



La Facilidad de Columna Térmica del Reactor Argentino-3 como fuente de neutrones para la investigación de la Terapia por Captura Neutrónica en Boro.

Curso intensivo Terapia por Captura Neutrónica en Boro
“Aspectos interdisciplinarios para la concreción de una radioterapia selectiva”.



Jornadas del Consorcio Universitario Italiano para Argentina – CUIA.

Paula M. Curotto
Gerencia de Área Aplicaciones de la Tecnología Nuclear
Comisión Nacional de Energía Atómica
Reactor RA-3
curotto@cae.cnea.gov.ar



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

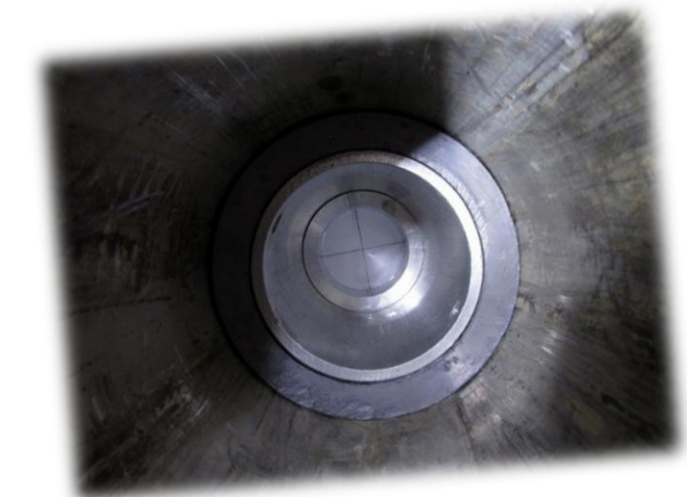
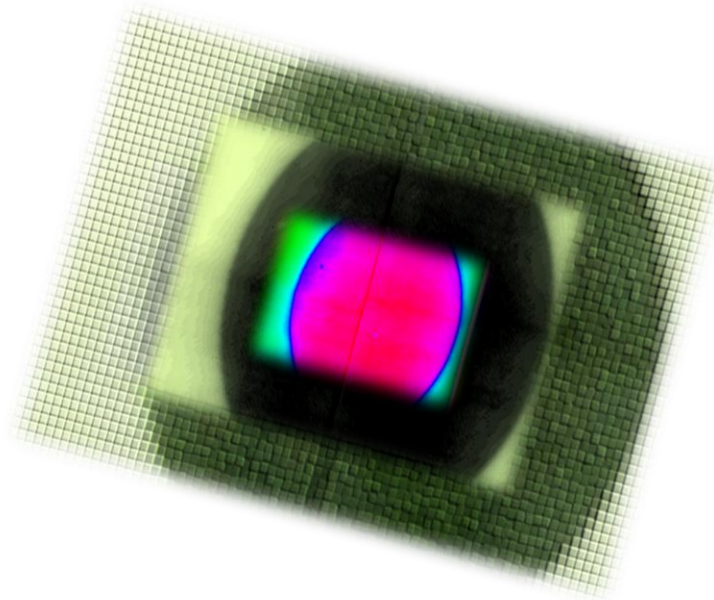
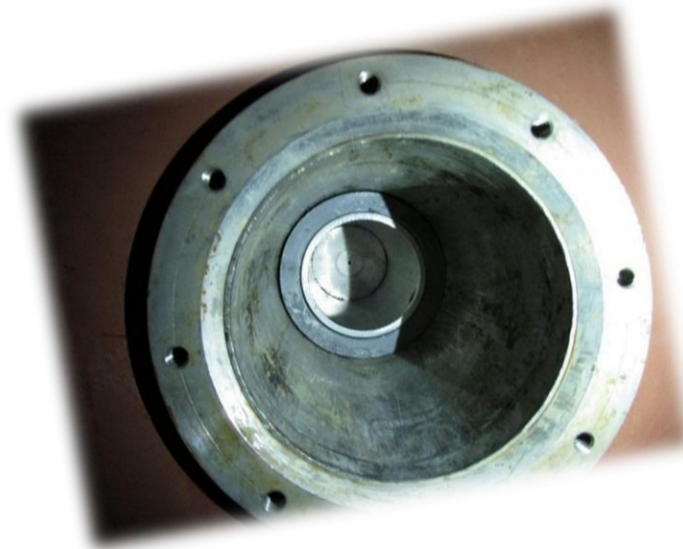
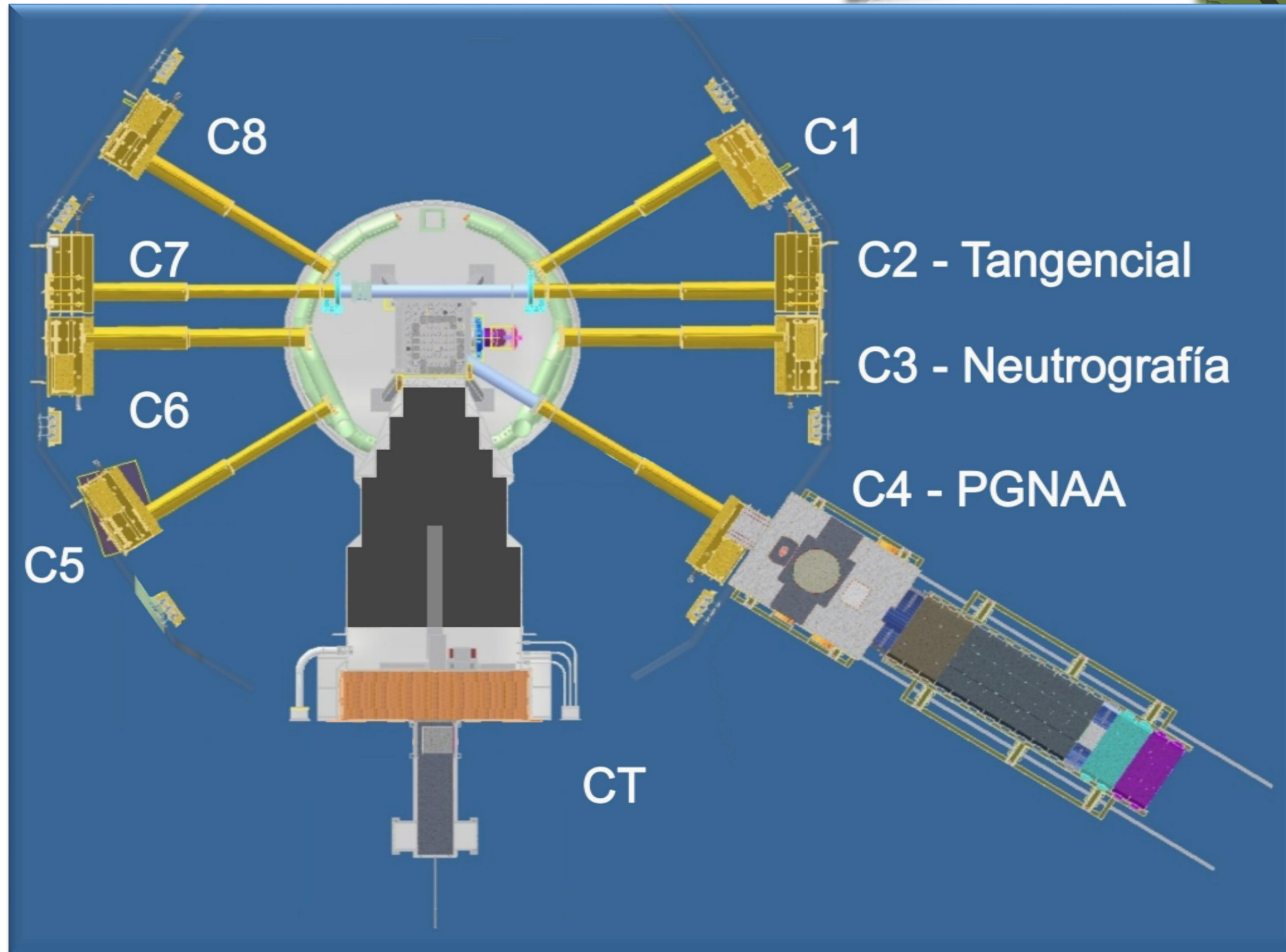
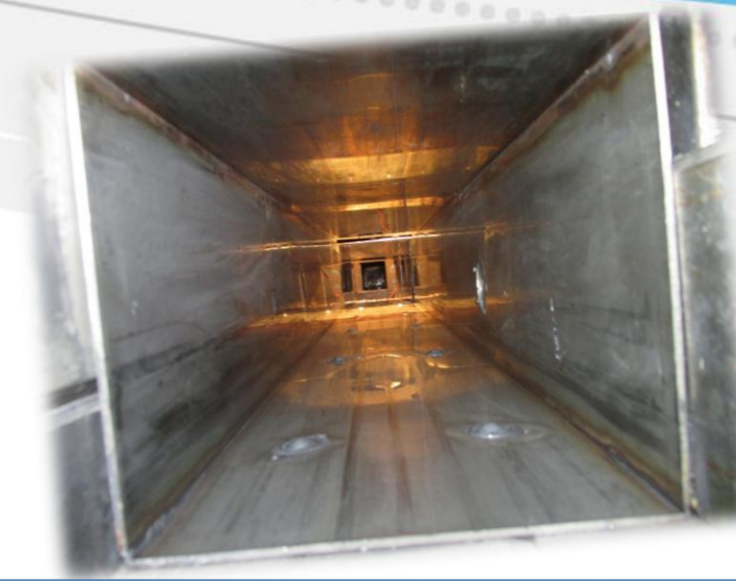


- **Producción de radioisótopos**, investigación y docencia. Primera criticidad en 1967.
- Suministra la mayor parte de los radioisótopos de uso medicinal del país. (⁹⁹Mo).
- Pileta abierta. **U₃O₈ al 20%** desde 1989. MTR. Agua liviana. Grafito.
- Hasta **10 MW** de potencia térmica desde 2004.



- 6 posiciones de irradiación en el núcleo
($2E13 \leq \Phi_{th} \leq 2E14$) n cm⁻² s⁻¹.
- 5 canales horizontales radiales, columna térmica, PGNAA, neutrografía y un tangencial pasante.
- No es posible su apagado y arranque para la introducción de muestras a irradiar durante el ciclo de producción.
- Opera continuamente tres días y medio a la semana.

RA-3 – Canales de irradiación



RA-3 – Actividades



Análisis por activación neutrónica (NAA).

Irradiación de muestras para investigación de la terapia BNC.

Investigación de daño por radiación de diversos materiales.

Pruebas de combustibles para reactores nucleares.

Pruebas, calificación y calibración de instrumentación nuclear.

Termocronología de muestras geológicas.

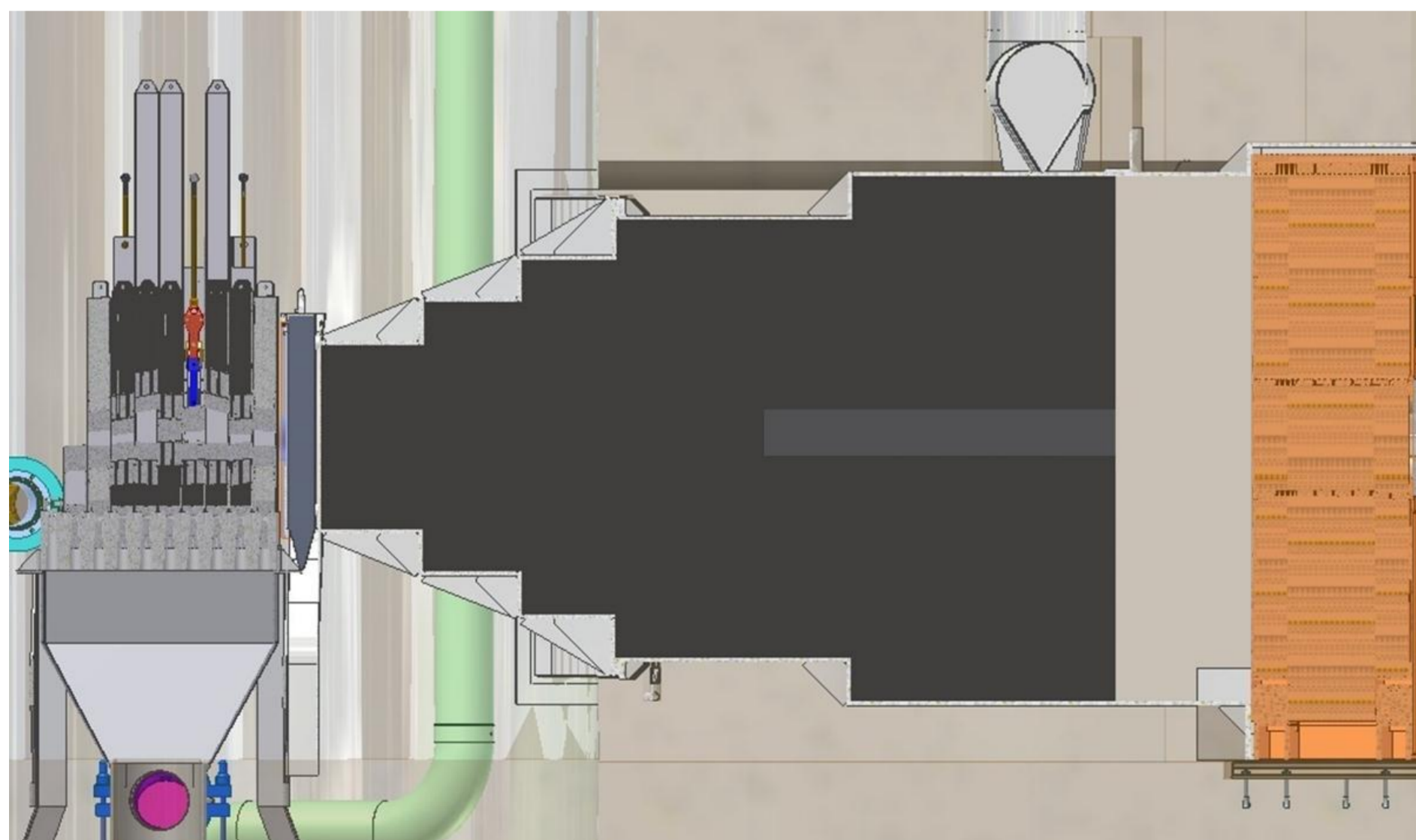
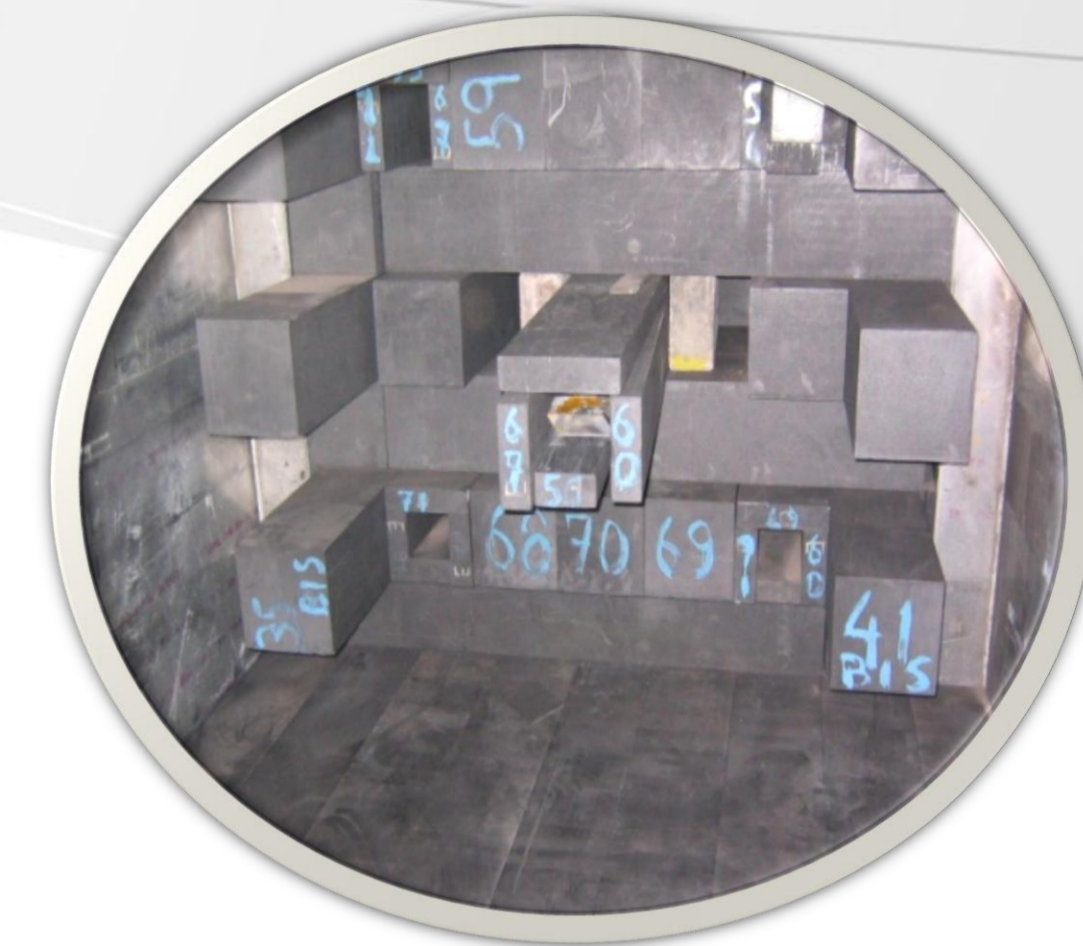
Educación: prácticas para alumnos de la carrera Ingeniería Nuclear con orientación en Aplicaciones (INA) del Instituto Dan Beninson, CNEA-UNSAM.



RA-3 – Columna térmica



Estructura de **grafito** (pureza nuclear) que, en forma de secciones cuadradas escalonadas, atraviesa el blindaje de concreto perimetral al tanque del reactor, llegando hasta las proximidades del núcleo.



Su objetivo es disminuir la energía cinética de los n's provenientes del núcleo, con el **propósito de obtener un campo isotrópico altamente termalizado.**

Posee un **túnel central de aproximadamente 17 cm x 15 cm de sección y de 110 cm de largo.**

Volumen de la cavidad porta-muestras: (20 x 15 x 10) cm.

Un poco de historia...



En Italia, el “Proyecto TAO rMINA” desarrolló un nuevo método para el tratamiento de casos de metástasis de hígado no operables, empleando el tratamiento por BNCT del hígado ex-situ, seguido de autotransplante total del órgano.

El grupo de investigación de BNCT en Argentina se interesa en este proyecto.

Se propone construir un dispositivo apto para realizar las irradiaciones necesarias.

Se elige al RA-3 por sus características para el emplazamiento.

Un poco de historia...



Applied Radiation and Isotopes 67 (2009) S226–S229
 Contents lists available at ScienceDirect
Applied Radiation and Isotopes
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/apradiso





New irradiation facility for biomedical applications at the RA-3 reactor thermal column

M. Miller^{a,*}, J. Quintana^b, J. Ojeda^b, S. Langan^b, S. Thorp^a, E. Pozzi^b, M. Szejnberg^a, G. Estryk^b, R. Nosal^b, E. Saire^b, H. Agrazar^b, F. Graiño^b

^a Instrumentation and Control Department, National Atomic Energy Commission, Argentina
^b RA-3 Nuclear Reactor, National Atomic Energy Commission, Argentina

Applied Radiation and Isotopes
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/apradiso


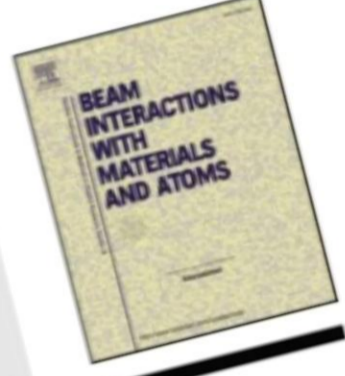


Simulation of the neutron flux in the irradiation facility at RA-3 reactor

S. Bortolussi^{a,b,*}, J.M. Pinto^d, S.I. Thorp^c, R.O. Farias^f, M.S. Soto^g, M. Szejnberg^c, E.C.C. Pozzi^d, S.J. Gonzalez^{c,f}, M.A. Gadan^{a,c}, A.N. Bellino^d, J. Quintana^d, S. Altieri^{a,b}, M. Miller^c

^a Department of Nuclear and Theoretical Physics, University of Pavia, via Bassi 6 27100, Pavia, Italy
^b National Institute of Nuclear Physics (INFN), Section of Pavia, via Bassi 6 27100, Pavia, Italy
^c Department of Instrumentations and Control, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Presbítero Luis González y Aragon 15 (B1802AYA), Buenos Aires, Argentina
^d Department of Research and Production Reactors, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), Av. del Libertador 8250 (1429), Buenos Aires, Argentina
^e CONICET, Avda. Rivadavia 1917, (1033) C.A.B.A. Argentina
^f FCEyN, Universidad de Buenos Aires (1428), Cdad. Universitaria, C.A.B.A. Argentina
^g FCEyN, Universidad de Buenos Aires (1428), Cdad. Universitaria, C.A.B.A. Argentina

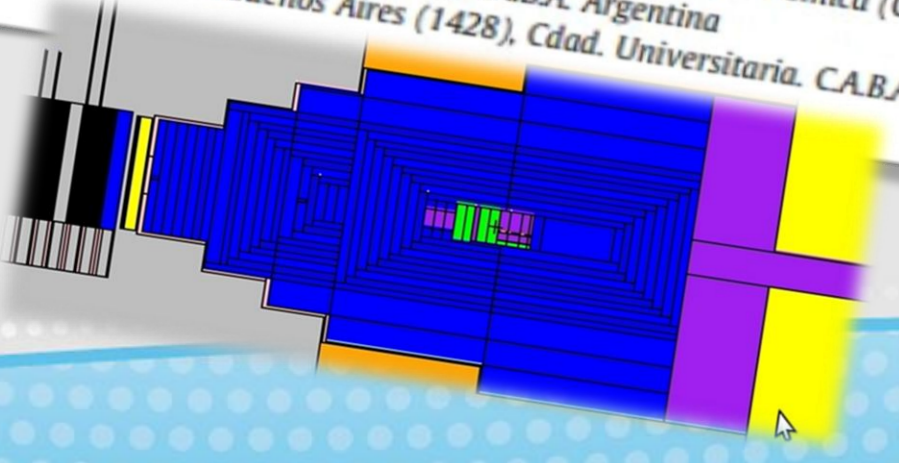
Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/nimb

Neutron flux and gamma dose measurement in the BNCT irradiation facility at the TRIGA reactor of the University of Pavia

S. Bortolussi^{a,b,*}, N. Protti^b, M. Ferrari^{b,c}, I. Postuma^b, S. Fatemi^{a,b}, M. Prata^{b,d}, F. Ballarini^{a,b}, M.P. Carante^{a,b}, R. Farias^{e,f}, S.J. González^{e,f}, M. Marralle^{g,h,i}, S. Gallo^{j,k}, A. Bartolotta^{g,h}, G. Iacoviello^l, D. Nigg^m, S. Altieri^{a,b}

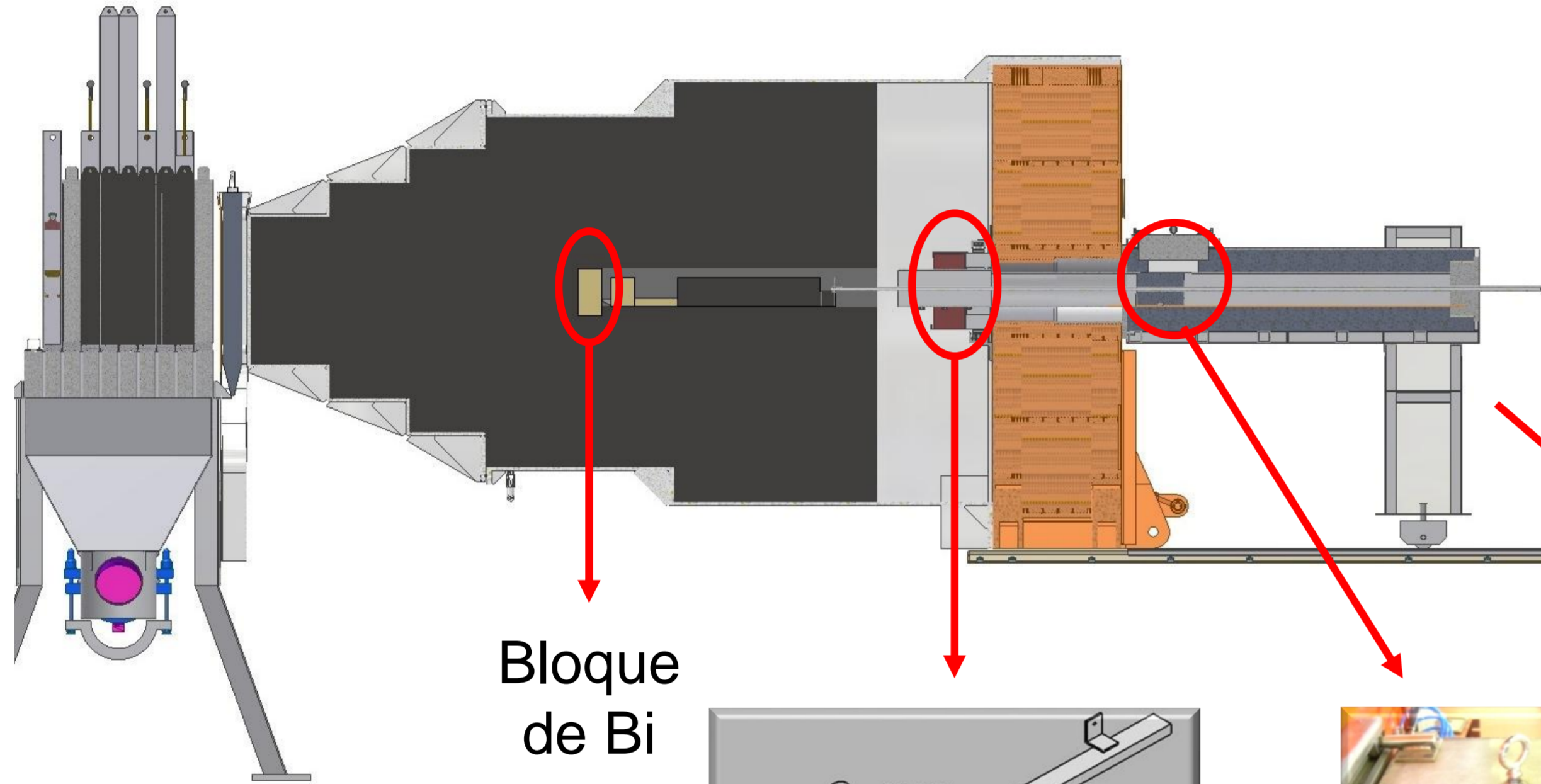
^a Department of Physics, University of Pavia, via Bassi 6, 27100 Pavia, Italy
^b Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Unit of Pavia, via Bassi 6, 27100 Pavia, Italy
^c Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Pavia, via Aselli 41, 27100 Pavia, Italy
^d Laboratorio Energia Nucleare Applicata (LENA), University of Pavia, via Santa Sofia, 64, 95123 Catania, Italy
^e Comisión Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Godoy Cruz 2264, 1650 Mendoza, Argentina
^f Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Av. Godoy Cruz 2264, 1650 Mendoza, Argentina
^g Department of Physics and Chemistry, University of Palermo, Viale delle Scienze Edificio 1, 90132 Palermo, Italy
^h Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Unit of Catania, University of Palermo, Viale delle Scienze Edificio 1, 90132 Palermo, Italy
ⁱ Advanced Technologies Network Center (ATeN Center), University of Palermo, Viale delle Scienze Edificio 1, 90132 Palermo, Italy
^j Department of Physics, University of Milan, Via Giovanni Celoria, 16, 20133 Milano, Italy
^k Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Unit of Milan, Via Giovanni Celoria, 16, 20133 Milano, Italy
^l U.O.C.-Fisica Sanitaria A.R.N.A.S. Ospedale Civico Palermo, Italy
^m Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho, USA



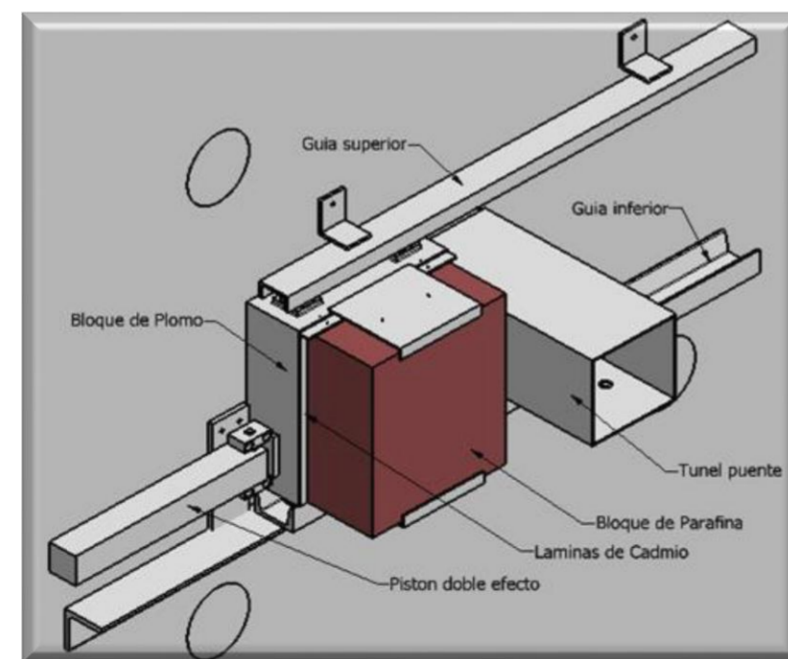
FCCT – Partes principales

Es un sistema de irradiación que incluye la cavidad central de la CT y un dispositivo de blindajes fijos y móviles

que permiten el ingreso y egreso de muestras en la misma con el reactor operando incluso a plena potencia.



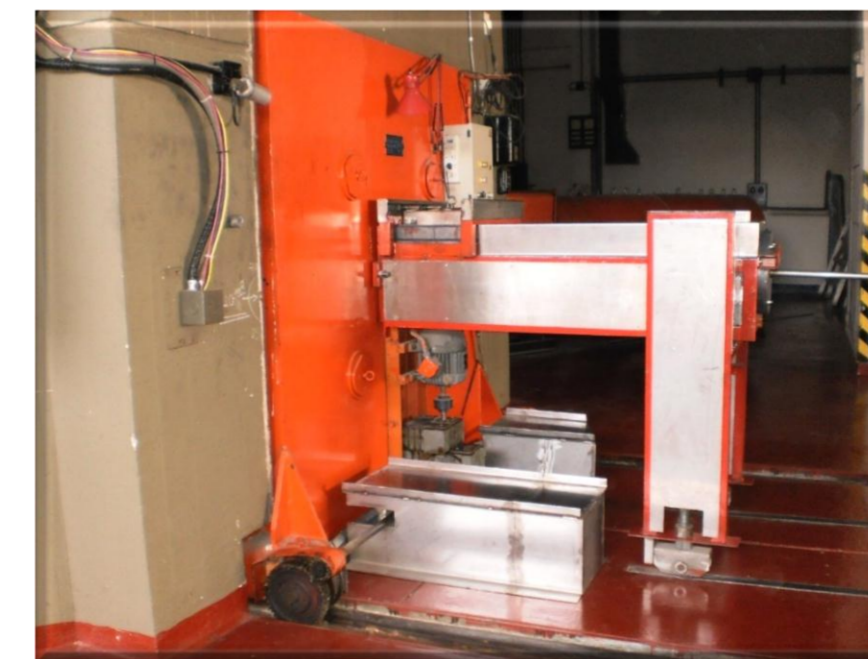
Bloque de Bi



Shutter



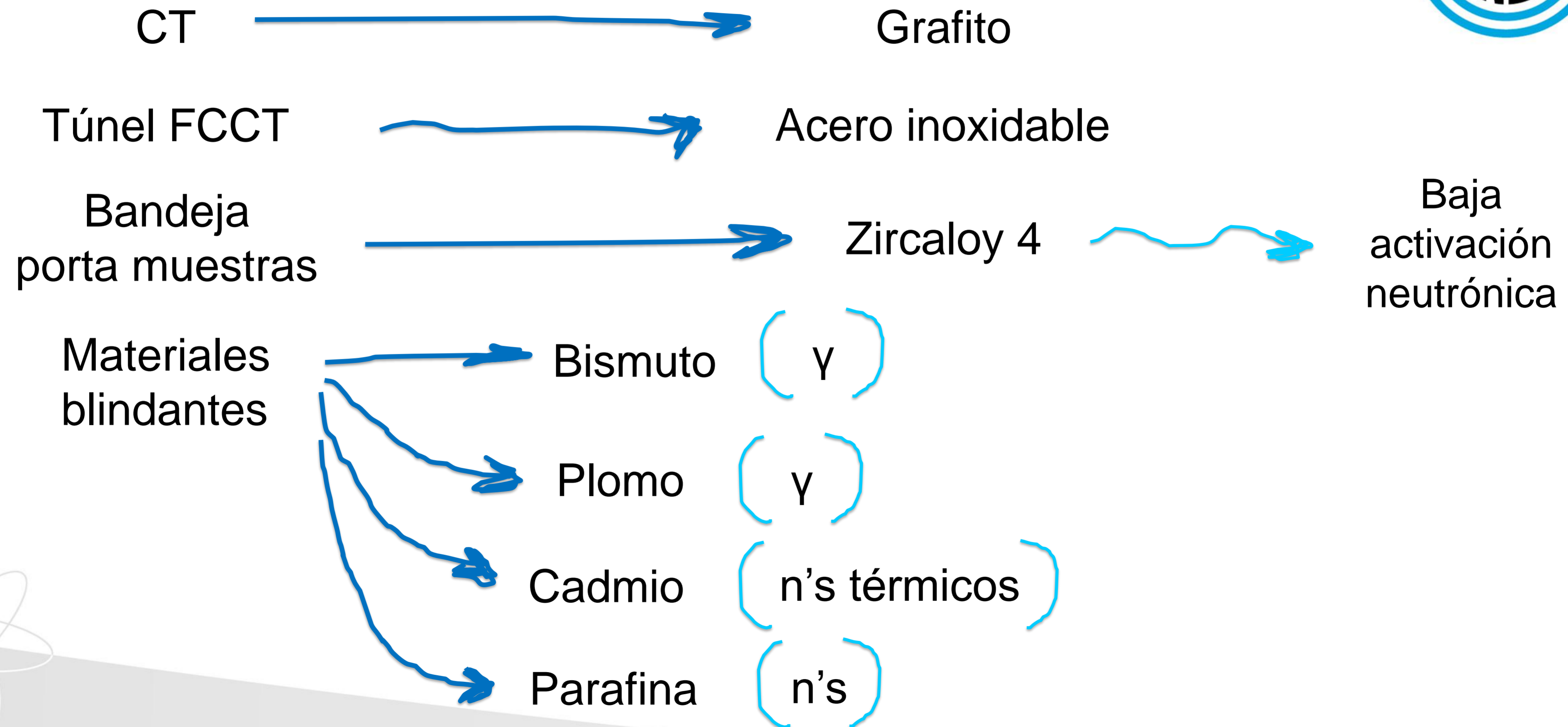
Ingreso y egreso de muestras



Estructura de blindajes externos



FCCT – Materiales componentes



FCCT – Características



Condiciones generales:

- Potencia 8 MW
- Posición de irradiación más cercana al núcleo (a tope en la cavidad porta-muestras)
- En la cavidad porta-muestras sin blindaje (aire)

$$\Phi_{th} \sim 10^{10} \text{ n/cm}^2.\text{s}$$

$$\Phi_{epi} \sim 10^7 \text{ n/cm}^2.\text{s} \text{ (0,1\% } \Phi_{th})$$

Espectro altamente termalizado

Tasa de dosis gamma ~ 6,5 Gy/h

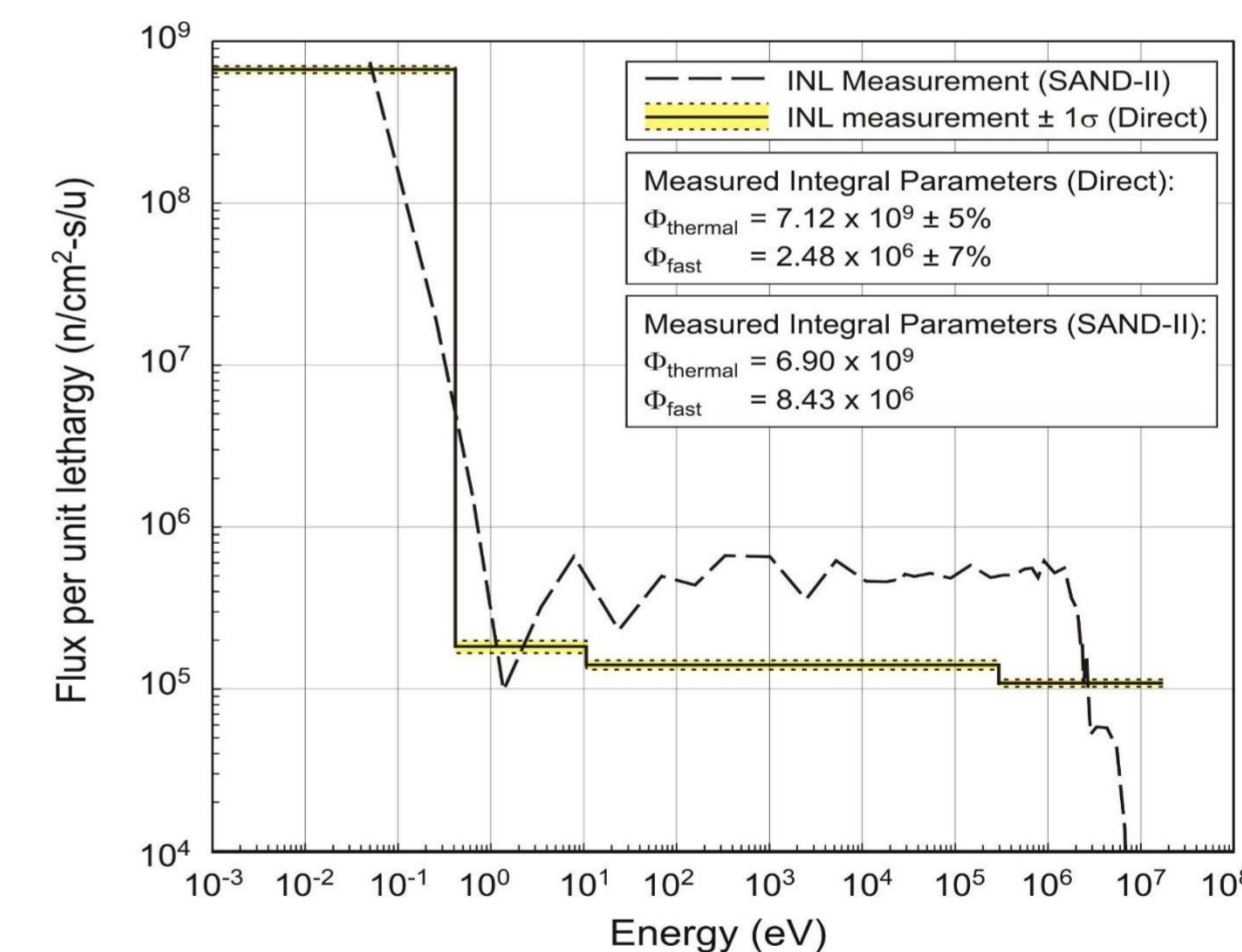
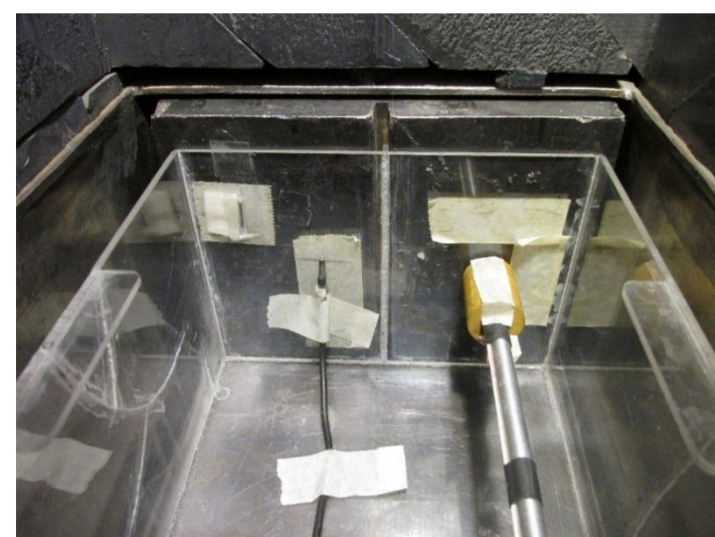
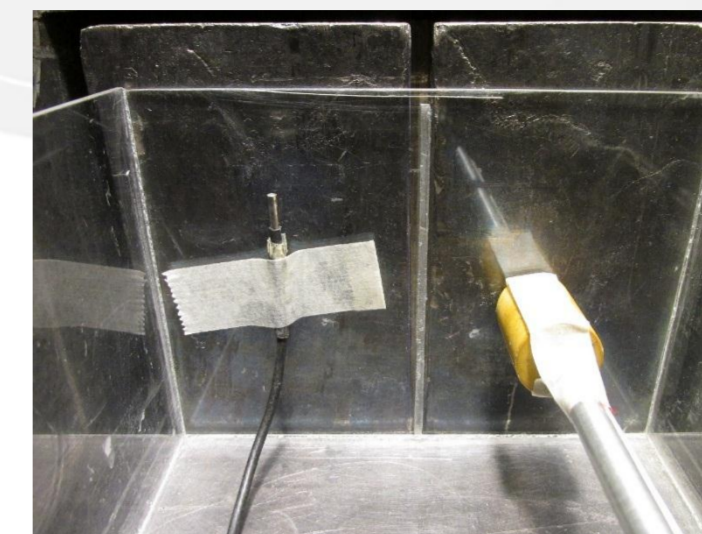


Gráfico del espectro neutrónico de la FCCT. Mediciones y cálculo en colaboración con el INL.

FCCT – Caracterizaciones

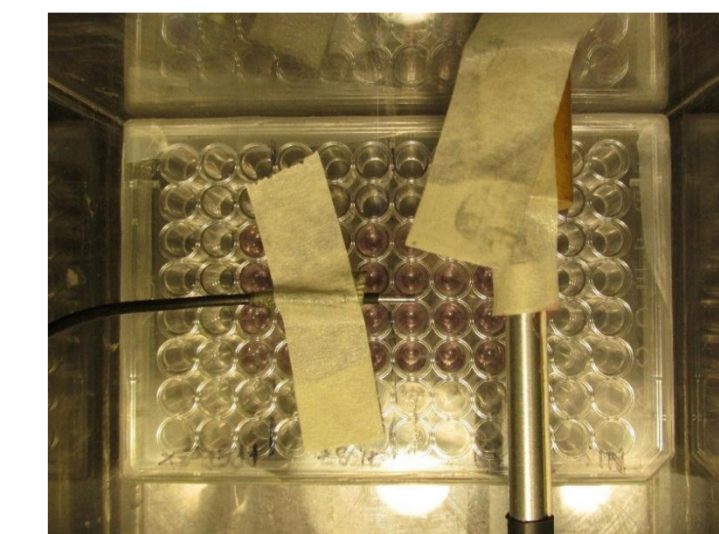
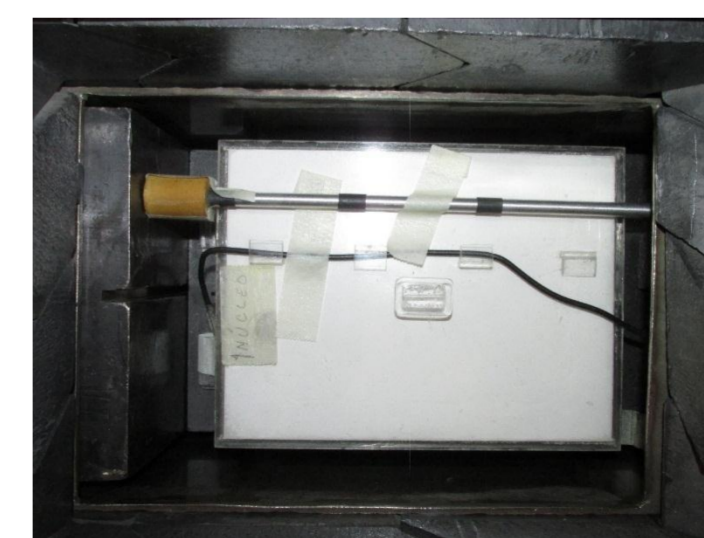
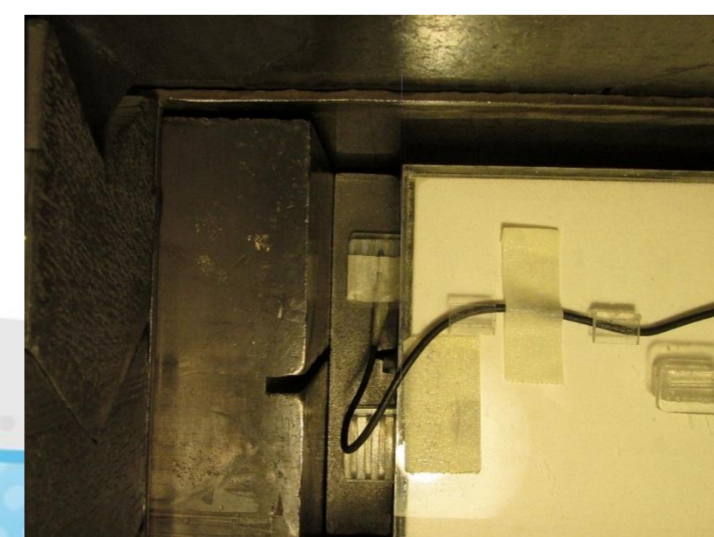
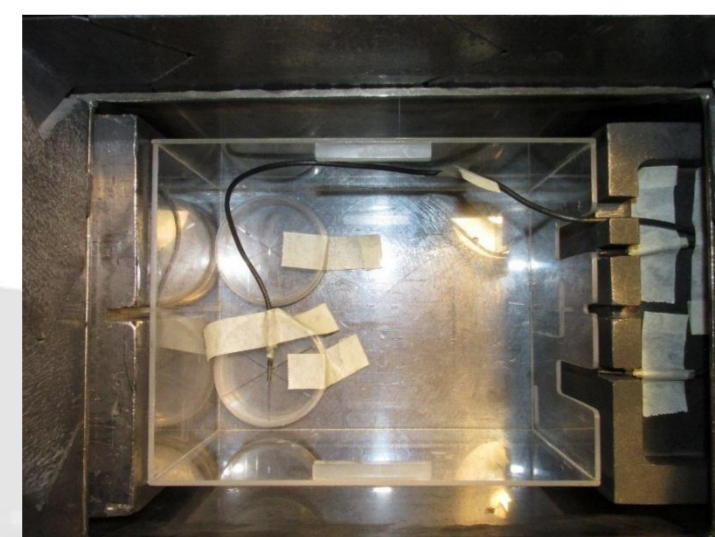
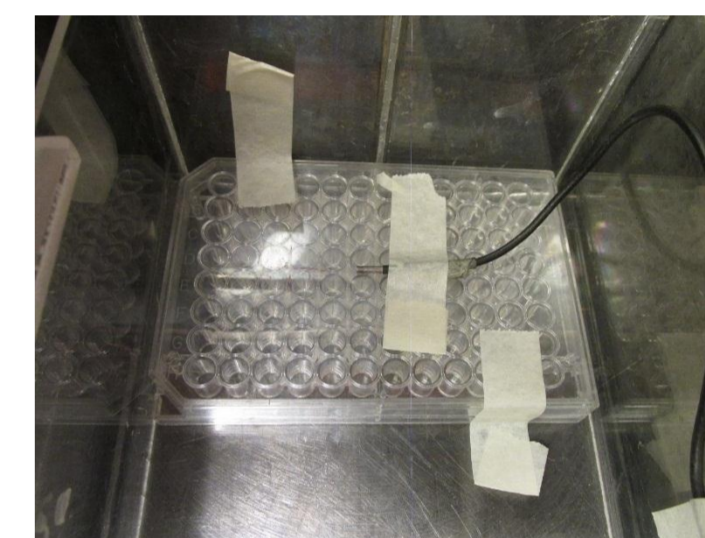


Experiencias de irradiación para caracterización



Anuales de control

Para cada experiencia



FCCT – Caracterizaciones anuales



Dado que en la parada anual de mantenimiento pueden producirse cambios en la ubicación de detectores, cambios estructurales, etc., se realizan experiencias al inicio de cada periodo operativo anual para recharacterizar.

Medición de flujo neutrónico

Medición de tasa de dosis gamma



Experiencias
medición relación
neutrón/gamma:

- Escalones de potencia
- Configuraciones sin blindajes
- Configuraciones con blindajes

Cultivos celulares

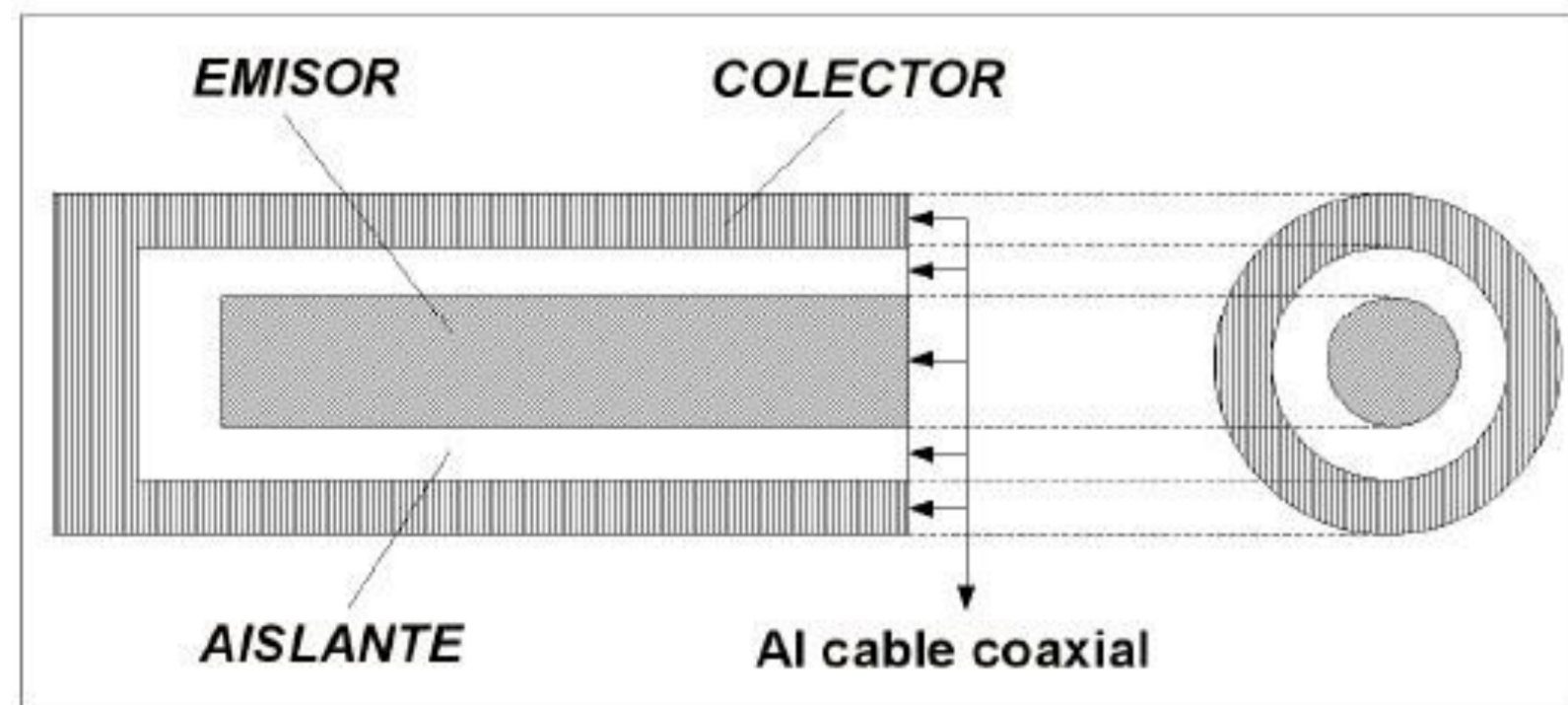
Autorradiografías

Animales pequeños

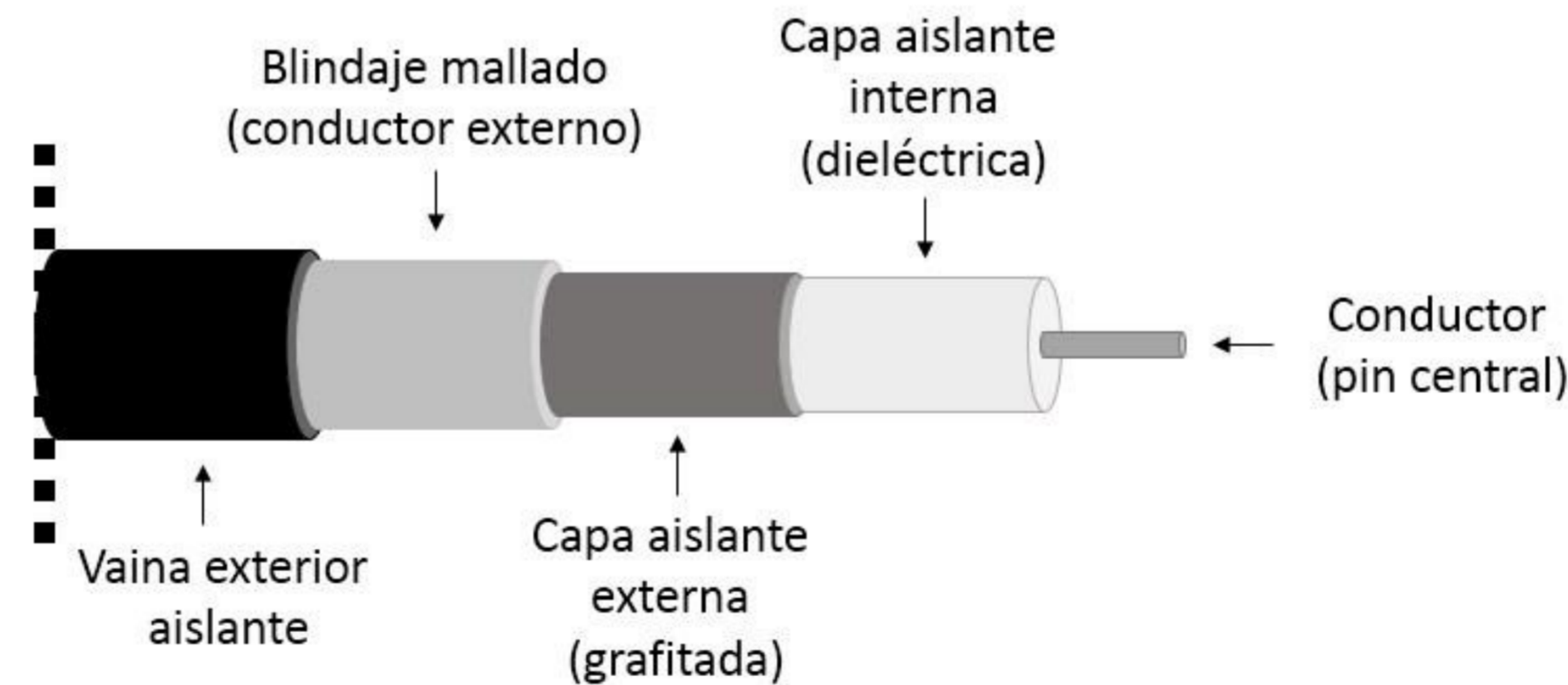
FCCT – Medición de Φ_{th}



Detectores de neutrones autoenergizados (SPND) de rodio, basados en decaimiento β^- . Desarrollados por el grupo de Instrumentación y Control de la CNEA.



Esquema simplificado, cortes longitudinal y transversal, de un SPND típico basado en decaimiento beta.



Esquema simplificado del cable coaxial blindado de bajo ruido. Medio de transmisión de la carga.



Fotografía de la parte sensible de un SPND

FCCT – Medición de Φ_{th}



Técnica de activación neutrónica

Instrumentación
de una
configuración/
muestra con
hojuelas



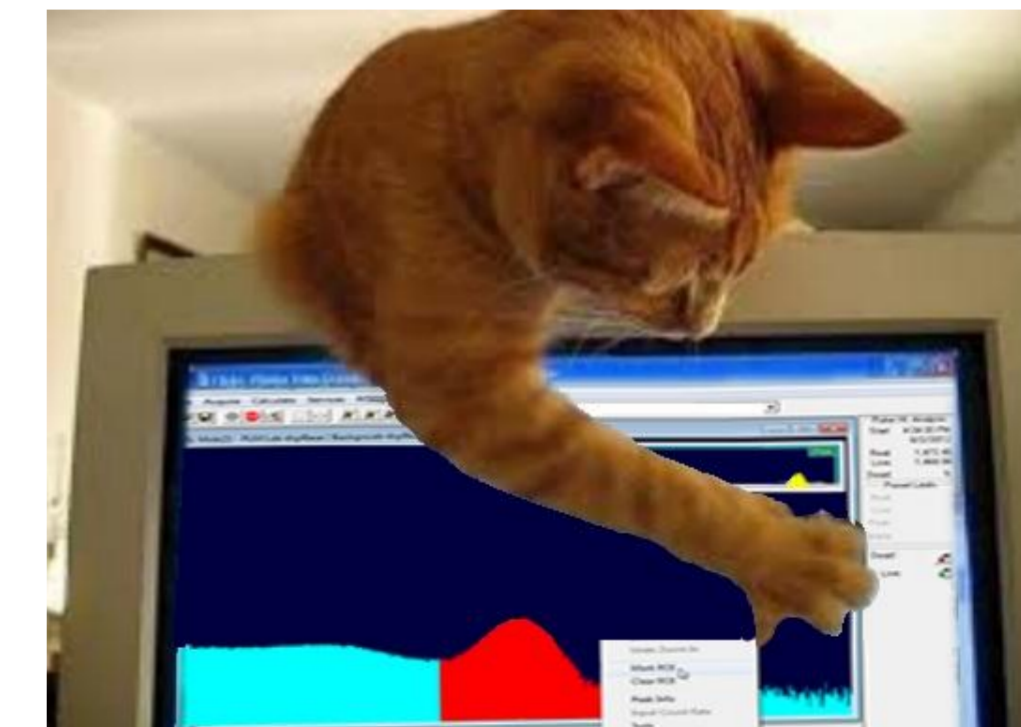
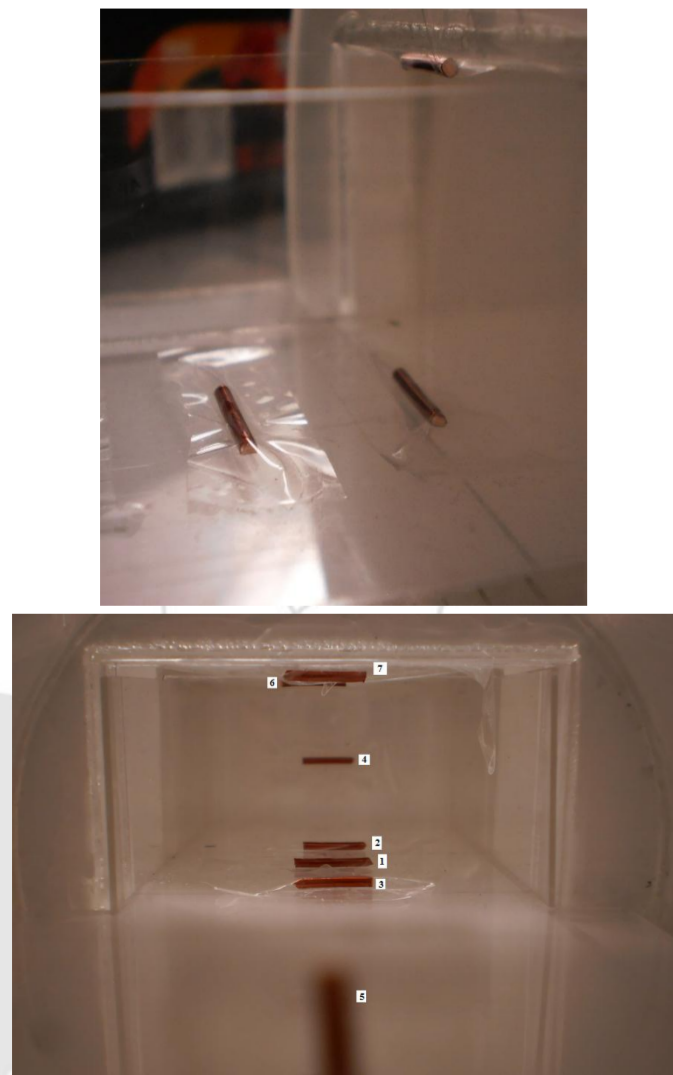
Irradiación
en la FCCT



Medición de los rayos
y producto de los
decaimientos, con
detector HPGe.



Procesamiento



FCCT – Medición de tasa gamma



Cámara de ionización (CI) de grafito, cubierta en su zona sensible por un blindaje de ^6LiF con el fin de reducir significativamente la contribución a la señal debida a la interacción con los neutrones.



Capuchón de ^6LiF



Volumen sensible

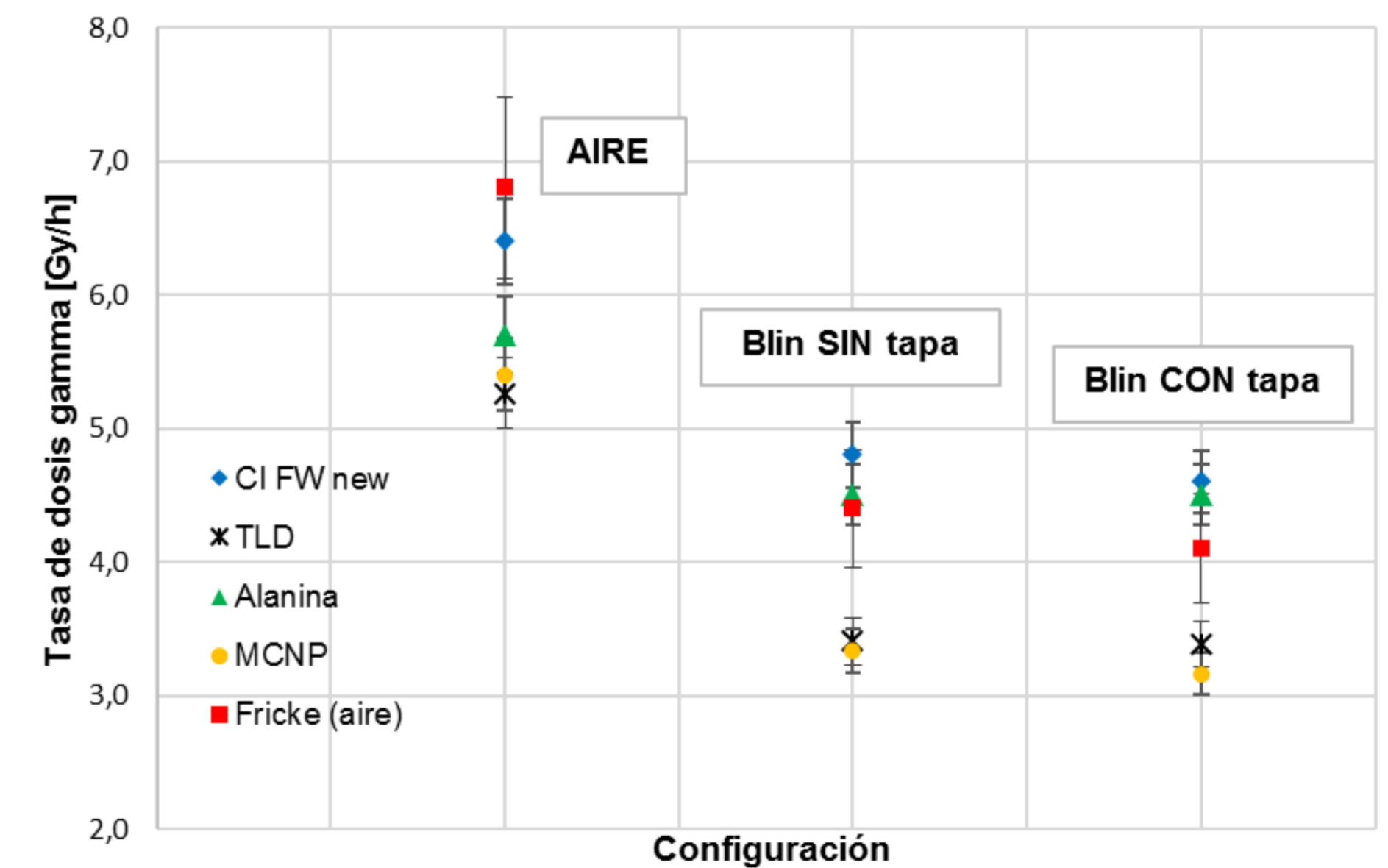


Gráfico de la tasa gamma en función de la configuración, medida con diferentes métodos.

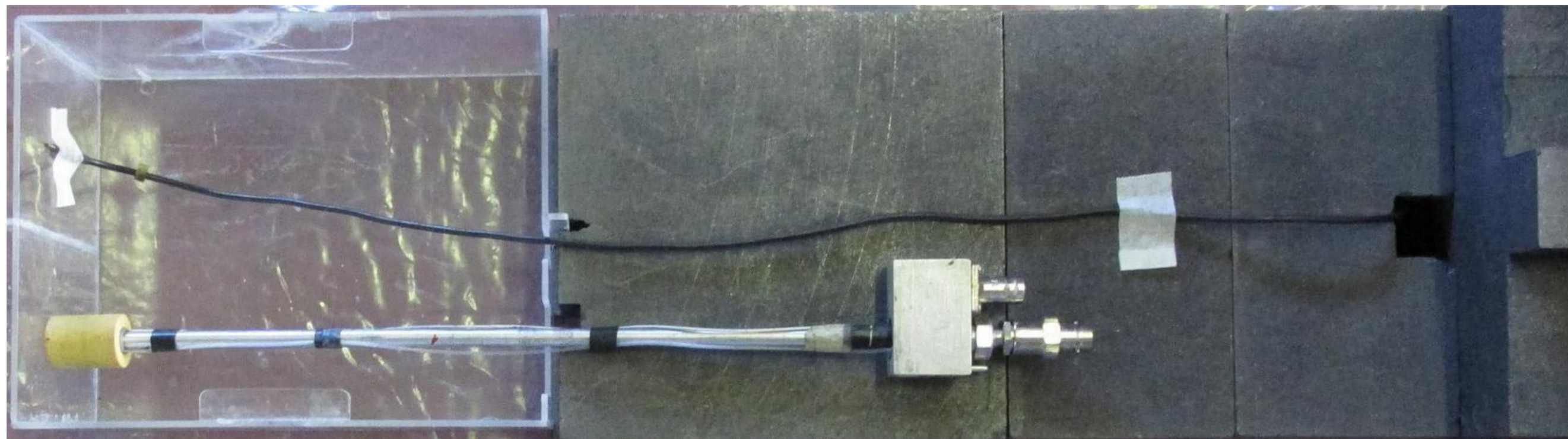
FCCT – Caracterizaciones



Configuración típica de piezas e instrumentación para la caracterización de la relación gamma/neutrón a tope, en aire.

SPND

CI



Caja de acrílico porta-muestras

Estructura de bloques de grafito



FCCT – Colaboraciones actuales – Proyecto BNCT



Grupos con los que se colabora actualmente a través de la realización de experiencias de irradiación en la FCCT:

 Departamento de Radiobiología



División Radiomicrobiología

División Bioquímica Nuclear

División Patología de la Radiación

 Instrumentación y Control

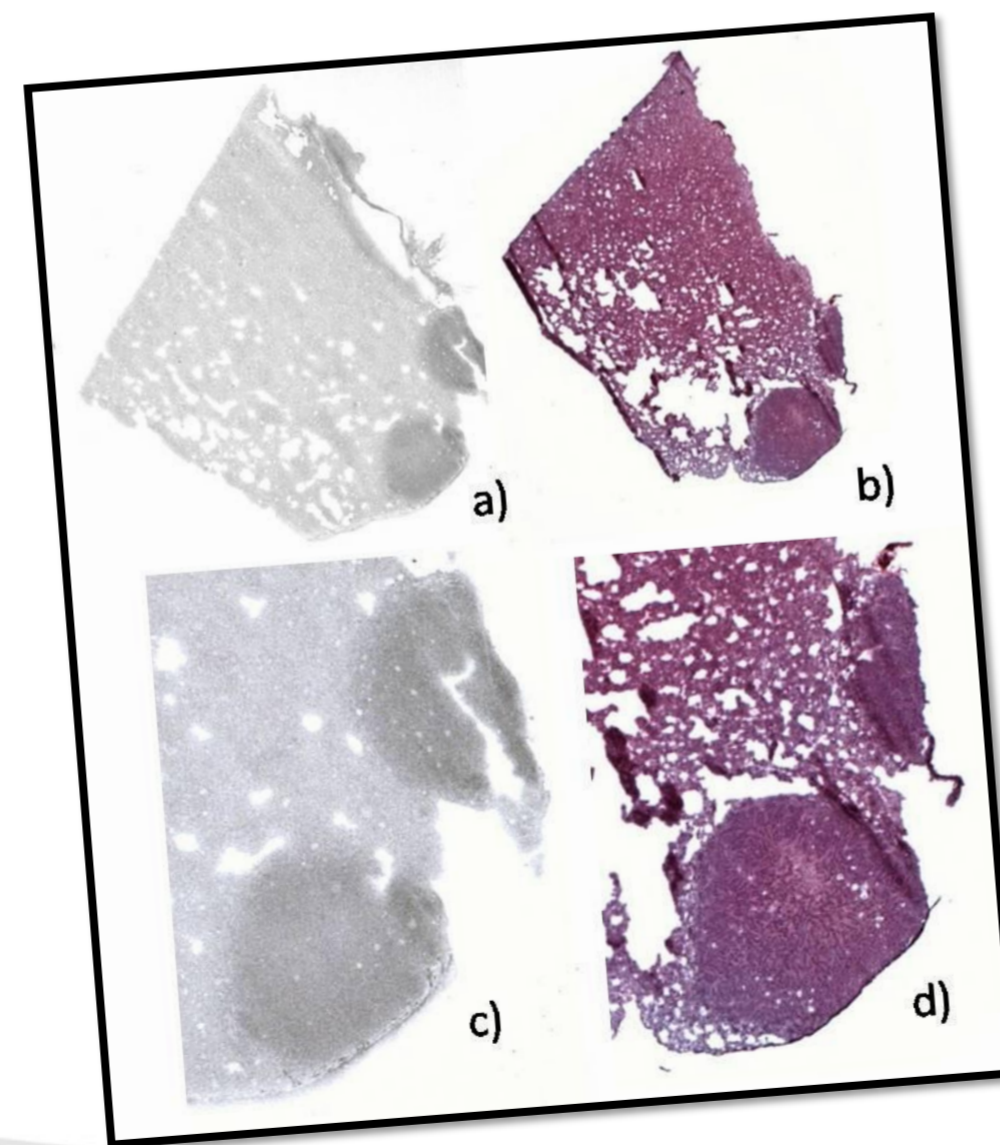
 Dosimetría Computacional y Planificación de Tratamientos

FCCT – Colaboraciones actuales



División Radiomicrobiología

El grupo desarrolló y puso a punto un sistema de calibración y cuantificación de autorradiografía neutrónica en cortes de tejido.



El principal objetivo es conocer la distribución espacial, cualitativa y cuantitativa, de ^{10}B en tejidos de interés para el proyecto BNCT.

FCCT – Colaboraciones actuales

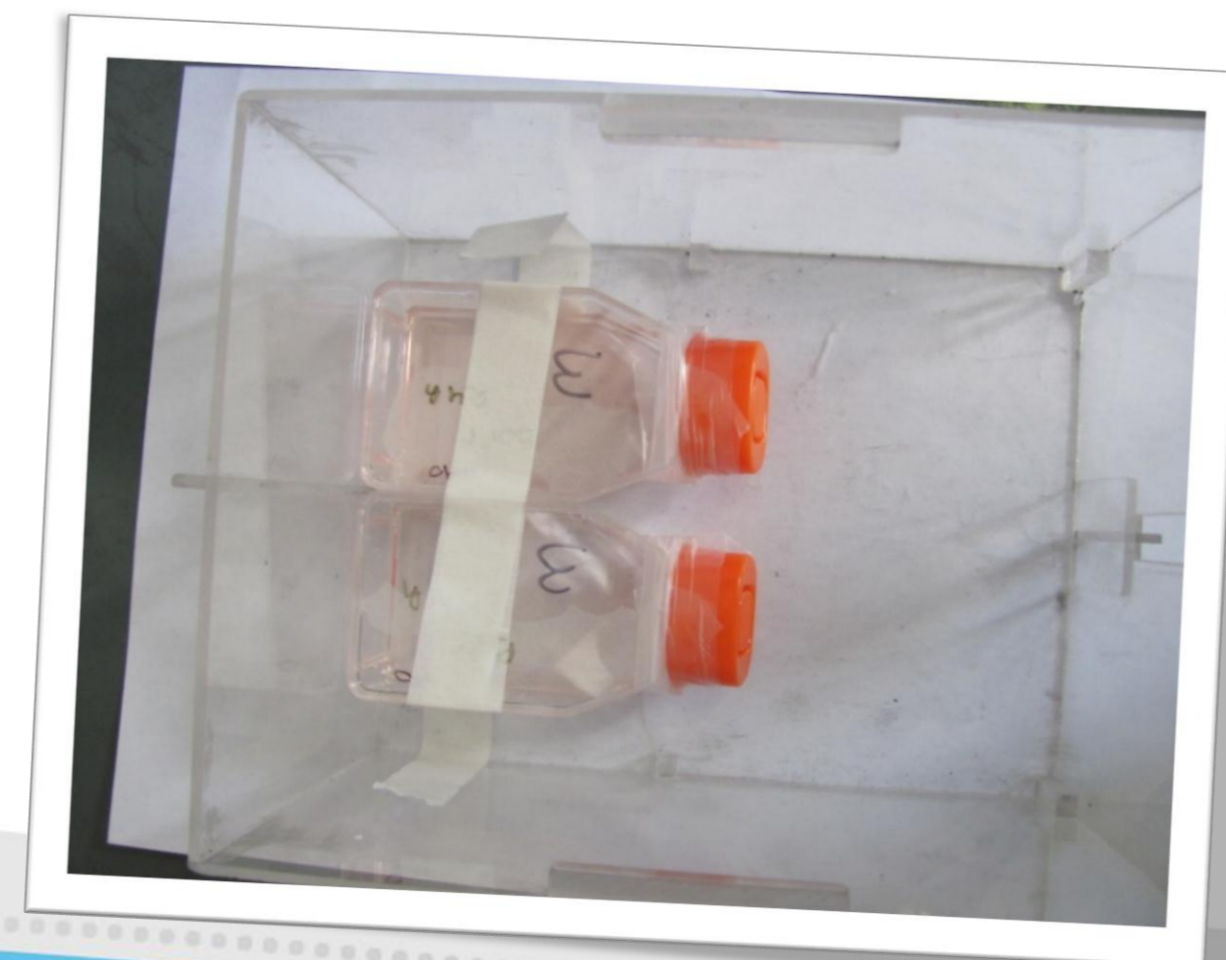
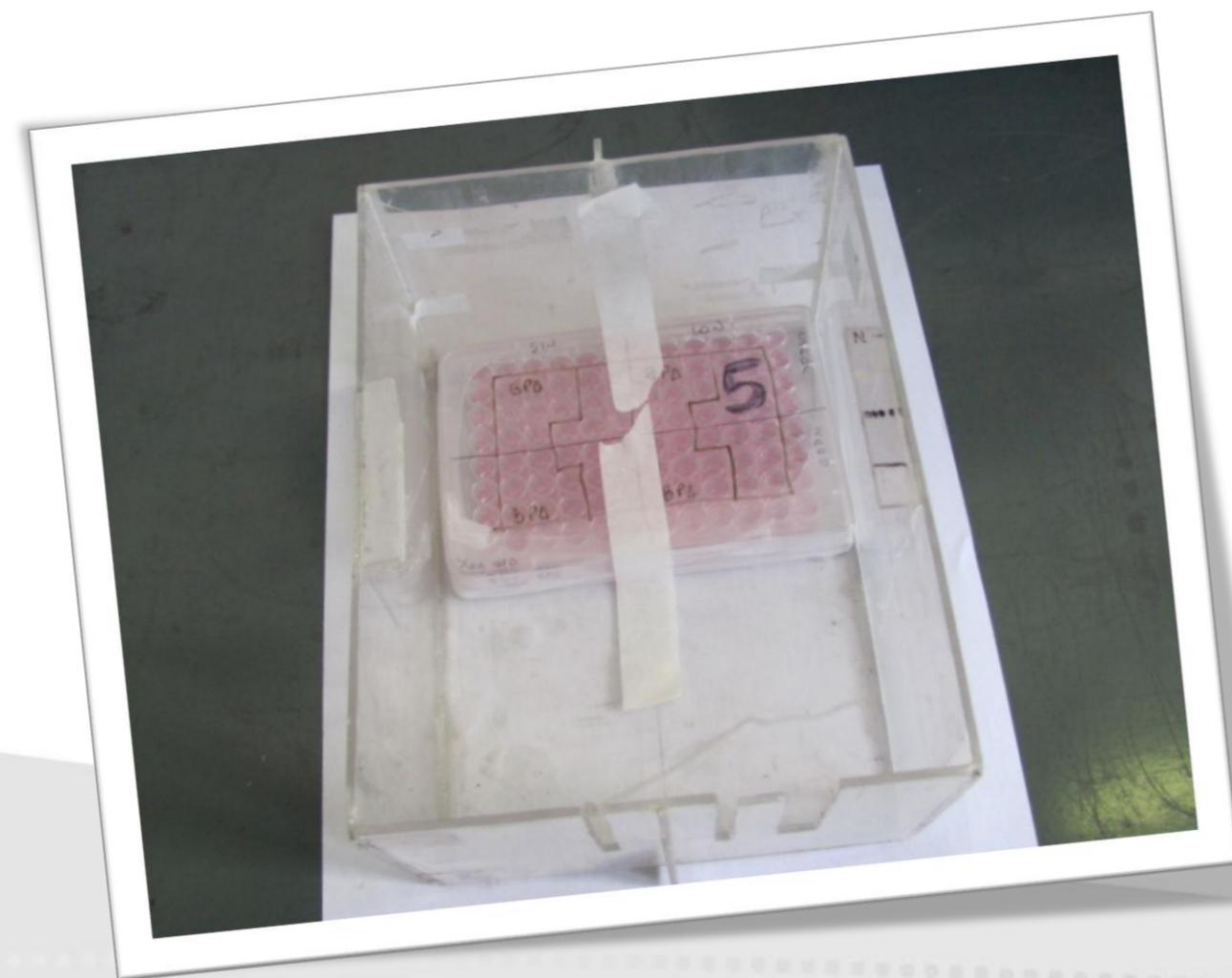


División Bioquímica Nuclear

Estudio para la optimización de BNCT en cáncer de tiroides.

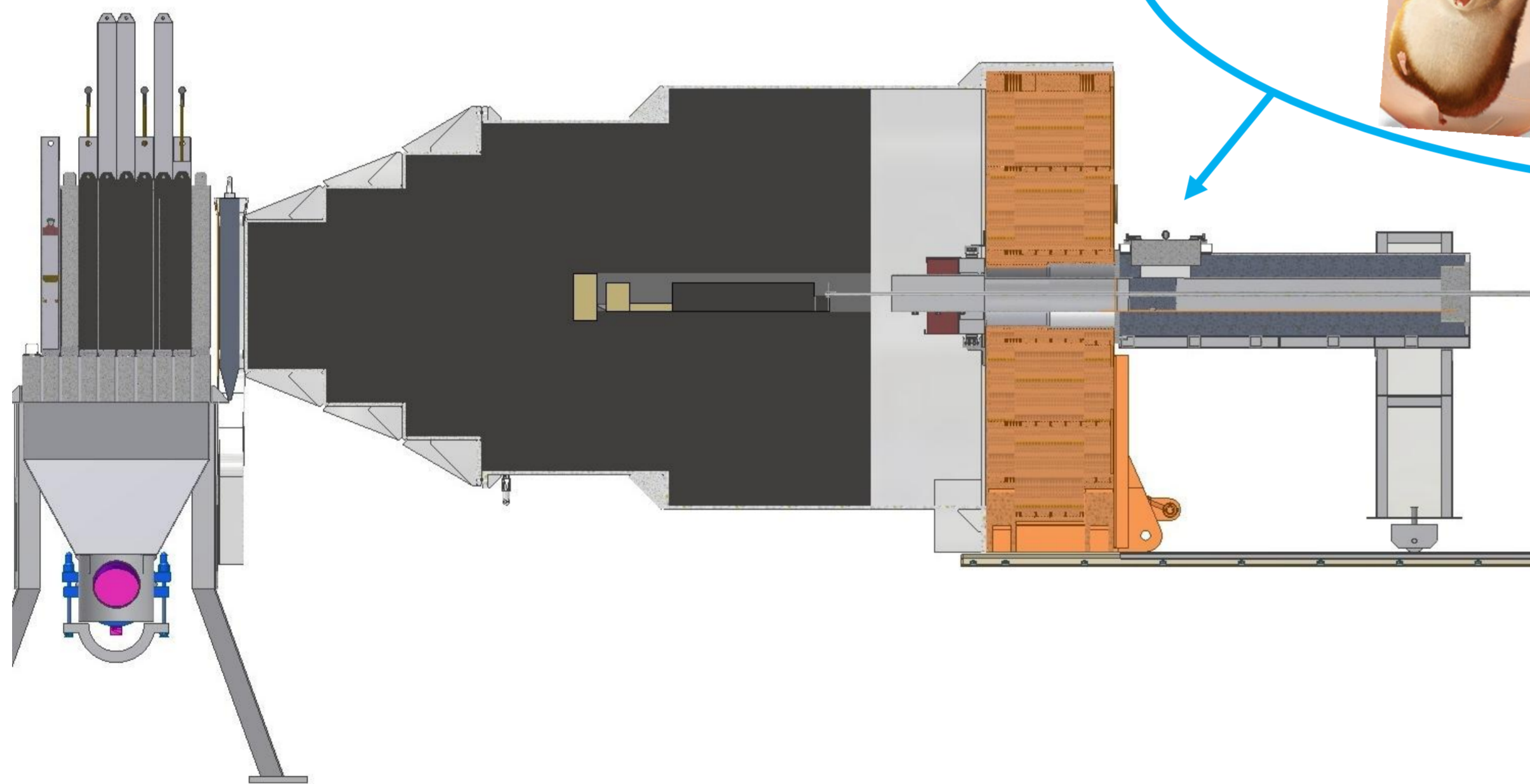
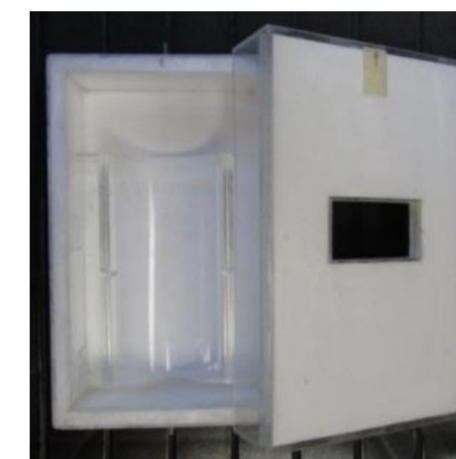
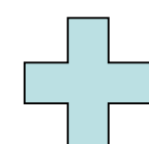
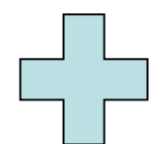
Evaluación de la eficiencia biológica relativa del BNCT en líneas celulares humanas.

Estudios in vitro de los efectos radiobiológicos de BNCT.
Análisis cualitativo del daño al ADN.



FCCT – Colaboraciones actuales

División Patología de la Radiación



Estudios traslacionales para el tratamiento de metástasis pulmonares con BNCT.

Estudios de BNCT para el tratamiento de cáncer oral en un modelo en la bolsa de la mejilla del hámster.

Estudios experimentales in vivo para la evaluación y tratamiento de la radiotoxicidad inducida por BNCT.

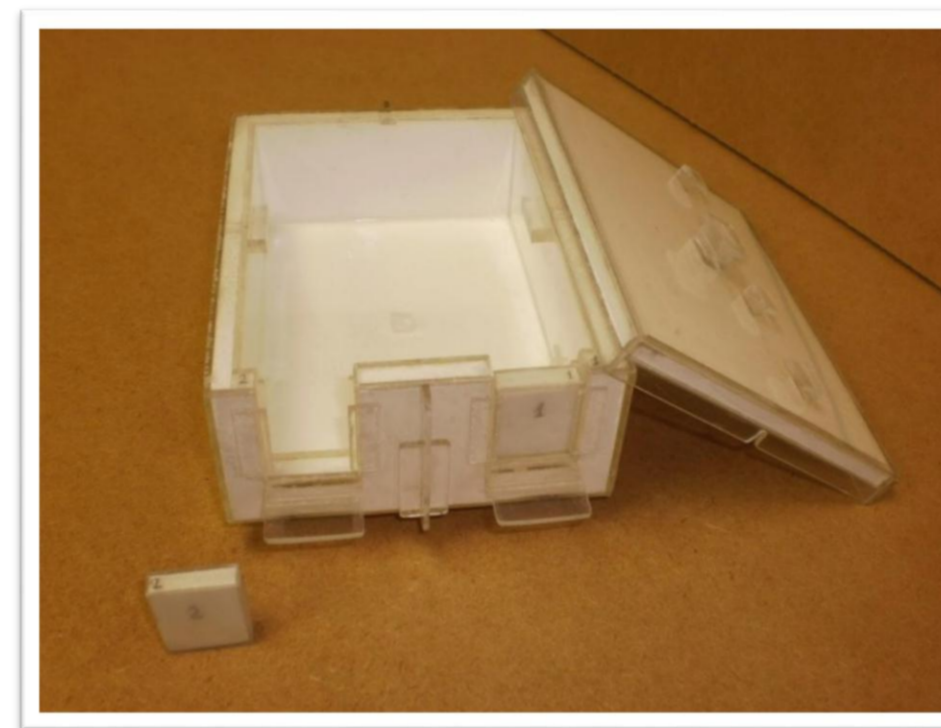
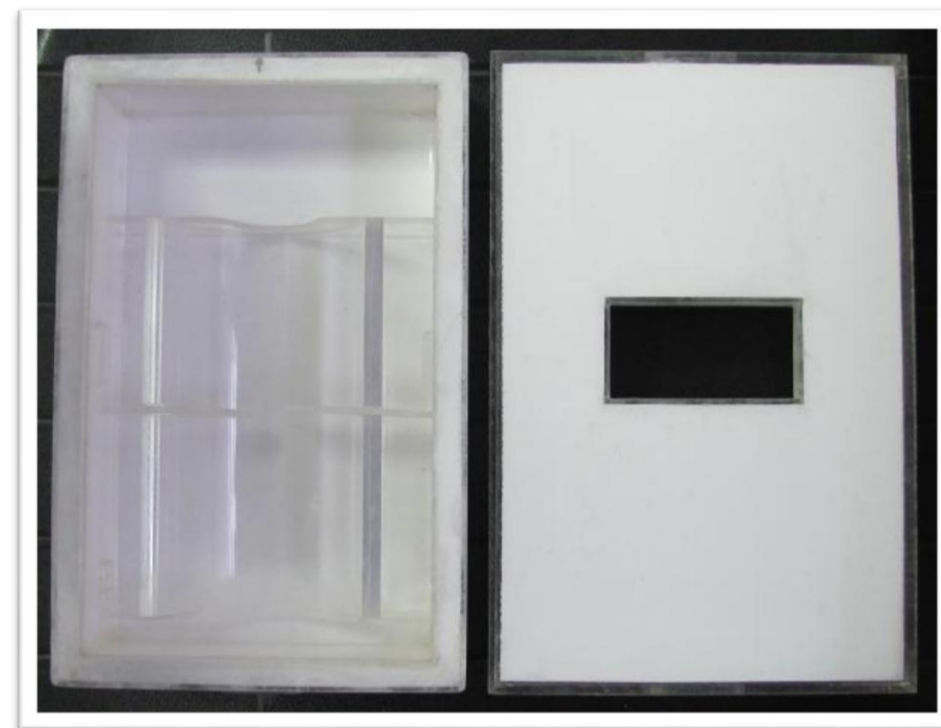
Estudios in vivo de BNCT + electroporación.

Estudio de efecto abscopal inducido por BNCT.

FCCT – Colaboraciones actuales – Blindajes



Para la irradiación de animales pequeños se desarrollaron blindajes neutrónicos de ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$ (95%), para exponer la región de interés y proteger el resto del cuerpo.



Efectivos para blindar neutrones térmicos a través de la reacción ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$.

Espeor 6 mm de polvo de ${}^6\text{Li}_2\text{CO}_3$ compactado entre placas de acrílico.

FCCT – Colaboraciones actuales – Blindajes



Blindaje para irradiación de hámsters

Se deja expuesta la bolsa de la mejilla del hámster, donde se encuentran los tumores, sobre salientes de acrílico (trampolines).



FCCT – Colaboraciones actuales



Blindajes para irradiación de ratas

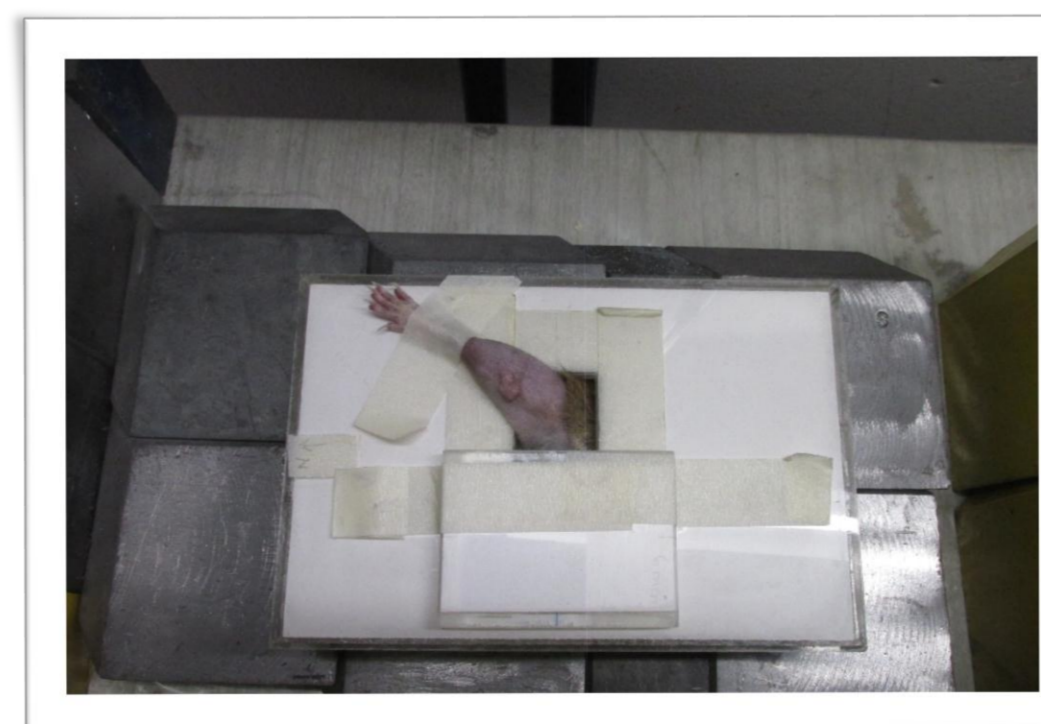
Pulmón



Hígado



Pata



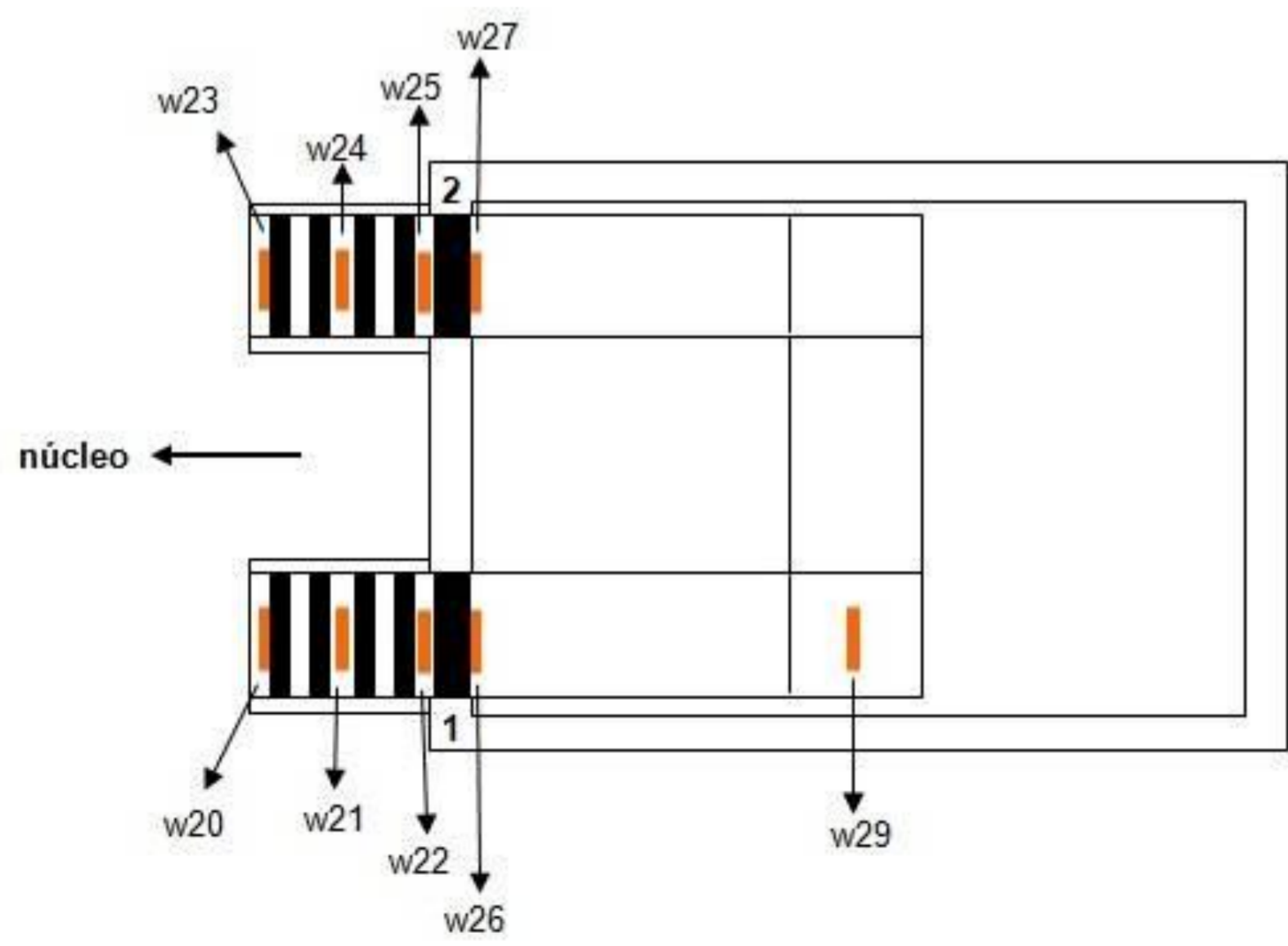
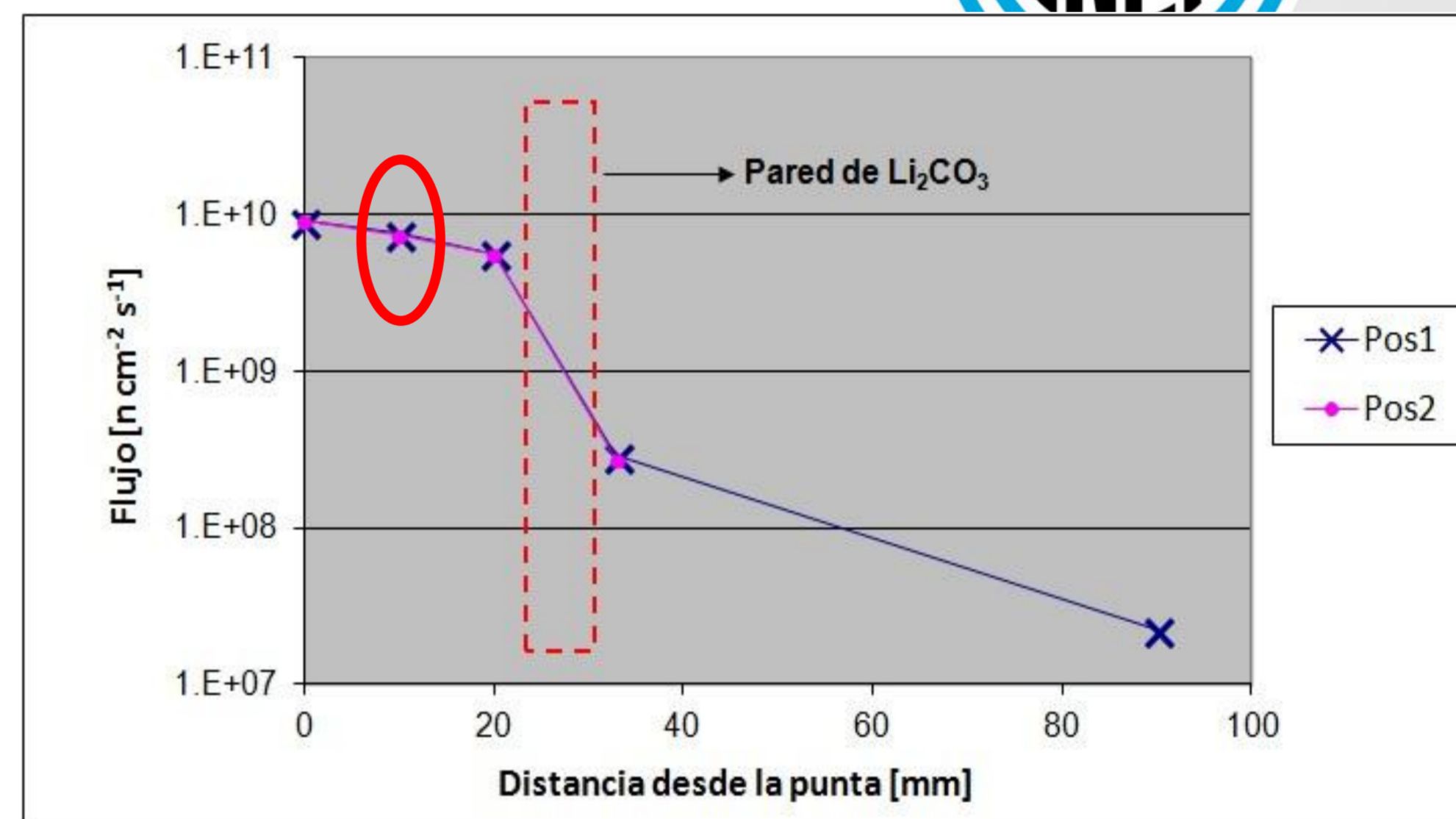
FCCT – Colaboraciones actuales – Blindajes



Blindaje para irradiación de hámsters

El flujo promedio en el centro de los trampolines es del orden de $7 \cdot 10^9 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Para el resto del cuerpo, se puede observar una atenuación de por lo menos 2 órdenes de magnitud.



El valor de flujo dentro del blindaje, es por lo menos 20 veces menor al valor máximo sobre el trampolín, para la posición más expuesta.

Tasa de dosis gamma $\sim 4 - 5 \text{ Gy/h}$

FCCT – Colaboraciones actuales

Instrumentación y Control



Calibración del campo de radiación de la FCCT.

Pruebas, calificación y calibración de detectores para reactores de investigación y centrales nucleares.

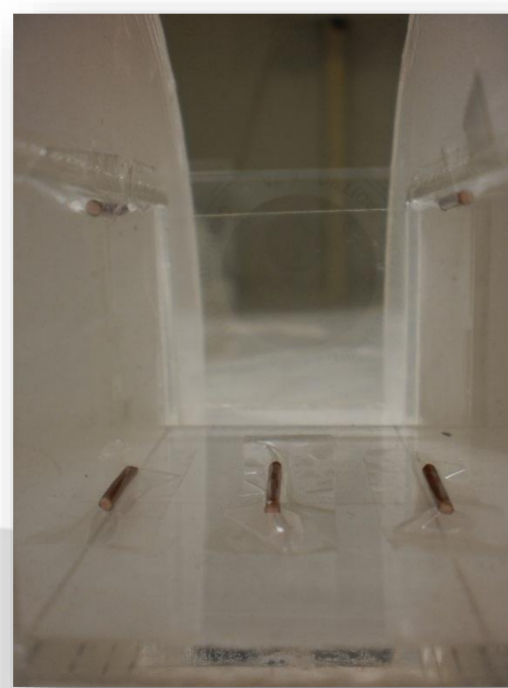
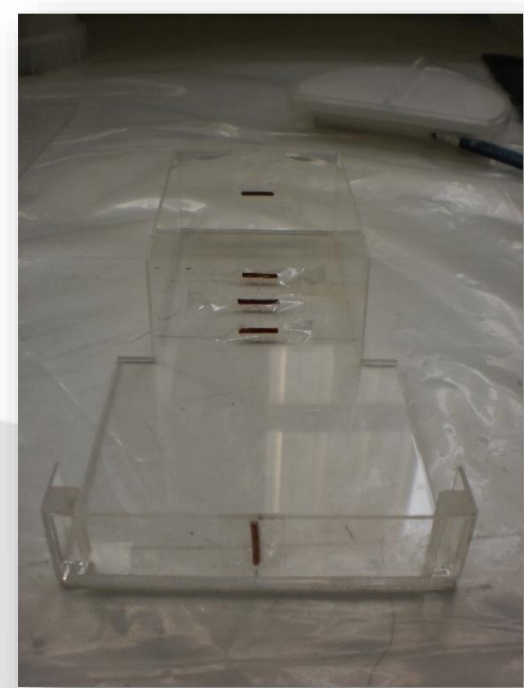
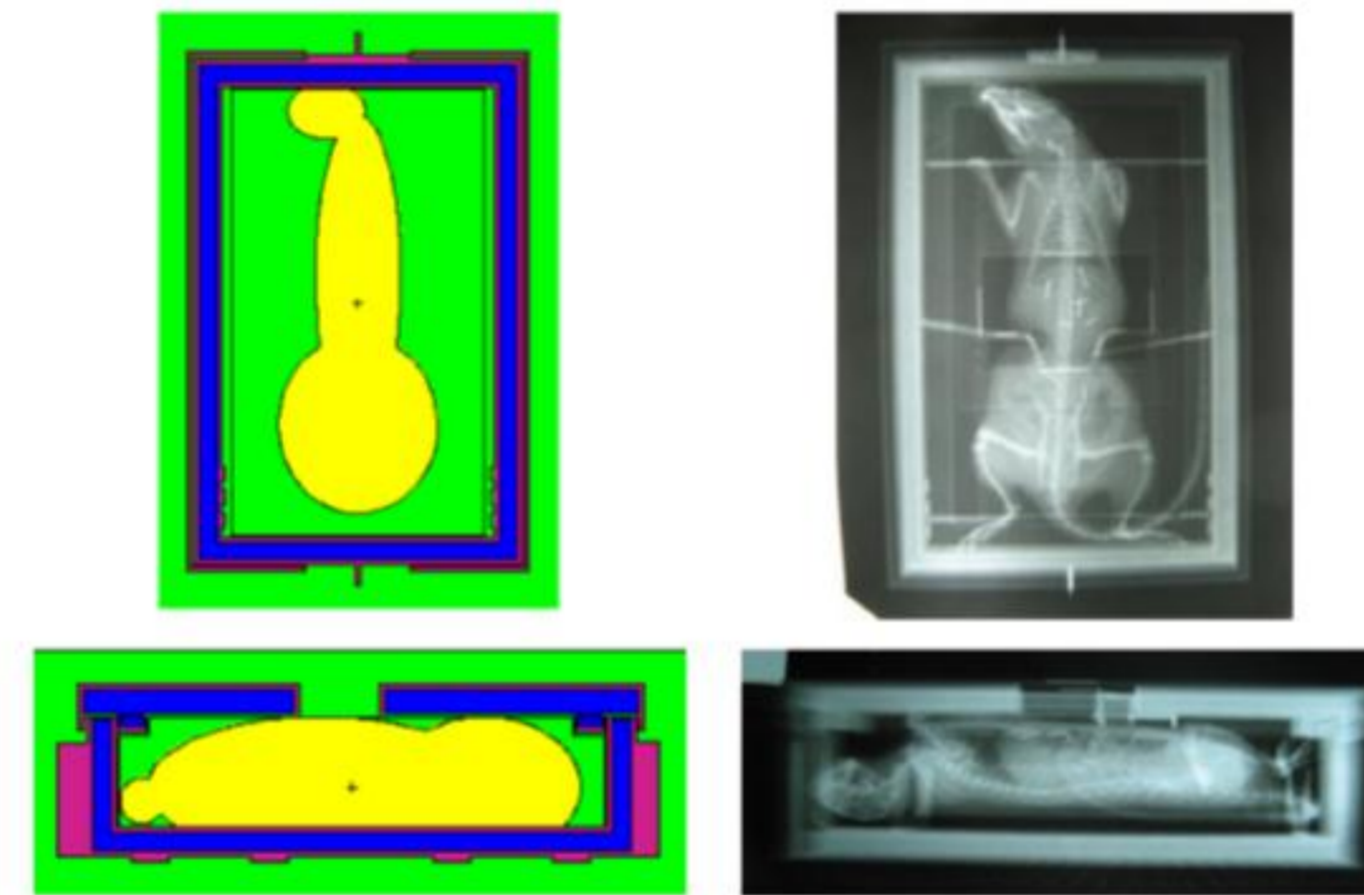


FCCT – Colaboraciones actuales



Dosimetría Computacional y Planificación de Tratamientos

Simulación computacional (MCNP) de la distribución de flujo neutrónico dentro del blindaje de rata.



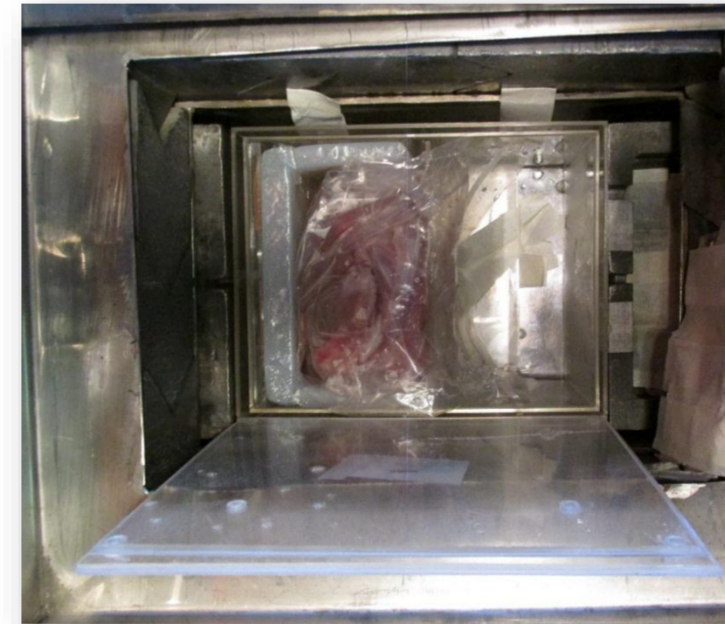
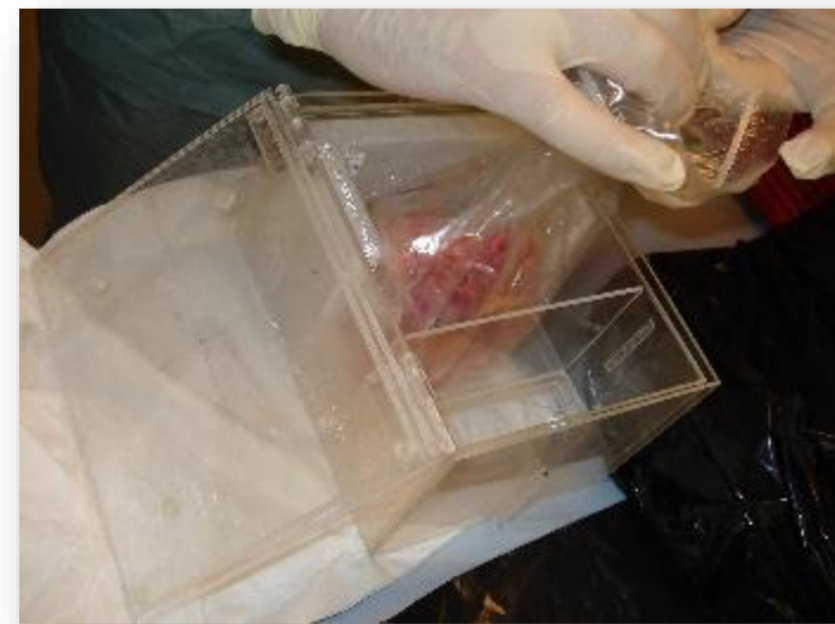
Diseño, construcción y caracterización de un blindaje neutrónico para el tratamiento de metástasis difusas en pulmón de rata.

FCCT – Colaboraciones actuales



Dosimetría Computacional y Planificación de Tratamientos

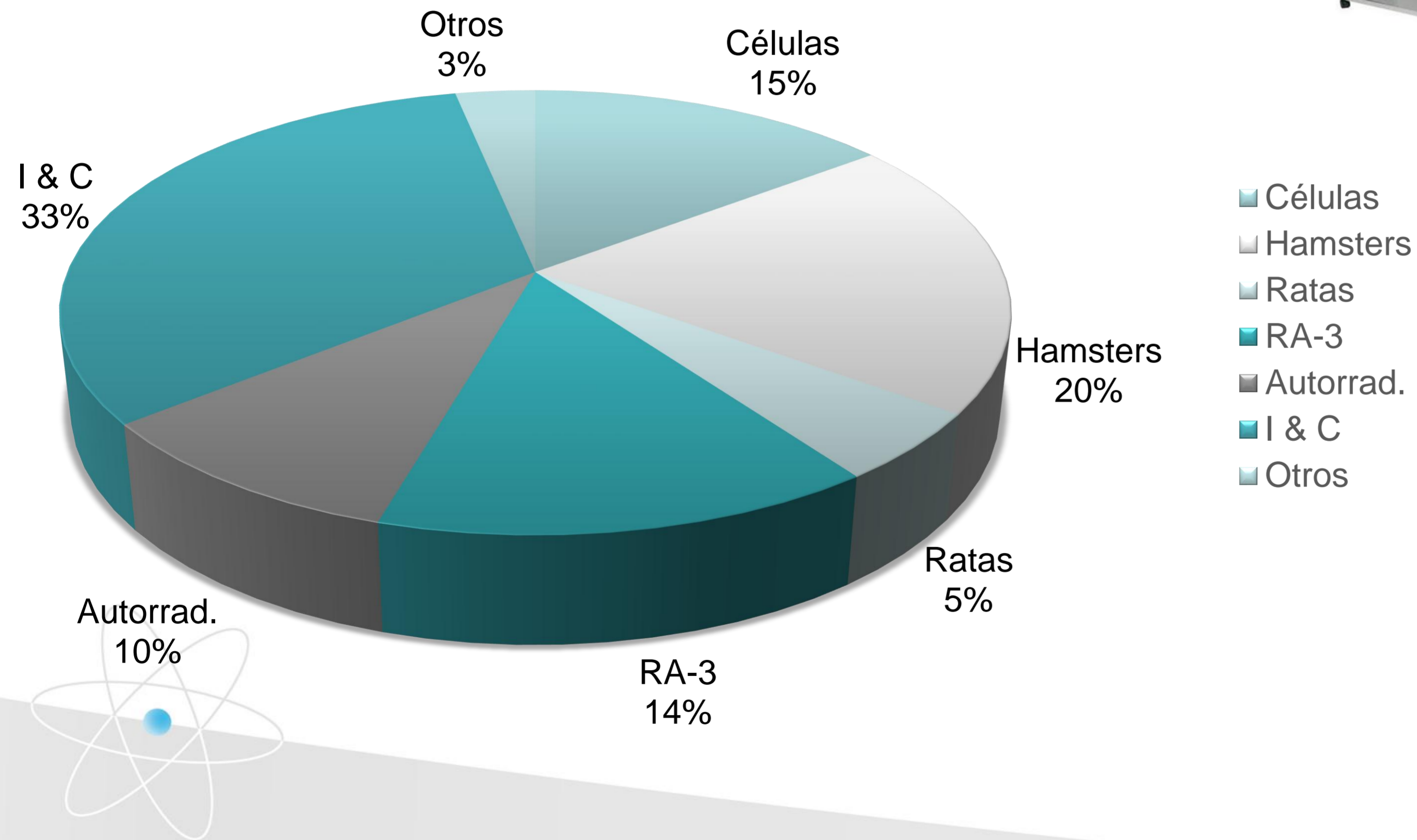
Estudio del potencial terapéutico de BNCT para el tratamiento de metástasis múltiples en pulmón, utilizando un protocolo novel de irradiación de pulmón ovino ex-vivo. Colaboración con las Universidades Favaloro y Maimónides.



FCCT – Estadística de operación



Histórico desde 2012



Más del 60% de las experiencias de irradiación realizadas en la FCCT en el periodo 2012 / 2017, fueron en el marco del Proyecto BNCT.

Conclusiones



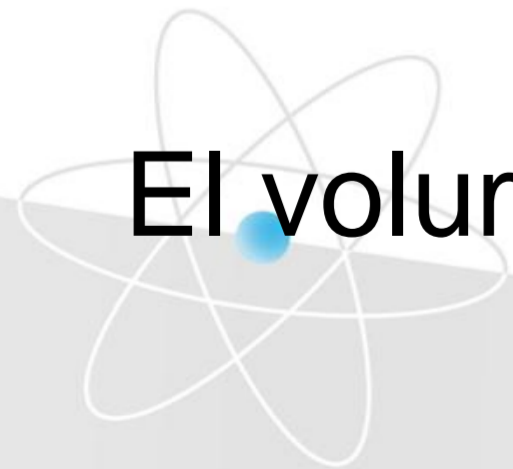
Con la implementación de la FCCT en el RA-3, se cuenta actualmente con una fuente de neutrones térmicos, utilizable mientras el reactor se encuentra en marcha.

Es un campo isotrópico donde se alcanza un flujo máximo del orden de 10^{10} nv.

La componente gamma es relativamente baja respecto al flujo neutrónico (~ 6,5 Gy/h).

Es posible instrumentar la cavidad porta-muestras.

El volumen máximo de una muestra a irradiar es de aproximadamente (20 x 15 x 10) cm.





Grazie mille per la sua
attenzione!

¡Muchas gracias por su
atención!

Curso intensivo Terapia por Captura Neutrónica en Boro
“Aspectos interdisciplinarios para la concreción de una radioterapia selectiva”.



Comisión Nacional de Energía Atómica



UNSAM
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

