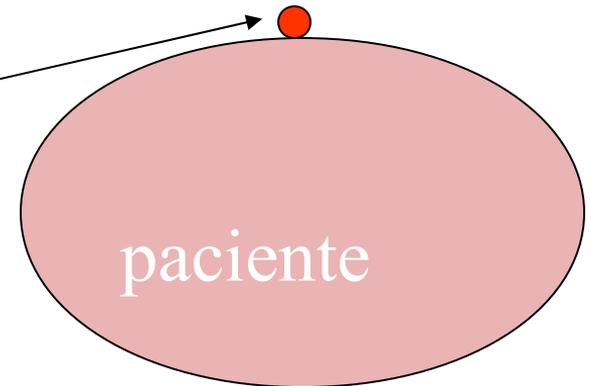
$RC$  = fuente de referencia

$T$  = tumor

$A$  = vista  $0^\circ$

$P$  = vista  $180^\circ$

**RC=Fuente de actividad conocida**



# EXPERIENCIAS

- 1) ESTUDIO DE ATENUACION EN METACRILATO, METODO DE THOMAS, OBTENCION DE C
- 2) ESTUDIO EN MANIQUI ADAMS, METODOS DE THOMAS Y DE SHULKIN
- 3) ESTUDIO EN EL PACIENTE 622, DETERMINACION DE LA CAPTACION

# EXPERIENCIA 1, FUENTE EN METACRILATO

- Cápsula I-131 de 28 “MBq”
- Láminas de metacrilato de 0 a 8 cm
- Gammacamara Skylight
- Determinación del coeficiente de atenuación lineal,  $\mu$  (cm<sup>-1</sup>)
- Calibración de la gammacamara por el método de THOMAS

CAPSULA I-131	MBq	FECHA
CALIBRADA	186.66	26/04/2010
UTILIZADA	28.02	18/05/2010

# Calibracion gammacamara (1)

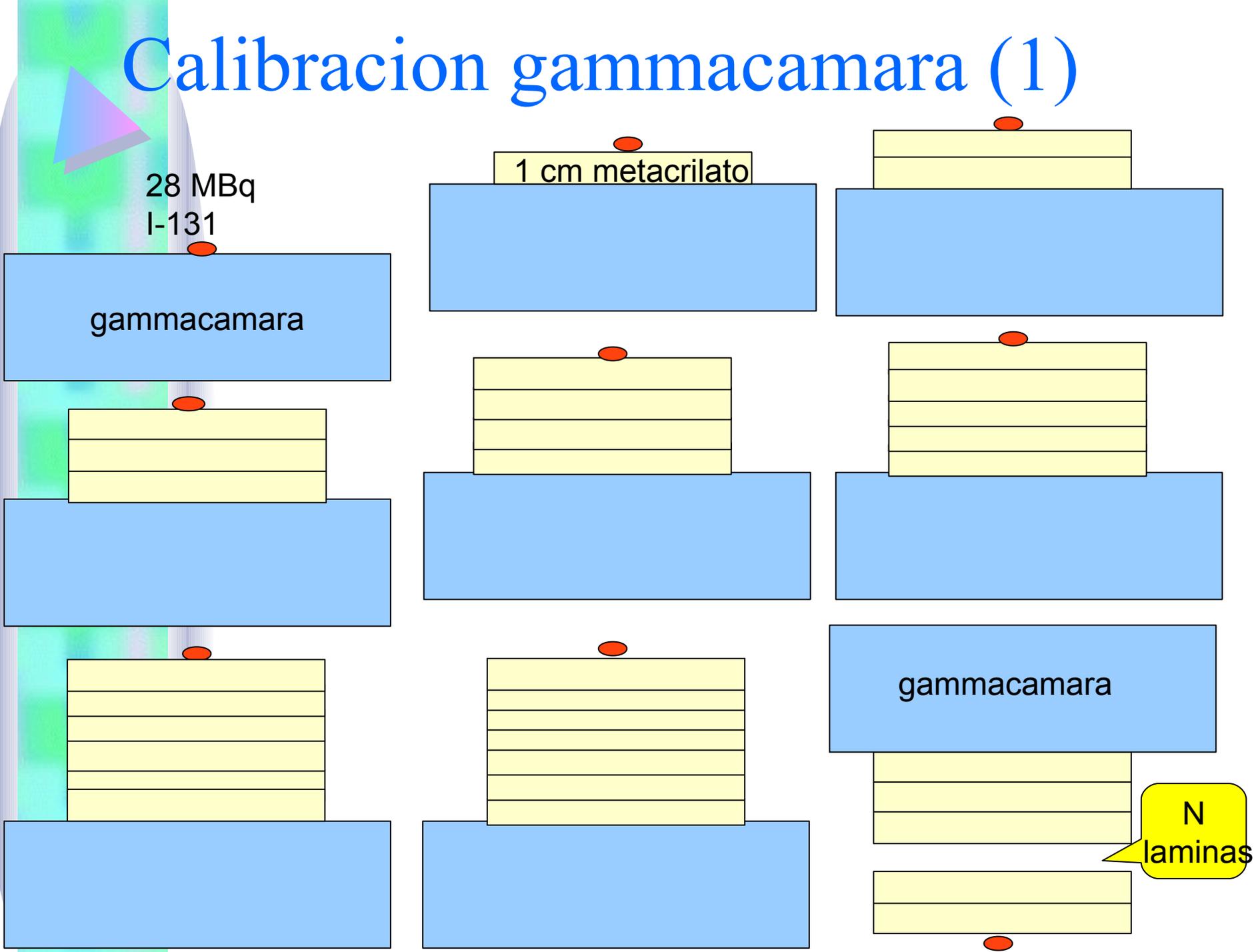
28 MBq  
I-131

gammacamara

1 cm metacrilato

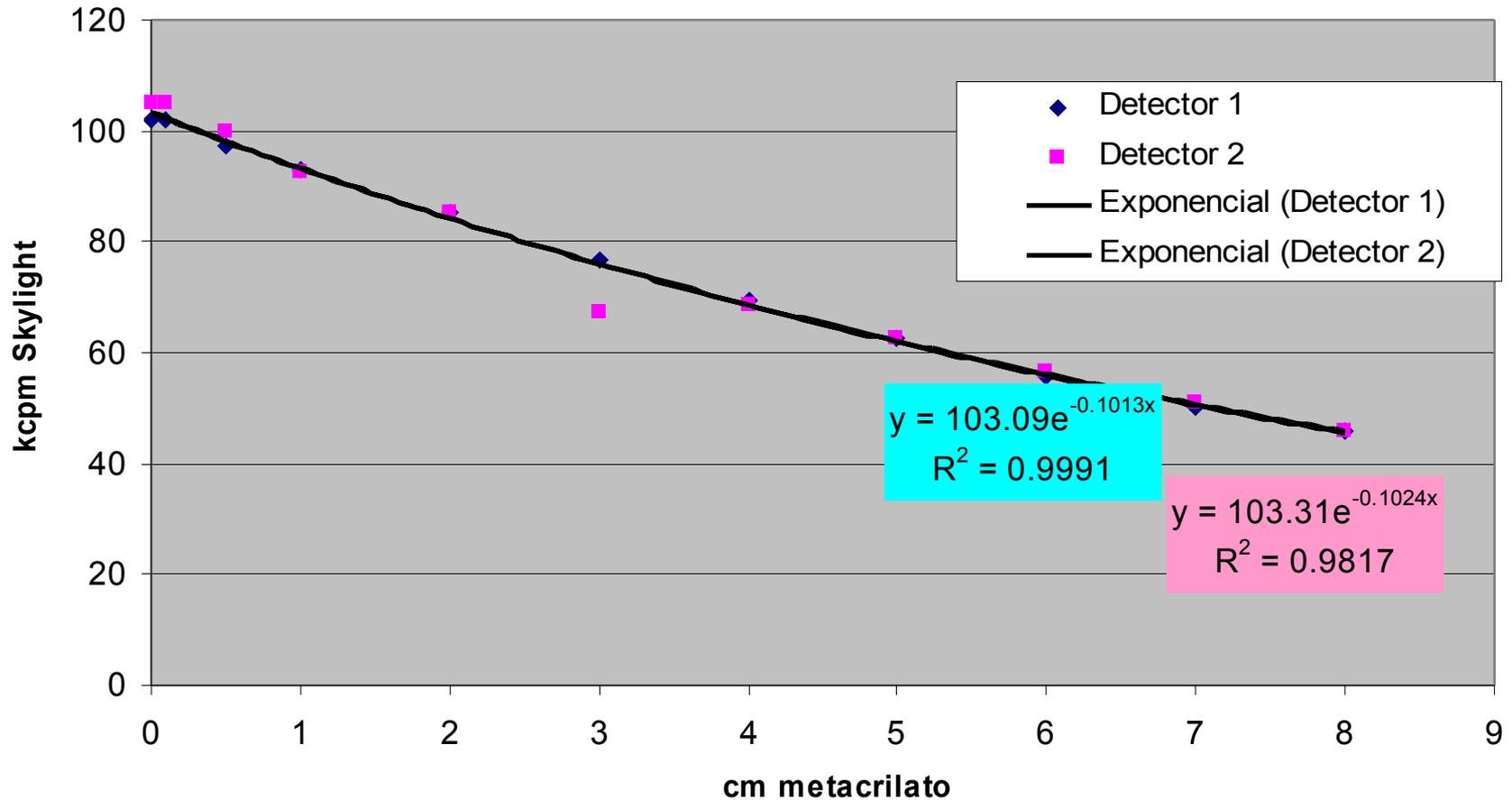
gammacamara

N  
laminas



# Calibracion gammacamara (3)

atenuacion I131 en metacrilato



# Obtención de C cps/MBq

$$C(\text{cps} / \text{MBq}) = \frac{\sqrt{\frac{\text{cps}_A * \text{cps}_P}{e^{-0.1*8}}}}{28.02}$$

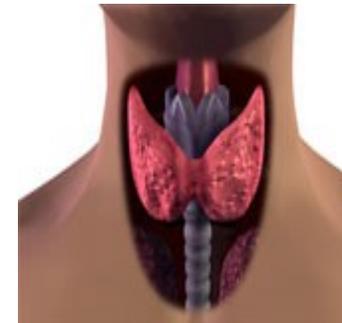
	Head1	Head 2	Avrg	C, cps/MBq
cm Metacrilato	cps	cps		
0	1700	1750	1725	61.13
1	1547	1545	1546	60.88
2	1425	1423	1424	61.49
3	1277	1125	1201	59.57
4	1158	1143	1151	61.27
5	1040	1045	1043	
6	928	945	937	
7	838	853	846	
8	763	765	764	
				60.87±1.25

# EXPERIENCIA 2 ADAMS

- Skylight
- Maniquí Adams
- Obtención de la actividad en tumor según SHULKIN
- 1 pastilla I-131 de 0.1 mCi en uno de los alojamientos
- 1 pastilla I-131 de 0.1 mCi sobre el maniquí



Fuente	uCi (medida)	Fecha medida	MBq calibracion	Fecha calibracion
RC	86	9/7/2010	198.90	7/20/2010
Tumor	243	9/7/2010	187.67	8/2/2010



# PROCEDIMIENTO MANIQUI

1) Adquisición UPTAKE 1: Fuente T sola

2) Adquisición UPTAKE 2: Fuente T y Fuente sobre maniquí RC

3) Definición de ROIs:

a) Tumor Uptake1 Anterior, T1A

b) T1P

c) T2A

d) T2P

e) RC1A

f) RC1P

g) RC2A

h) RC2P

Fondo a substrair de  $T = RC$  en 1

Fondo a substrair de  $RC = RC$  en 1

Corrección por tamaños d las ROIS

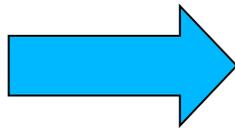
# RESULTADOS MANIQUI

Uptake 1 y 2	Fuente	Image	cps A	size A	cps P	size P
Uptake 1	RC	T only	2832	132.2	8811	225
Uptake 1	T	T only	48208	256	72294	256
Uptake 2	RC	T+RC	50950	132.2	13792	225
Uptake 2	T	T+RC	57086	256	73990	256

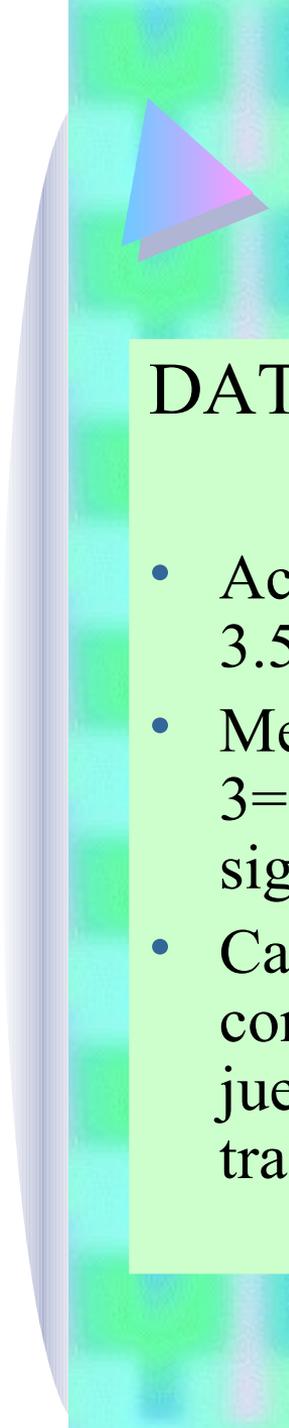
Uptake 1 y 2	cps brutas A	Backg 1 A	cps netas A	cps brutas P	Backg 1 P	cps netas P	C, media geom	uCi	Ratio AT/TT
RC	50950	2832.00	48118	13792	8811	4981	15481	78	
T	57086	5484.05	51602	73990	10025	63965	57452	289	1.19

# Según la calibración previa (C), THOMAS

$$A = \frac{\sqrt{\frac{cps_A * cps_P}{e^{-0.1*t}}}}{60.87}$$



	Tumor	RC
cps netas A	86.00	80.20
cps netas P	106.61	8.30
t (cm)	20	20.00
C	86.07	86.07
f	0.9	0.9
A (MBq)	9.88	2.66
A real (MBq)	8.99	2.88
Ratio A/AT	1.10	0.92



# Aplicación al paciente 622

## DATOS DISPONIBLES

- Actividad administrada, 3.54 GBq (jueves)
- Medidas de tasas de dosis, 3= viernes, lunes y jueves siguiente.
- Captación de la Imagen conjugada obtenida el jueves siguiente (7 días tras administración).

## INCOGNITAS

- DOSIS EN TUMOR
- DOSIS EN MEDULA ROJA
- DOSIS A FAMILIARES TRAS EL ALTA
- ACTIVIDAD EXCRETADA EN LA ORINA

# DOSIS ABSORBIDA POR EL RESTO TIROIDEO

## Radioiodine Therapy for Well-Differentiated Thyroid Cancer: A Quantitative Dosimetric Evaluation for Remnant Thyroid Ablation After Surgery

A.M. Samuel and B. Rajashekharrao

*Radiation Safety Systems Division, Radiation Medicine Centre, Bhabha Atomic Research Centre, Parel, Bombay, India*

### **Cumulative Absorbed Dose**

Assuming a monoexponential washout of  $^{131}\text{I}$  from the tissue, the  $T_e$  is calculated. Dose  $D$  to the tissue is calculated from the initial dose rate  $\dot{D}_0$  (using the previous equation) as follows:

$$\dot{D} = 1.44T_e\dot{D}_0 \text{ Gy},$$

where  $\dot{D}_0 = 0.11C_0$  Gy/hr, where  $C_0$  (MBq/g) is the initial (24 hr) concentration of  $^{131}\text{I}$  in the tissue and is related to the total activity  $Q$  (MBq) administered to the patient as follows:

$$C_0 = Qf/100 \text{ MBq/g},$$

where  $f$  is the percentage uptake per gram in the tissue at 24 hr.

Of the 87 patients treated, 68 showed complete ablation and 18 showed partial ablation of the residual thyroid tissue. One patient did not show any response and was considered in the partially ablated group for analysis. The mass of the remnant tissue ranged from 1 g to 14.8 g (mean = 4.1 g). The RAIU ranged from 2.3% to 49.7% (mean = 17.7%). The  $T_e$  of  $^{131}\text{I}$  in the tissue ranged from 10.3 hr to 192 hr (mean = 57.9 hr). The initial dose rate ranged from 2.4 Gy/hr to 64 Gy/hr (mean = 13.9 Gy/hr). The cumulative dose delivered to the tissue ranged from 59 Gy to 4208 Gy (mean = 1018 Gy).

# DOSIS ABSORBIDA POR LA MEDULA ROJA

## DOSIMETRIA Y ASPECTOS RELACIONADOS EN TRATAMIENTOS CON I-131 DE CANCER DIFERENCIADO DE TIROIDES (CDT) UTILIZANDO MEDIDAS EXTERNAS AL PACIENTE

$$D_{MR}^{mujer} = (5.73 \pm 1.48) * 10^{+6} \left[ \frac{g * mGy}{GBq * d} \right] * \frac{A_{adm}}{\lambda_f * m_{corporal}}$$

*MR = Médula roja*

*f = fast component = resto corporal extra - tiroideo*

# DOSIS TRAS ALTA a familiares

## DOSIMETRIA Y ASPECTOS RELACIONADOS EN TRATAMIENTOS CON I-131 DE CANCER DIFERENCIADO DE TIROIDES (CDT) UTILIZANDO MEDIDAS EXTERNAS AL PACIENTE

$$H_4^\infty = \frac{50 * A_{adm}}{\lambda_f} (e^{-4 * \lambda_f}) + \frac{80 * A_{adm}}{\lambda_s} (e^{-4 * \lambda_s})$$

# ACTIVIDAD EXCRETADA EN LA ORINA

## DOSIMETRIA Y ASPECTOS RELACIONADOS EN TRATAMIENTOS CON I-131 DE CANCER DIFERENCIADO DE TIROIDES (CDT) UTILIZANDO MEDIDAS EXTERNAS AL PACIENTE

$$A_{urine}(t) = A_{adm} (e^{-\lambda_{decay} * t}) - \left[ (A_{adm} (1 - C) * e^{-\lambda_f * t}) + (A_{adm} * C * e^{-\lambda_s * t}) \right]$$

# TODO SE REDUCE A CONOCER C, $\lambda_f$ y $\lambda_s$ (de medidas de tasas de dosis)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	<b>Datos Enfermo y administración</b>													
2														
3	FECHA INICIO:	9/9/2010												
4	DR:	XXXX												
5	ACTIVIDAD ETIQUETA:				IT:					CATEGORIA				
6	ACTIVIDAD CALIBRAC	3925.560	Fecha y hora ca	8/9/10 12:00										
7	ACTIVIDAD CALIBRAC	3.536	Fecha y hora adm	9/9/10 17:00										
8	ENFERMO/A:													
9	PESO, KG:													
10	ALTURA, M:													
11	Type:													
12	Node:													
13	M:													
14	Cirugía:													
15	Trat.anter.:													
16														
17														
18														
19	<b>Datos exposición externa</b>													
20														
22	Fecha y hora medida	10/9/10 11:40	13/9/10 10:00				16/09/10 14:30							
23	CONSOLA		0.02				0.01							
24	PUERTA		0.3				0.4							
25	TD <sup>1</sup> (μSv/h)	810	38				8.6							
26	TD <sup>2</sup> (μSv/h)	640	13.7				3.8							
27	TD <sup>3</sup> (μSv/h)	60	1.61				0.17							
28	VISITAS													
29	W.C.													
30	D V%													
31	D CPM													
32	LL V%													
33	LL CPM													
34														
35			tiempo tras Ad (d)	TDet (uSv/h)	TDop (uSv/h)	TDIm (uSv/h)	Atotal (GBq)	If (d-1)	Is (d-1)	cap (%)	uSv tras alta	uSv 0 a 4d	Aorina GBq	% Aoril/Atot
36														
37								-1.39	2.59E-01					
38	3.536						3.54	-1.39						
39	3.536	9/9/2010	0.00				3.54	-1.39					0	
40		9/10/2010	0.78	810	640	60	3.31			0.01%	1152.24	2043.42	2.10	63%
41		9/13/2010	3.71	38	13.7	1.61	2.57	-1.23	-1.16E+00	0.54%	72.17	3123.50	2.54	99%
42		9/16/2010	6.90	8.6	3.8	0.27	1.95	-0.56	-2.59E-01	0.545%				
43														
44														
45														
46														

Página 1

# Imagen conjugada con fuente sobre paciente

- 1) Adquisición solo de paciente: Tumor only, Uptake 1
- 2) Adquisición con paciente y fuente sobre tumor: Uptake 1 y 2

Fuente

Fuente	uCi (medida)	MBq medida	Fecha medida	MBq calibracion	Fecha calibracion	uCi(calculo)
RC	107.5	39.775	9/16/2010	187.67	8/2/2010	103.91

Uptake 1 y 2	Fuente	Image	cps A	size A	cps P	size P
Uptake 1	RC	T only	2422	495	1039	1105.5
Uptake 1	T	T only	2873	525	930	805
Uptake 2	RC	T+RC	32544	495	8084	1105.5
Uptake 2	T	T+RC	30767	525	7129	805

Uptake 1 y 2	cps brutas A	Backg 1 A	cps netas A	cps brutas P	Backg 1 P	cps netas P	C, media geom	uCi
RC	32544	2422.00	30122.00	8084	1039.00	7045.00	14567.41	103.91
T	30767	2568.79	28198.21	7129	756.58	6372.42	13404.89	96

# Imagen conjugada con fuente sobre paciente

0° Tumor

180° Tumor

180° Fuente

0° Fuente



# Imagen conjugada Tumor only A

## Statistics for One Image Only:

REGION NUMBER	REGION TOTAL	REGION PIXELS	REGION CTS/PIX	REGION MAX	REGION MIN
1	2873	525.0	5.5	24	0



# Comparación Actividad día 6.9 según método

De modelo analítico con medida tasas dosis

$$A_T(6.9) = 3.54 * \frac{0.55}{100} * e^{-0.259*6.9} = 3.26 * 10^{-3} \text{ GBq} = 88 \mu \text{ Ci}$$

De tasa de dosis día 6.9 y coeficiente htir(1m)

$$A_T(6.9) = \frac{0.27}{80} = 3.38 * 10^{-3} \text{ GBq} = 91.2 \mu \text{ Ci}$$

De imagen conjugada

$$A_T(6.9) = 96 \mu \text{ Ci}$$

# RESULTADOS PACIENTE 622

## DOSIS TUMOR

$$D_T (Gy) = \left(\frac{24}{0.259}\right) * 0.11 * \frac{0.545}{100} * \frac{1}{M_T(g)} 3536 = \frac{196}{M_T(g)} Gy$$

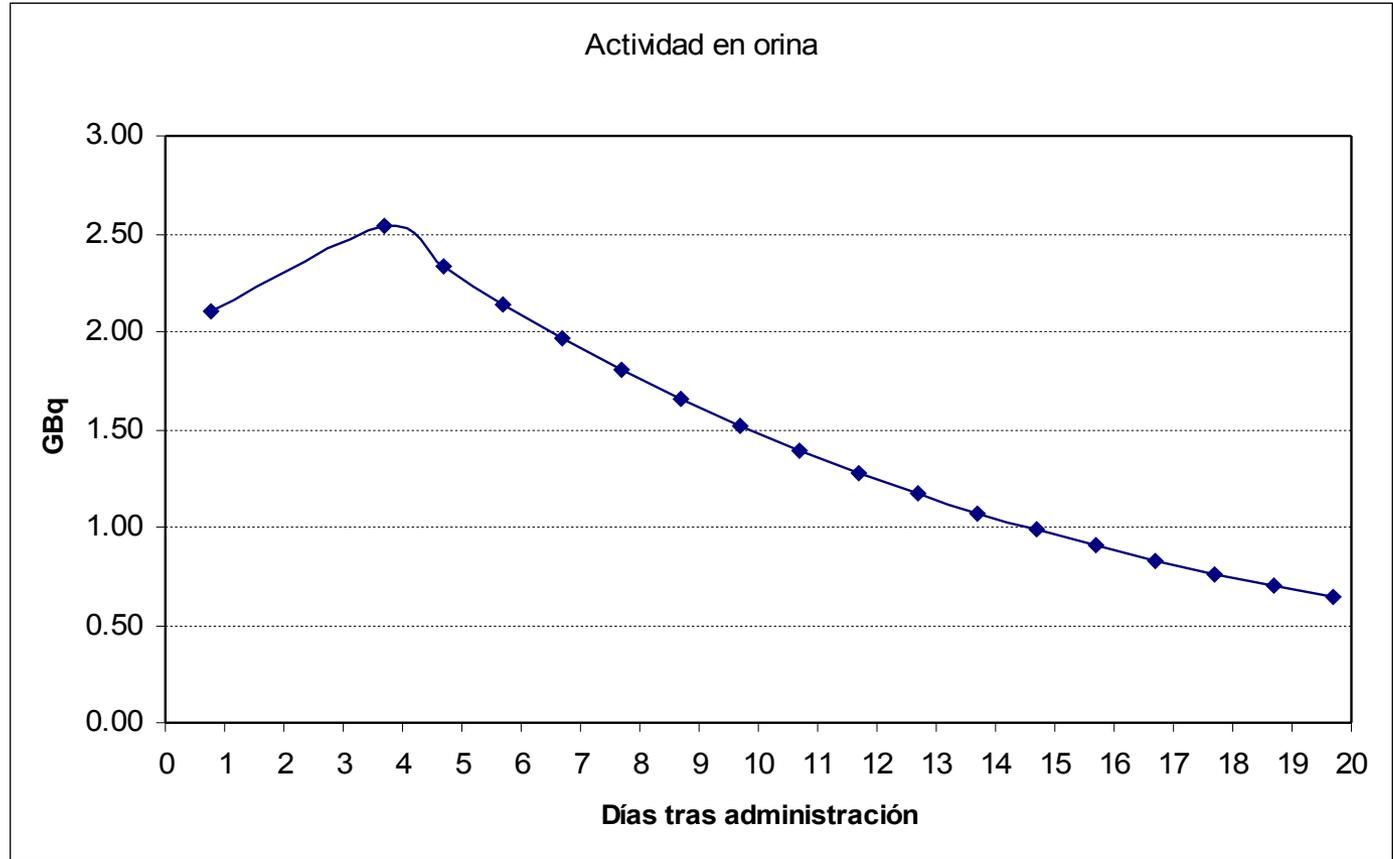
## DOSIS MEDULA ROJA

$$D_{MR}^{mujer} = 5.73 * 10^{+6} * \frac{3.536}{1.39 * 65000} = 224 \pm 97 mGy$$

## DOSIS FAMILIARES TRAS ALTA A 1 METRO

$$D_{ALTA}(1m) = \left[ \frac{50 * 24 * 3.536}{1.39} * e^{-1.39 * 3.71} \right] + \left[ \frac{80 * 24 * \frac{0.545}{100} * 3.536}{0.259} * e^{-0.259 * 3.71} \right] = 72 \mu Sv$$

# RESULTADOS PACIENTE 622



# Ultimas tendencias

- Ablación con dosis de 500 Gy (Samuel)
- Al menos una dosis acumulada de 300 Gy debe ser liberada en el resto para conseguir la ablación (Maxon)
- 173-374 Gy tiene tasas similares de ablación (Bal)
- La eficiencia del tratamiento con radiación se relaciona directamente con la dosis de radiación absorbida. A veces no es así:

En pacientes con 120 Gy se consigue la ablación y sin embargo en otros pacientes con 600 Gy no se consigue. (Bal)

¿Por qué?

- 1) El I-131 no se distribuye homogéneamente en el tumor.
- 2) Estimación errónea de la masa del resto tumoral
- 3) Las dosis reportadas citotóxicas de I-131 en tejidos tiroideos normales y neoplásicos muestran diferencias significativas.

O sea diferencias en la radiosensibilidad, lo cual es una variable biológica desconocida, indefinida e impredecible y que varía de individuo a individuo. (Bal)

- Bal concluye que con dosis entre 25 y 50 mCi se obtienen los mismos resultados en cuanto a éxito en la ablación, si la cirugía deja un resto menor de 5 gramos o una captación menor del 10%.
- La ablación se relaciona con la dosis en sangre. 400 mGy en sangre son necesarios para asegurar la ablación. Hänscheid
- La actividad administrada dependerá de la constante efectiva de aclaramiento renal. Hänscheid