Jornada de I+D+i
Proyectos de Investigación en CSN
Protección Radiológica
CSN, Madrid. 18 de junio de 2026

DESARROLLO DE UN PROTOCOLO NACIONAL PARA LA EVALUACIÓN DE I-131 EN SITUACIONES DE EMERGENCIA (PROYECTO MEYER)

M. Antonia López Ponte (CIEMAT)

Equipo Investigador: M.A. Lopez (IP), J.F. Navarro, B. Pérez, J. Ruiz, I. Sierra, S. Pereira, I. Amor, M.D. Rueda

Dosimetría individual en situaciones de emergencia radiológica o nuclear

- ***Prioridad.*** Identificar individuos expuestos y cuantificar las dosis recibidas por los trabajadores y la población

- ***Fase temprana de un accidente en un reactor nuclear*****:** riesgo inhalación
  - elementos volátiles: I (**^{131}I**, ^{132}I, ^{133}I,^{134}I, ^{135}I), Cs (^{134}Cs, ^{136}Cs, ^{137}Cs) y Te (^{132}Te),
  - gases nobles (p.e. xenon (^{133}Xe))



- ***Exposición interna por incorporación de ^{131}I*** de $T_{1/2}$ = 8.02 d, que una vez absorbido se deposita en tiroides
  - Reto: medida de un gran nº de individuos de diferentes edades en un área geográfica extensa y la evaluación de la DOSIS COMPROMETIDA.
    - Fase 1: Triaje para identificación de individuos más expuestos,
      Se recomienda **medir 1-10 días tras incorporación** (Proyecto Cathymara)
    - Fase 2: Seguimiento médico y dosimétrico

Dosimetría individual en situaciones de emergencia radiológica o nuclear

- ***Proyecto MEYER I+D+I*** *– Hacia un protocolo nacional para la medida de ^{131}I en tiroides en población expuesta en situaciones de emergencia radiológica o nuclear. 2021-2024*

Convenio I+D CSN – CIEMAT – TECNATOM/Westinghouse

Ciemat Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

tecnatom

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR


FIRMADO

CSN tecnatom Ciemat

CONVENIO ENTRE EL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR, EL CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGÉTICAS MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLÓGICAS O.A., M.P., Y LA EMPRESA TECNATOM, S.A.

HACIA UN PROTOCOLO NACIONAL PARA LA EVALUACIÓN DEL I-131 EN SITUACIONES DE EMERGENCIA.

Entidades colaboradoras: Hospital Universitari I Politecnica de la Fe, Hospital de la Santa Creu I Sant Pau, Universidad de Baleares, Universidad del País Vasco y Universidad de Valencia

Origen: Plataforma PEPRI de I+D en Protección Radiológica, vinculada a la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR). GT9 "Detección y Medida de las Radiaciones"

Proyecto MEYER – Hacia un protocolo nacional para la medida de ^{131}I en tiroides en población expuesta en situación de emergencia radiológica o nuclear.

Fase 1 (8 meses): procedimiento de calibración de equipos

1.- Selección y definición de los maniquíes de calibración y fuentes a utilizar

2.- Fabricación de los maniquíes tipo ANSI monolobulares y adquisición de las fuentes de ^{133}Ba y ^{137}Cs, simuladores de las emisiones del ^{131}I

3.- Realización de inventario de equipos de medida disponibles:

CRC, detectores NaI(Tl), HP Ge, $LnBr_3$, gammacámaras, monitores de radiación,…

4.- Definición de un protocolo de calibración.

Maniquíes tiroides de adulto y otras edades





Proyecto MEYER – Hacia un protocolo nacional para la medida de ^{131}I en tiroides en población expuesta en situación de emergencia radiológica o nuclear.

Fase 2 (16 meses)

5.- Circulación de los maniquíes entre los centros del Convenio

6.- Análisis de resultados de calibración.

7.- Conclusiones y Acciones correctivas.

8.- Identificación de instalaciones y centros colaboradores en la fase 2 (calibración + intercomparación)

9.- Circulación de los maniquíes entre los otros centros e instalaciones seleccionados.
Calibración + Intercomparación. Actualización del inventario de equipos.



10.- Análisis de los resultados de las calibraciones de los equipos y de las validaciones

11.- **Propuesta de Protocolo Nacional para calibración, medida y cálculo de dosis de ^{131}I en tiroides en población expuesta**.

Proyecto MEYER – Hacia un protocolo nacional para la medida de ^{131}I en tiroides en población expuesta en situación de emergencia radiológica o nuclear.

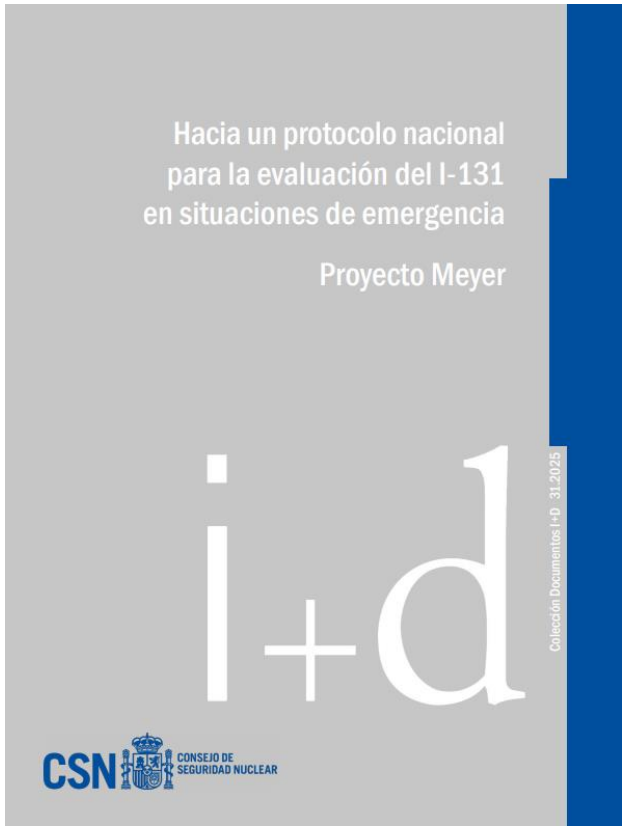
Fase 3 (6 meses)

12.- Reunión Final

13.- Informe Final

14.- Jornada divulgativa del proyecto en la sede del CSN
– pospuesta, se organizará el 17/11/2026 en el CSN

15.- Cierre del Proyecto



https://www.csn.es/app-aplicaciones-moviles/noticias-csn/-/asset_publisher/vLxpS0fovO1R/document/id/2723860?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.csn.es%3A443%2Fapp-aplicaciones-moviles%2Fnoticias-csn%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_vLxpS0fovO1R%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D1

Proyecto MEYER – MANIQUÍES TIROIDEOS DEPENDIENTES DE LA EDAD



Maniquí tiroides ANSI 13.44, Adulto

- Los maniquíes se han diseñado conforme a las especificaciones de la norma ANSI/HPS N13.44-2014, con un solo orificio cilíndrico para albergar la fuente simuladora de la glándula tiroidea

- El CIEMAT ha diseñado 4 tipos de maniquíes: adulto y niños de 10 años, 5 años y 1 año.
  Se dispone de 2 familias de maniquíes, que permitieron realizar 2 rutas de calibraciones y validaciones

- El material utilizado es metacrilato, simulador de tejido blando en cuanto a densidad y coeficiente de atenuación.

- Los tamaños de los simuladores de tiroides están basados en la publicación 89 de ICRP (2002) y son diferentes para cada edad.

- Viales simuladores de la contaminación interna en la glándula tiroidea: fuentes de calibración/validación con ^{133}Ba y ^{137}Cs, emisiones similares a las del ^{131}I. Actividades de referencia a fecha 19/05/2022

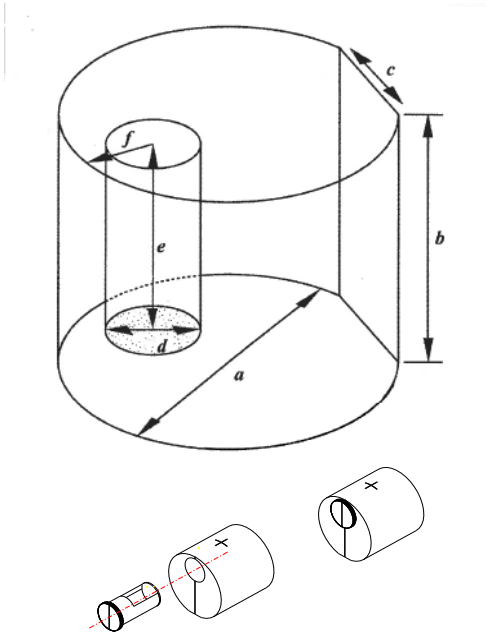
Actividad vial	Niño 1 año	Niño 5 años	Niño 10 años	Adulto
^{133}Ba (Bq)	4000	7478	17374	44225
^{137}Cs (Bq)	451	843	1959	4987

Proyecto MEYER – MANIQUÍES TIROIDEOS DEPENDIENTES DE LA EDAD

Dimensiones de los maniquíes-cuello para cada edad

Edad	Perímetro (mm)	ϕ cilindro grande (mm)	H cilindro grande (mm)	ϕ cilindro pequeño (mm)	H cilindro pequeño (mm)	Espesor de cubretiroides (mm)
1 año	220 ± 2	71,0 ± 0,5	71,0 ± 0,5	21,0 ± 0,5	63,0 ± 0,5	2,1 ± 0,5
5 años	260 ± 3	82,0 ± 0,5	82,0 ± 0,5	23,0 ± 0,5	72,0 ± 0,5	3,0 ± 0,5
10 años	300 ± 4	95,0 ± 0,5	96,0 ± 0,5	24,0 ± 0,5	79,0 ± 0,5	4,2 ± 0,5
Adulto ANSI 13.44	410 ± 5	127,0 ± 0,5	127,0 ± 0,5	50,0 ± 0,5	100,0 ± 0,5	5,0 ± 0,5







Proyecto MEYER – MANIQUÍES TIROIDEOS DEPENDIENTES DE LA EDAD

Fuente de calibración de Ba-133 y Cs-137, simuladora de las emisiones del I-131

Isótopo	T1/2	E (KeV)	Ie (%)	Isótopo	T1/2	E (KeV)	Ie (%)
^{131}I	8 d	80.2	2.60	^{133}Ba	10.5 a	81.0	36.00
		284.3	6.10			276.0	7.16
						302.85	18.33
		364.5	81.20			356.01	62.05
						383.85	8.94
		636.99	7.17	^{137}Cs	30.1 a	661.65	85.1

Proyecto MEYER – INVENTARIO DE EQUIPOS – miembros y colaboradores del Convenio – coordina TECNATOM

ENTIDAD COLABORADORA	TIPO DE EQUIPO DE MEDIDA	MARCA, MODELO DEL EQUIPO DE MEDIDA
Universidad del País Vasco (Bilbao)	Radiámetro convencional	CANBERRA, Babyline 81 Portable Gamma and X-ray Doserate Meter/Dosimeter
	Radiámetro convencional	FLUKE, 451P-DE-SI
	Espectrómetro portátil	MIRION, LaBr-1.5*1.5
Hospital Universitari i Politécnic La Fe (Valencia)	Gammacámara	Philips, Bright View XCT 1
	Gammacámara	Philips, Bright View XCT 2
	Espectrómetro portátil	CAMBERRA, 802 Scintillation Detector
	Radiámetro convencional	ATOMTEX, AT1123
Universidad de Balerales (Palma de Mallorca)	Radiámetro convencional	LAMSE, MS6020-R
	Radiámetro convencional	LAMSE, CT15
Universidad de Valencia Laboratorio de Radiactividad Ambiental (LARAM)	Espectrómetro portátil	ORTEC, GEM 201900P
	Espectrómetro portátil	CANBERRA, 51B51/2M
Hospital de la Santa Creu i Sant Pau (Barcelona)	Gammacámara	PHILIPS, Bright View XCT
	Gammacámara	SIEMENS, Symbia Intevo Bold
	Monitor de contaminación	BERTHOLD, LB 124 ScintD
	Espectrómetro portátil	CAPINTEC, CAPTUS 2000
CIEMAT	Contadores de Radiactividad Corporal	CANBERRA, Fastscan
	Contadores de Radiactividad Corporal	CANBERRA, Broad Energy Germanium
	Monitor de contaminación	BERTHOLD, LB 124 ScintD
TECNATOM/Westinghouse	Contadores de Radiactividad Corporal	HELGESON, Quicky
	Contadores de Radiactividad Corporal	HELGESON, DIYS

Proyecto MEYER – INVENTARIO DE EQUIPOS – miembros y colaboradores del Convenio

Contador de Radiactividad Corporal del CIEMAT, Madrid



Contador FASTSCAN





Sistema BE Ge en interior de cámara blindada

Servicio de Dosimetría Interna de Tecnatom/Westinghouse, Madrid



Contador de Radiactividad Corporal tipo DIYS HELGESON –



Contador de Radiactividad Corporal tipo Quicky HELGESON –

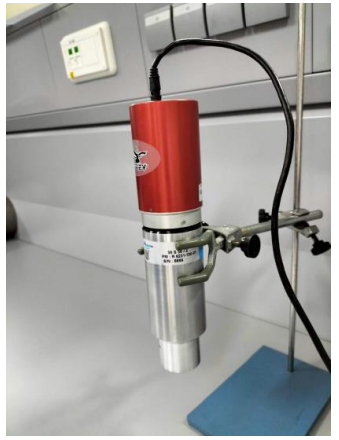
Proyecto MEYER – INVENTARIO DE EQUIPOS – miembros y colaboradores del Convenio



CANBERRA Babyline 81



FLUKE/451P-
DE-SI-RYR



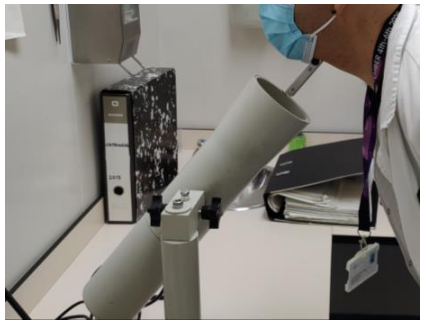
MIRION+SaintGobain/ LaBr3(Ce)



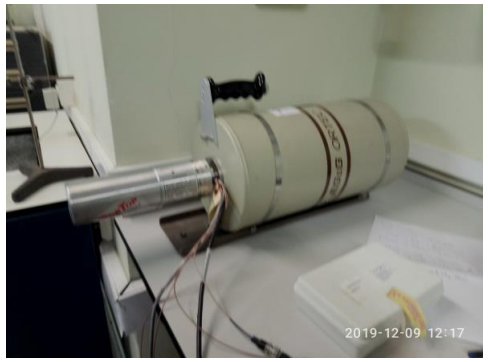
Gammacámara1 BrightViewX and XCT



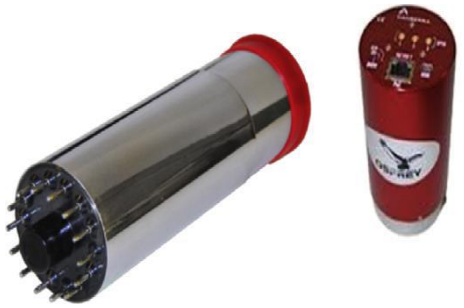
BertholdLB 124 ScintD



CAPINTEC /
CAPTUS 2000



ORTEC-MODELO
GEM 201900P



NaI Camberra Modelo 802

Proyecto MEYER – CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS

- Se proponen **geometrías de calibración** diferentes en función del tipo de equipo de medida, según 3 categorías: **equipos espectrométricos, no espectrométricos y gammacámaras.**

- La geometría de calibración debe de ser reproducible y realista en este tipo de escenarios (confortable para las personas medidas, estable, tiempos cortos de medida, etc.).

- **Se priorizará la medida del individuo de pie o sentado** (posición vertical del maniquí cuello tiroides), **salvo en el caso de las gammacámaras y en el contador DIYS de TECNATOM/Westinghouse y de las CCNN** en los que el individuo estará tumbado (posición horizontal del maniquí cuello tiroides).

- ***Medida maniquíes de calibración - Cálculo de la Eficiencia (cps/Bq) dependiente de la edad***
  La actividad de referencia estará corregida por decaimiento radiactivo a la fecha de medida.

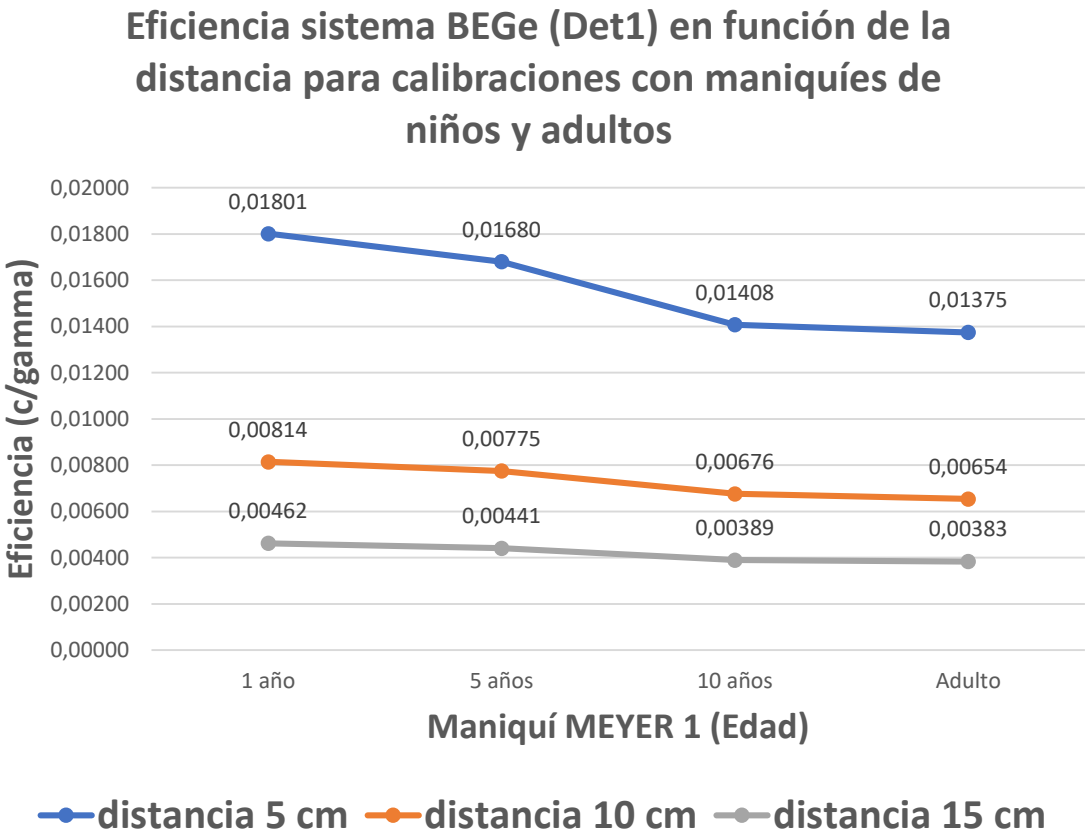
$$Ef\ (\frac{cps}{Bq}) = \frac{Nºcuentas/t(s)}{Aref(Bq)} = \frac{[cps]}{[Bq]} \quad \text{(Ec 1)}$$

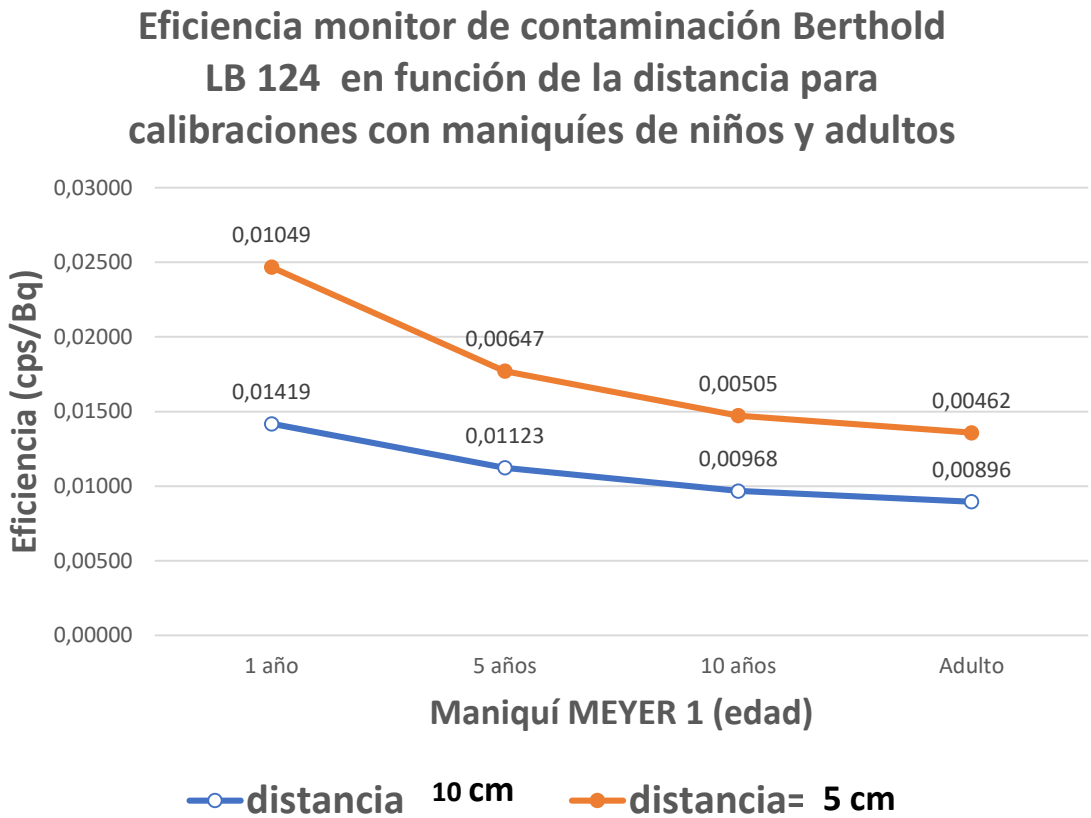
$$Ef\ (\frac{c}{\gamma}) = \frac{Nºcuentas/t(s)}{Aref(Bq)*Ie} = \frac{[c/s]}{[\gamma/s]} \quad \text{(Ec 2)}$$

- ***Estimación de la sensibilidad de detección (LD/AMD)*** **-** medidas con el maniquí cuello-tiroides y viales blanco, en la misma geometría que la de calibración. Los tiempos de medida deben ser relativamente cortos (del orden de minutos) para hacer un rápido cribado de la población expuesta.

Proyecto MEYER – EJERCICIO DE CALIBRACIÓN – participantes del proyecto

RESULTADOS DE EFICIENCIA (c/g) Laboratorio del Contador de Radiactividad Corporal del CIEMAT





Máxima eficiencia y mejor sensibilidad de detección a distancias cortas y para el niño de menor edad

Proyecto MEYER – EJERCICIO DE CALIBRACIÓN + VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS

ENTIDADES INVITADAS EN LA FASE 2 DEL PROYECTO MEYER

Octubre 2023 –Abril 2024

TRANSPORTE MANIQUÍ MEYER Nº 1		
Nombre Organización	Fecha entrada (dd/mm/aa)	Fecha salida (dd/mm/aa)
HOSPITAL DE LA PRINCESA	06/10/2023	20/10/2023
HOSPITAL UNIVERSITARIO LA PAZ	24/10/2023	7/11/2023
HOSPITAL GENERAL UNIVERSITARIO GREGORIO MARAÑON	8/11/2023	21/11/2023
AD Qualitas, S.L. (ADQ)	22/11/2023	05/12/2023
UNIDAD MILITAR DE EMERGENCIA (UME)	11/12/2023	22/12/2023
STERICYCLE CONSENUR	10/01/2024	23/01/2024
COMPLEJO HOSPITALARIO INFANTA CRISTINA Hospital Univ. Badajoz	26/01/2024	07/02/2024
HOSPITAL CLINICO UNIVERSITARIO DE SALAMANCA	9/02/2024	21/02/2024
COMPLEJO ASISTENCIAL UNIVERSITARIO DE BURGOS	23/02/2024	06/03/2024

Proyecto MEYER – EJERCICIO DE CALIBRACIÓN + VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS

ENTIDADES INVITADAS EN LA FASE 2 DEL PROYECTO MEYER

Octubre 2023 –Abril 2024

TRANSPORTE MANIQUÍ MEYER Nº 2		
Nombre Organización	Fecha entrada (dd/mm/aa)	Fecha salida (dd/mm/aa)
UAIR de la ORE	06/10/2023	20/10/2023
ACPRO	24/10/2023	7/11/2023
Generalitat de Catalunya. Departament d'Empresa i Treball. DG d'Indústria	8/11/2023	21/11/2023
CN Trillo	22/11/2023	05/12/2023
PROINSA	11/12/2023	22/12/2023
CN Almaraz	10/01/2024	23/01/2024
PENGUA GRUPO RADIOLÓGICO	26/01/2024	07/02/2024
CN Cofrentes	9/02/2024	21/02/2024
CN Sta. María de Garoña	23/02/2024	06/03/2024
CN Vandellós II	08/03/2024	21/03/2024
CN Ascó	22/03/2024	05/04/2024

Proyecto MEYER – EJERCICIO DE CALIBRACIÓN + VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS (INTERCOMPARACIÓN)

- Una vez calibrados los equipos en las diferentes geometrías, se realizaron las medidas de validación utilizando viales diferentes a los de calibración.
- Los participantes deben seguir los siguientes pasos:
  - Las medidas de validación se realizan en condiciones geométricas idénticas a las de calibración.
  - Se determina la Actividad (Bq) de Ba-133 (equipos espectrométricos, gammacámaras) o de Ba-133 + Cs-137 (equipos no espectrométricos) a partir de las eficiencias obtenidas en las correspondientes calibraciones:

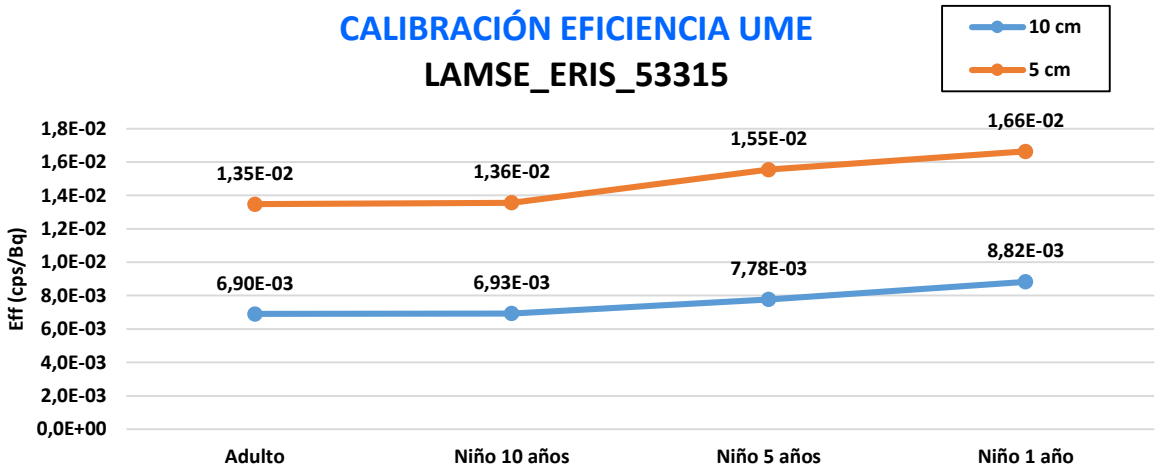
$$A(I-131)(Bq) = \frac{Nºcuentas/t(s)(cps)}{Ef(I-131)(cps/Bq)}$$

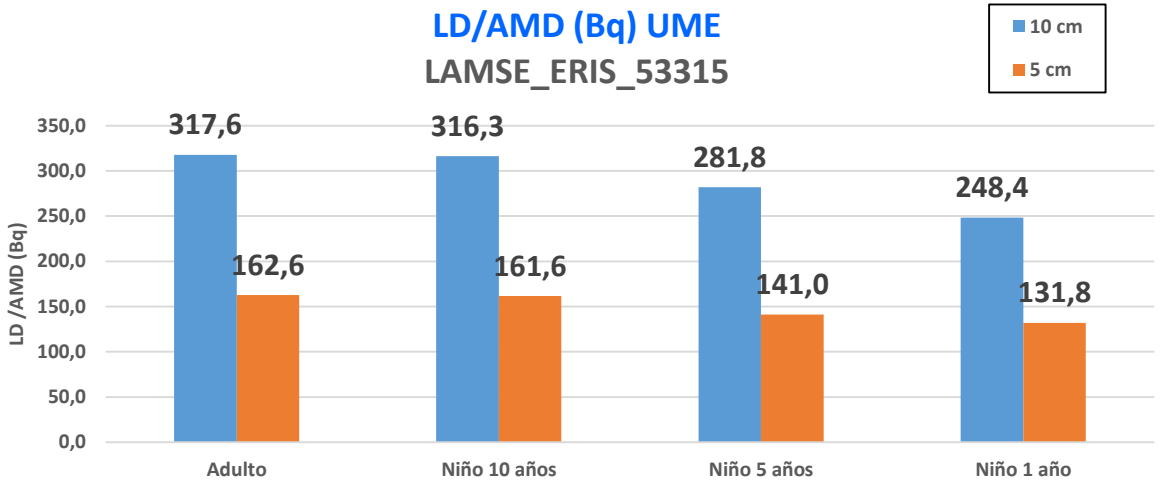
- Se valoró el resultado de validación en base al criterio de aceptación de ISO28218 del Bias (-25%, +50%)

$$\text{Bias}\ (\%) = 100 \times \frac{\left(A_{\text{med}} - A^{\text{ref}}\right)}{A^{\text{ref}}}$$

Proyecto MEYER – EJERCICIO DE CALIBRACIÓN + VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS (INTERCOMPARACIÓN)

Unidad Militar de Emergencias (UME) LAMSE ERIS 53315 – Monitor de Radiación

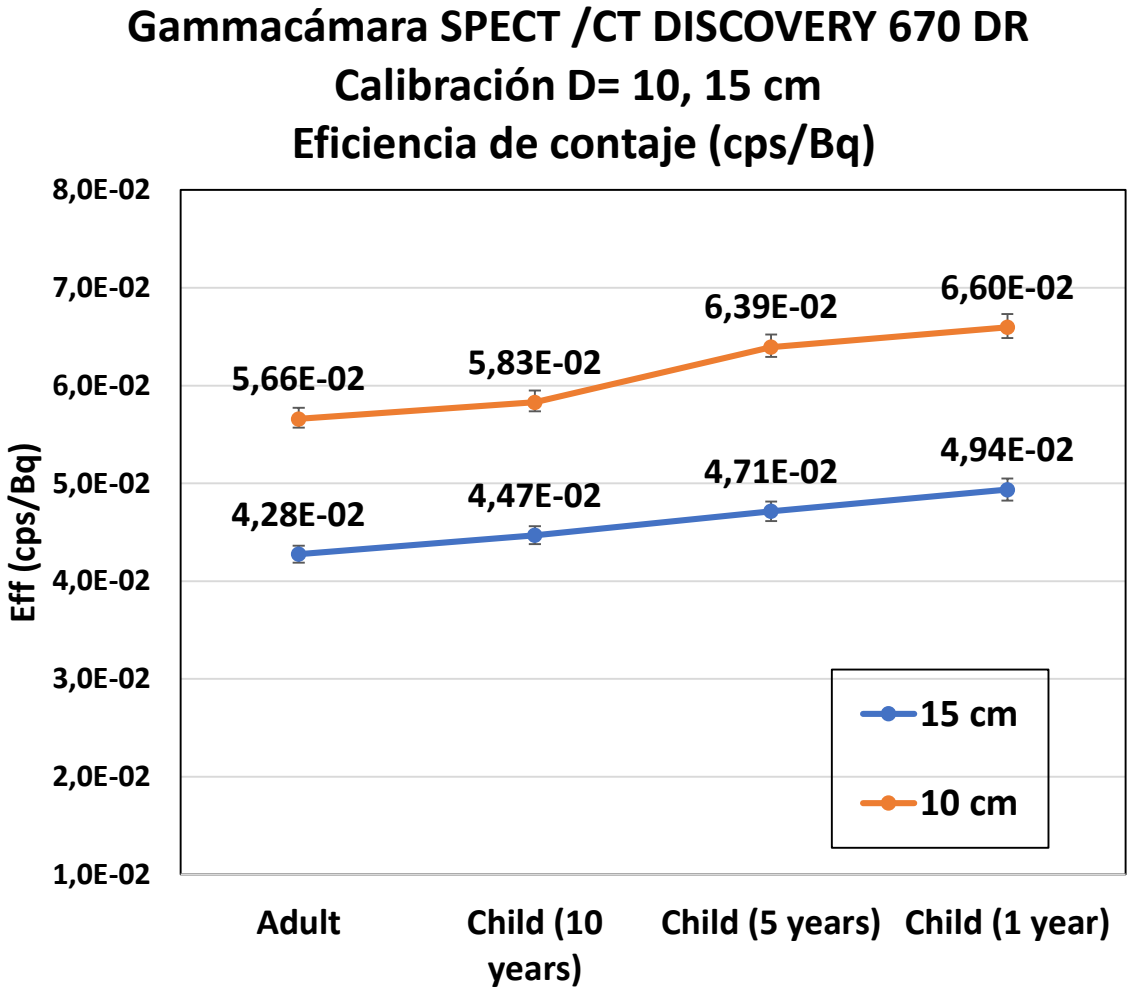


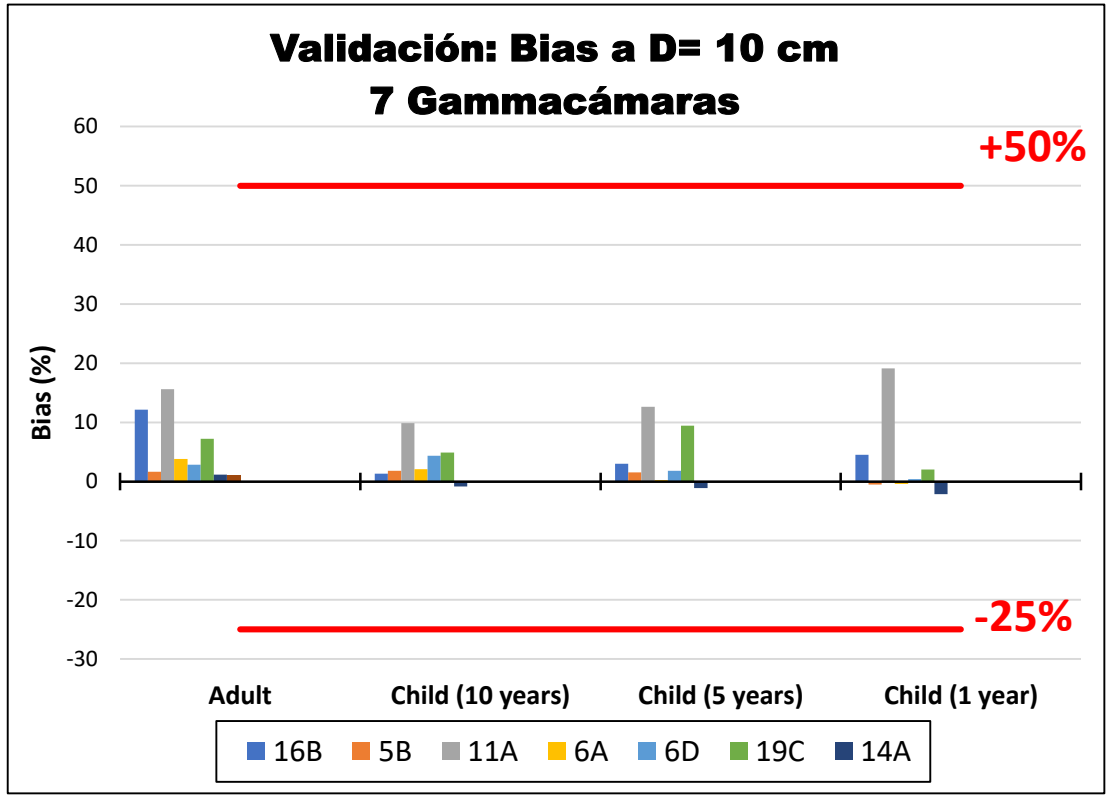


Edad	Fecha medida dd/mm/aaaa	Distancia cuello-detector (cm)	Tiempo de medida (s)	Eficiencia cps/Bq	Actividad (fecha medida) (Bq)	Actividad (fecha referencia) (Bq)	Bias
adulto	13/12/2023	5	10	1,35E-02	7187,90	6582,80	0,0919
10	13/12/2023	5	10	1,36E-02	4177,78	4319,77	-0,0329
5	13/12/2023	5	10	1,55E-02	2680,65	2744,34	-0,0232
1	13/12/2023	5	10	1,66E-02	1656,70	1646,77	0,0060
adulto	13/12/2023	10	10	6,90E-03	7405,63	6582,80	0,1250
10	13/12/2023	10	10	6,93E-03	4504,95	4319,77	0,0429
5	13/12/2023	10	10	7,78E-03	2970,92	2744,34	0,0826
1	13/12/2023	10	10	8,82E-03	1674,54	1646,77	0,0169



Proyecto MEYER – EJERCICIO DE CALIBRACIÓN + VALIDACIÓN DE LOS EQUIPOS (INTERCOMPARACIÓN)





$$\text{Bias}\ (\%) = 100 \times \frac{\left(A_{\text{med}} - A^{\text{ref}}\right)}{A^{\text{ref}}}$$

Proyecto MEYER – CÁLCULO DE DOSIS

- **ESTIMACIÓN DOSIMÉTRICA -** El protocolo también proporciona fracciones de retención y coeficientes de dosis dependientes de la edad, utilizando los modelos biocinéticos y dosimétricos más recientes desarrollados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) para la evaluación de las dosis comprometidas.

- Estos datos dosimétricos se calcularon utilizando el software PLEIADES de UKHSA (Reino Unido)

m(t) Fracciones de retención dependientes de la edad para Inhalación de ^{131}I Tipo F AMAD= 1 µm

t(días) post Incorporación	Niño 1 año	Niño 5 años	Niño 10 años	Niño 15 años	Adulto
1	1.19E-01	1.06E-01	1.07E-01	9.71E-02	1.01E-01
3	1.09E-01	9.99E-02	1.03E-01	9.25E-02	9.73E-02
5	8.43E-02	8.07E-02	8.46E-02	7.65E-02	8.09E-02
7	6.55E-02	6.53E-02	6.95E-02	6.31E-02	6.71E-02
10	4.52E-02	4.75E-02	5.18E-02	4.74E-02	5.07E-02
14	2.78E-02	3.13E-02	3.50E-02	3.24E-02	3.50E-02
21	1.20E-02	1.51E-02	1.77E-02	1.67E-02	1.83E-02
30	4.14E-03	5.97E-03	7.43E-03	7.13E-03	7.98E-03

Proyecto MEYER – CÁLCULO DE DOSIS

- **ESTIMACIÓN DOSIMÉTRICA – Coeficientes de dosis e(T) Sv/Bq dependientes de la edad**

Inhalación de ^{131}I Tipo F AMAD= 1 µm

Edad	Coeficiente de dosis e(T) Sv/Bq
1 año	6.20E-08
5 años	3.31E-08
10 años	1.59E-08
15 años	9.71E-09
Adulto	6.87E-09

Incorporación I (Bq) = M(Bq) / m(t)

Dosis Efectiva Comprometida E(T) Sv = I(Bq) x e(T) Sv/Bq

EJEMPLO – Actividad en el tiroides M= 1000 Bq I-131 in un niño de 5 años, t= 5 días después de la incorporación
Fracción de retención en el tiroides m(5 días) = 8.07E-02
Incorporación I(Bq)= M(Bq) / m(5 días)= 1000 Bq / 8.07E-2= 1.24E+4 Bq I-131
Coeficiente de dosis e(70) niño de 5 años = 3.31E-8 Sv/Bq
Dosis Efectiva Comprometida E(70)= I(Bq)xe(70) Sv/Bq= 1.24E+4 Bq x 3.31E-8 Sv/Bq= **0.4 mSv I-131**

Proyecto MEYER – CÁLCULO DE DOSIS

- **ESTIMACIÓN DOSIMÉTRICA – Actividad de ^{131}I en tiroides para una dosis efectiva comprometida de 1 mSv**

Inhalación de ^{131}I Tipo F AMAD= 1 µm

t(days) post Incorporación	M’ (Bq) Niño 1 año	M’ (Bq) Niño 5 años	M’ (Bq) Niño 10 años	M’ (Bq) Niño 15 años	M' (Bq) Adulto
1	1919	3202	6745	9998	14708
3	1757	3017	6493	9524	14170
5	1359	2437	5333	7877	11781
7	1056	1972	4381	6497	9772
10	729	1435	3265	4880	7383
14	448	945	2206	3336	5097
21	193	456	1116	1719	2665
30	67	180	468	734	1162

M’ (Bq)= E(T) Sv x m(t) / e(T) Sv/Bq

PROTOCOLO PARA MEDIDA DE I-131 EN TORIDES Y CÁLCULO DE DOSIS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

1.- CALIBRACIÓN DE EQUIPOS



- Equipos Espectrométricos – maniquí cuello vertical u horizontal, d= 5 o 10 cm
- Equipos No Espectrométricos – maniquí cuello vertical, d= 5 o 10 cm, resta de fondo ambiental
- Gammacámaras de hospitales – maniquí cuello horizontal, d= 10 o 15 cm, resta de fondo medida sin colimador, ventana de energía ~356 keV (Ba-133)

2.- MEDIDA DE ACTIVIDAD DE I-131 EN TIROIDES



- Tiempo de medida según el equipo: 30 s – 8 min
- Distancia tiroidea-detector: 5, 10 (o 15) cm, igual que la geometría de calibración
- Las medidas en gammacámaras se realizan sin colimador y con sustracción del fondo
- Determinación de la actividad (Bq) de I-131 en la tiroides aplicando el factor de calibración de eficiencia dependiente de la edad para adultos y niños.

3.- ESTIMACIÓN DE LA DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA



- Escenario de incorporación por inhalación aguda de I-131 tipo F, AMAD= 1 µm
- Interpretación de la actividad medida en tiroides para evaluación dosimétrica, aplicando fracciones de retención y coeficientes de dosis dependientes de la edad.

CONCLUSIONES

- El Proyecto MEYER tuvo como objetivo establecer un protocolo para la medición de I-131 en la tiroides de individuos expuestos internamente y la evaluación de dosis en caso de accidentes nucleares.

- El protocolo requiere la calibración de equipos espectrométricos (NaI(Tl), HP Ge, etc.) y no espectrométricos (monitores, etc.), así como de gammacámaras hospitalarias, para una evaluación rápida de I-131 en la tiroides de la población expuesta tras la incorporación de yodo radiactivo durante una emergencia nuclear.

- CIEMAT fabricó un conjunto de cuatro maniquíes de calibración de cuello, dependientes de la edad, que simulan la contaminación interna en niños de 1, 5 y 10 años, y en un adulto. Se insertaron viales que contenían Ba-133 y Cs-137 por la similitud en la emisión de fotones de esta mezcla con el I-131.

- Una vez calibrado el equipo, la medición rápida de I-131 en la tiroides permite identificar a los individuos más expuestos. Las medidas tiroideas pueden realizarse en contadores de radiactividad corporal, en unidades móviles, en hospitales o en el entorno del área contaminada.

- El protocolo también proporciona fracciones de retención y coeficientes de dosis dependientes de la edad para la evaluación dosimétrica, utilizando los modelos biocinéticos y dosimétricos más recientes desarrollados por la ICRP. Estos datos dosimétricos se calcularon utilizando el software PLEIADES de UKHSA.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN